

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

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

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ
(підпис)

« ____ » _____ 2021р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»
на тему: «Виробництво біоетанолу з цукрових буряків»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи БЕ-71

Павліченко Марія Олександрівна _____

Керівник:

Доц., к.т.н,

Козар Марина Юріївна _____

Консультант з проектування:

Проф., д.т.н,

Саблій Лариса Андріївна _____

Рецензент:

Доц. кафедри промислової

біотехнології, к.б.н., доц.

Орябінська Лариса Борисівна _____

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

Студентка _____

Київ – 2021 року

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

Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Біотехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

«___» _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Павліченко Марії Олександрівні

1. Тема проєкту «Виробництво біоетанолу з цукрових буряків», керівник проєкту к.т.н. доц. Козар Марина Юріївна, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту _____
3. Вихідні дані до проєкту: сировина, що використовується – цукровий буряк, виробництво готового продукту на рік 8700 тон. Спроекувати ферментер для виробництва біоетанолу.
4. Зміст пояснювальної записки: характеристика сировини та біологічного агента для виробництва біоетанолу; обґрунтування вибору технологічної схеми переробки цукрових буряків в біоетанол; огляд біохімічних процесів, що відбуваються при виробництві біоетанолу; розрахунок матеріального балансу процесу; опис технологічної схеми виробництва; вибір та розрахунок ферментера для зброджування сировини; заходів з охорони праці та захисту довкілля.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Технологічна схема виробництва біоетанолу з цукрових буряків (A1); Апаратурна схема виробництва біоетанолу з

цукрових буряків(А1); Креслення ферментера для виробництва біоетанолу з цукрових буряків (А1)

6. Консультанти розділів проекту*

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

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
	Проведення літературно-патентних досліджень.		
	Характеристика сировини.		
	Обґрунтування вибору технології.		
	Характеристика біологічного агента та біохімічних перетворень.		
	Опис технології. Матеріальний баланс. Сировина та матеріали.		
	Підбір і характеристика основного та допоміжного обладнання. Контроль виробництва.		
	Розробка креслень апаратурної та технологічної схеми. Розробка креслення метантенка.		
	Опис заходів з охорони праці та захисту навколишнього середовища.		

Студент

Марія ПАВЛІЧЕНКО

Керівник проекту

Марина КОЗАР

РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається з 74 аркушів пояснювальної записки, з використанням 68 літературних джерел та 3 аркушів креслень А1. Пояснювальна записка складається з вступу, п'яти розділів, що містять 3 рисунка, 8 таблиць, висновків і списку літературних джерел. В роботі описано і обґрунтовано технологію виробництва біоетанолу, що використовується як добавка до пального, в якості сировини обрано цукрові буряки.

Наведено характеристику цукрових буряків як сировини для утворення біоетанолу. Розраховано матеріальний баланс процесу, наведено та описано технологічну та апаратурну схеми виробництва біоетанолу, описано заходи по охороні праці та довкілля. Розраховано ферментер об'ємом 100 м³.

БІОЕТАНОЛ, ЦУКРОВІ БУРЯКИ, *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*, РЕКТИФІКАЦІЯ, ФЕРМЕНТЕР.

ABSTRACT

The diploma project consists of 74 sheets of explanatory note, using 68 literature sources and 3 sheets of drawings A1. The explanatory note consists of an introduction, five sections containing 3 figures, 8 tables, conclusions and a list of references. The technology of bioethanol production for use as a fuel additive, with the use of sugar beets as a raw material is selected and substantiated in the work.

The characteristics of sugar beets as a raw material for the formation of bioethanol are given. The material balance of the process is calculated, the technological and equipment schemes of bioethanol production are given and described, the measures on labor protection and environment are described. A 100 m³ fermenter is designed.

BIOETHANOL, SUGAR BEETS, SACCHAROMYCES CEREVISIAE, RECTIFICATION, FERMENTER.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА.....	11
1.1. Характеристика сировини.....	11
1.2. Характеристика біологічного агента.....	14
1.3. Біохімія спиртового бродіння.....	17
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ З ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ.....	20
2.1. Санітарна підготовка виробництва	20
2.2. Підготовка поживного середовища	22
2.3. Підготовка посівного матеріалу	23
2.4. Стадія біосинтезу.....	25
2.5. Виділення спирту та його очищення	29
2.6. Зневоднення та очищення біоетанолу	30
2.7 Характеристика кінцевого продукту.....	31
РОЗДІЛ 3. ОПИС ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ З ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ	33
3.1. Характеристика допоміжної сировини, матеріалів та напівпродуктів, що використовуються у виробництві.....	33
3.2. Опис технологічного процесу.....	34
3.3. Контроль виробництва.....	40
3.4. Матеріальний баланс.....	42
РОЗДІЛ 4. ВИБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ	43
4.1. Опис та обґрунтування конструкції ферментера для зброджування соку цукрового буряка в біоетанол	43

					ЕКБ.БЕ7110.ДП						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Павліченко М.О.			ЗМІСТ				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Козар М.Ю.								6	74
Реценз.									КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ.		
Н. Контр.											
Затверд.											
					БЕ-71						

4.2. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції.....	46
4.3 Технологічний розрахунок.....	48
4.4 Тепловий розрахунок	50
4.5 Розрахунок перемішуючого пристрою.....	53
4.6 Технічна характеристика ферментера	55
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	56
5.1. Техніка безпеки та охорона праці.....	56
5.2. Охорона навколишнього середовища.....	58
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61

ВСТУП

Енергетична криза в наш час зростає в глобальному масштабі через залежність від викопного палива на нафтовій основі, яке дуже швидко вичерпується для задоволення постійно зростаючих потреб. Крім того, викопні види палива також мають прямий вплив на атмосферу [1]. Використання нафтового палива спричиняє викиди парникових газів, які негативно впливають на навколишнє середовище [2]. Біоетанол у цьому аспекті є привабливим варіантом для відновлюваних джерел енергії.

Серед важливих властивостей біоетанолу як палива варто відзначити вище октанове число (108), ентальпію випаровування, швидкість горіння та ширший діапазон займистості. Завдяки цим характеристикам, паливний етанол забезпечує менший час горіння, що в кінцевому підсумку забезпечує кращу ефективність, ніж бензин [3].

Крім того, біоетанол можна використовувати як паливо для транспорту різними можливими способами, безпосередньо або сумішню з бензином. Найпоширенішим змішаним біоетанолом, що використовується в США, є Е-10, що містить концентрацію 10% етанолу та 90% бензину [4]. З іншого боку, Бразилія використовує чистий етанол або суміш етанолу в поєднанні 24% етанолу з 76% бензином [5]. Також, 5% біоетанолу, змішаного з бензином, можна використовувати за стандартом якості ЄС-EN/228 без будь-яких модифікацій двигунів, тоді як для використання більш високої концентрації цього палива, а саме Е-85 (85% етанол), двигун необхідна модифікація [6].

Біоетанол є екологічно чистим кисневим паливом, що містить 35% кисню, яке підходить для зменшення викидів твердих частинок та оксидів азоту, а також інших парникових газів під час горіння [7, 8].

					ЕКБ.БЕ7110.ДП						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Павліченко М.О.			ВСТУП				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Козар М.Ю.								8	74
Реценз.									КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ.		
Н. Контр.											
Затверд.											
					БЕ-71						

Вирощування цукрових буряків для виробництва біоетанолу безпосередньо впливає на економіку України. Тому важливим етапом є запровадження комплексної технології переробки цукрових буряків на біоетанол. Така комплексна переробка дає можливість не лише отримувати біоетанол, а також інші корисні продукти: кондитерський сироп, білу патоку, добрива, також можливість використання меляси для економічно вигідного виробництва спирту та лимонної кислоти. Важливо забезпечити дешеве виробництво етанолу, щоб це паливо могло конкурувати з нафтою [10].

В даний час на промислових заводах з виробництва біоетанолу використовуються переважно два типи первинних вихідних сировин, такі як крохмаль із зернових культур та сік або меляса із цукрових культур [4]. Близько 60% світового етанолу виробляється з цукрових культур, тоді як решта 40% виробляється із крохмалистих зерен [9]. Простіше та дешевше використовувати вільний цукор, що міститься в соці, як вихідну сировину для виробництва етанолу, ніж крохмаль або лігноцелюлозну біомасу, через наявність таких етапів, як попередня обробка та/або гідроліз [10].

В Україні майже відсутнє промислове виробництво біоетанолу з цукрових буряків. На даний момент ця сировина розглядається як перспективна. Для покращення впровадження використання цукрових буряків в якості сировини слід підвищити їх вирощування шляхом створення більш продуктивних гібридів. Також слід забезпечити більш оптимальне використання соку буряків.

Метою дипломного проекту є обґрунтування та вибір технології виробництва біоетанолу з цукрового буряка. Завданнями для досягнення поставленої мети є:

- навести основні характеристики сировини та біологічного агенту;
- обґрунтувати вибір технологічної схеми виробництва біоетанолу з цукрових буряків;
- розробити апаратурну та технологічну схеми виробництва біоетанолу;
- спроектувати та розрахувати ферментер для виробничого біосинтезу;

- навести перелік заходів щодо охорони праці та охорони довкілля при виробництві біоетанолу.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА

1.1. Характеристика цукрових буряків

Біоетанол можна отримувати безпосередньо із цукру, що міститься в соках деяких культур, зброджуючи сахарозу або моносахариди, особливо глюкозу, в етанол [11]. Цукрова тростина, цукровий буряк, солодке сорго та деякі фрукти є хорошими джерелами соків, багатих на цукор, що використовуються як сировина для виробництва етанолу [12].

Соки, що одержуються з вище перелічених культур, містять вільні цукри, особливо багаті на сахарозу, глюкозу та фруктозу [13], що робить їх більш економічно ефективними сировинами у паливно-етанольній промисловості, ніж крохмалісті або лігноцелюлозні матеріали [12] (Табл. 1.1). Сахароза, яка є основним цукром у ферментованих соках, легко розщеплюється на глюкозу та фруктозу під час попередньої стадії ферментації інвертазою, що знаходиться у периплазматичному просторі дріжджів [13].

Таблиця 1.1 – Вміст цукру та води соків різних культур [12]

Вихідна сировина	Вільний цукор (%)	Вологість (%)
Сік цукрової тростини	12-17,6	68,0-82,4
Сік цукрових буряків	16,5	82,6
Сік сорго	16-21,8	78,2
Кавуновий сік	7,0-10,0	90,0-93,0

					<i>ЕКБ.БЕ7110.ДП</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА		
<i>Розроб.</i>	<i>Павліченко М.О.</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Козар М.Ю.</i>						
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Кантр.</i>							
<i>Затверд.</i>							
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						11	74
					<i>КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ.</i>		
					<i>БЕ-71</i>		

При отриманні соку цукрових культур, його доповнюють сульфатом амонію або іншими джерелами азоту, стерилізують, регулюючи рН та концентрацію цукру, а потім ферментують за допомогою мікроорганізмів, особливо дріжджів, у відповідних умовах [14]. Основними недоліками використання соку цукрових буряків як вихідної сировини є короткі терміни зберігання та мікробне розкладання. Густиий сік можна концентрувати до високого вмісту цукру, що дає зменшений об'єм зберігання і, в кінцевому рахунку, нижче мікробне інгібування порівняно з рідким соком [13]. Під час обробки соків у промисловості застосовується звичайний метод вапнування-карбонізації, що застосовується для видалення нецукрів з соку. Він є енергоємним процесом і забезпечує утворення відходів та CO₂.

Використання мембранної технології для очищення цукрових соків може ефективно замінити базові процеси очистки [15]. Крім того, в літературі вказано, що мембранна фільтрація цукрового соку може надати більш якісне очищення, тобто вищу концентрацію сахарози порівняно із звичайним методом вапнування-карбонізації [16].

Цукровий буряк (*Beta vulgaris*) та його промисловий побічний продукт при виробництві цукру (бурякова меляса) є важливими вихідними сировинами для виробництва біоетанолу через вміст вільного цукру, який можна використовувати для ферментації без будь-яких модифікацій. Ця рослина з сімейства амарантових, є культурою високого світового значення, оскільки є основним джерелом цукру в помірних зонах. Вона забезпечує до 30% світового щорічного виробництва цукру.

Сік сирого буряка містить 15–20% сухих речовин, 85–90% ферментованих цукрів та 10–15% нецукрів [15]. Завдяки такому вільному вмісту цукру, буряковий сік можна легко використовувати при бродінні після регулювання рН, що робить його більш вигідною сировиною для виробництва паливного етанолу, що також продемонстровано у Таблиці 1.2 [13].

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 - Фізико-хімічні показники м'якоті цукрових буряків [16]

Фізико-хімічні показники	М'якоть цукрових буряків
Суха маса (г/кг)	229,3 ± 11,5
pH	5,8 ± 0,2
Сахароза (г/кг)	144,8 ± 12,5
Рафіноза (г/кг)	2,4 ± 0,3
Целюлоза (г/кг)	336,8 ± 15,2
Геміцелюлоза (г/кг)	405,5 ± 27,2
Лігнін (г/кг)	1,4 ± 0,2
Білок ($N \times 6,25$) (г/кг)	11,5 ± 0,25

Таблиця 1.3 - Орієнтовна урожайність різних сільськогосподарських культур та можливий вихід біоетанолу з біосировини [17]

Культура (біосировина)	Планова урожайність, ц/га	Вихід етанолу	
		з тонни сировини, дм ³ /т	на один гектар, дм ³ /га
Цукровий буряк	900	50	4498
Топінамбур	300	87	2610
Цикорій	350	92	3248
Картопля	324	114	3693
Кукурудза (зерно)	70	416	2912

Пшениця	50	395	1975
Ячмінь	58	370	2150
Жито	30	340	1020

Проаналізувавши дані Таблиці 1.3, можна зробити висновок, що хоч вихід етанолу з цукрового буряка доволі низький, але це компенсується його врожайністю. Також перевагою використання цукрового буряка в якості сировини для виробництва біоетанолу є відсутність багатьох енергозатратних додаткових стадій, що потребує целюлозо- та крохмалевмісна сировина.

1.2. Характеристика біологічного агента

Участь мікроорганізмів у ферментації цукрів є найважливішою частиною виробництва біоетанолу. Деякі мікроорганізми мають здатність використовувати глюкозу за відсутності кисню для своєї енергії, виробляючи етанол і вуглекислий газ [18]. Ця властивість робить їх потенційними біоагентами у технології бродіння.

Ферментація цукру за допомогою одноклітинних мікроорганізмів, тобто дріжджів, є однією з найдавніших практик у біотехнології, яка широко використовувалась для виробництва спирту, а саме пива та вина, у минулі часи, тоді як сьогодні ця практика використовується промислово для виробництва паливного етанолу з відновлюваних джерел енергії [19].

Основними характеристиками мікроорганізмів, що застосовуються на промислових підприємствах, є високий вихід етанолу (>90,0% від теоретичного виходу), толерантність до етанолу (>40,0 г/дм³), хороша продуктивність етанолу (>1,0 г/дм³/год), швидкий ріст прості та недорогі середовища, здатність до росту в

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

нерозведеному ферментаційному бульйоні зі стійкістю до різних факторів, наприклад, кислого рН або більш високої температури [20].

Для виробництва біоетанолу з цукрових буряків розглядаються такі продуценти, як: *Saccharomyces cerevisiae*, *S. diastaticus*, *Kluyveromyces marxianus*, *Pichia kudriavzevii*, штам *Escherichia coli* KO11 та штам *Klebsiella oxytoca* P2, та *Zymomonas mobilis* [21].

Серед вищезазначених мікроорганізмів, що продукують етанол, *S. cerevisiae* є найбільш привабливим вибором у процесі ферментації завдяки більшій ефективності перетворення цукру на спирт і здатності утворювати флокули під час росту, що полегшує осідання або суспендування при потребі [19] та високу толерантність до етанолу [22]. При ферментації цукровмісної сировини використовуються дріжджі через здатність гідролізувати сахарозу до глюкози та фруктози за допомогою ферменту інвертази. Але оптимальний діапазон температур *S. cerevisiae*, що використовується для виробництва етанолу, становить 30–35 °С, що змушує використовувати термотолерантні мікроорганізми.

Zymomonas mobilis, грамнегативні бактерії, також широко вивчаються протягом останніх трьох десятиліть у виробництві етанолу із зерен, цукру-сирця, соку цукрової тростини та сиропу завдяки їх толерантності до етанолу та вищому поглинанню глюкози, а також хорошій здатності до виробництва етанолу [23]. Дані бактерії можуть утворювати етанол з глюкози шляхом Ентнера-Дудорова, використовуючи ферменти піруватдекарбоксилазу та алкогольдегідрогеназу [24]. Проте через свій вузький діапазон субстратів цей мікроорганізм не може негайно замінити *S. cerevisiae* у виробництві етанолу.

Мікроорганізми, які зазвичай використовуються в процесі бродіння, є гетеротрофами, яким для вирощування та виживання в культуральних середовищах необхідне джерело вуглецю та азоту. Без належного середовища та відповідних умов росту важко отримати здоровий посівний матеріал для включення мікробних клітин у ферментаційний бульйон. Залежно від типу та штаму мікроорганізмів, стан їх росту також змінюється, як зазначено в Таблиці 1.4.

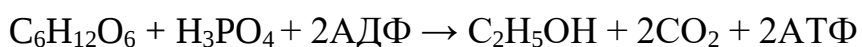
					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4 – Умови росту мікроорганізмів, що беруть участь у бродинні етанолу [21]

Назва мікроорганізму, штам	Джерело вуглецю (г/дм ³)	Джерело азоту (г/дм ³)	Температура зростання °С	pH	Швидкість струшування (об/хв)	Час (год)
<i>S. cerevisiae</i>	глюкоза/сахароза (50,0)	Пептон (5,0)	30	5.0	150	48
<i>S. diastaticus</i>	мальтоза (3,0) та глюкоза (20,0)	Дріжджовий екстракт (5,0), пептон (5,0)	30	6.0	-	-
<i>K. marxianus</i>	Цукор (50,0-80,0)	Сульфат амонію (0,5)	35	4.5	170	72
<i>P. kudriavzevii</i>	Глюкоза (20,0)	Пептон (20,0)	40	6.5	150	48
<i>Z. mobilis</i>	Глюкоза (10,0) та сахароза (30,0)	Дріжджовий екстракт (5,0)	30	6.5	Статичні	18
<i>Z. mobilis</i> ATCC 10988	Глюкоза (20,0)	Сульфат амонію (1,0)	30	6.0	100	24-48
<i>E. coli</i> та <i>K. oxytoca</i>	Сахароза (20,0)	Сульфат амонію (2,0)	30	-	100	24

1.3. Біохімія спиртового бродіння

Виробництво біоетанолу за допомогою мікробного бродіння складається з трьох основних етапів. Виготовлення ферментованого розчину цукру є основним етапом. Ферментація цукрів з утворенням етанолу в розчині - це другий етап, який проходить при сталих значеннях температури, рН та концентрації цукру. Виділення та очищення етанолу від розчину є завершальним етапом, який зазвичай досягається методом дистиляції [58]. Загальне перетворення цукрів в етанол шляхом анаеробної мікробної ферментації показано в наступному рівнянні:



Спиртове бродіння - це складний багатоступінчастий процес перетворення глюкози в спирт, що йде по гліколітичному шляху з проміжним утворенням піровиноградної кислоти. Одним з кінцевих продуктів спиртового бродіння є вуглекислий газ. Також утворюються невелика кількість гліцерину, оцтового альдегіду, кислоти: оцтова, молочна, пропіонова і бурштинова; діацетил, ацетоїн, різні альдегіди і складні ефіри, сивушні масла - суміш вищих спиртів (амілового, ізоамілового, бутилового, ізобутилового та ін.) [59]. Основними продуцентами є дріжджі, для них спиртове бродіння є процесом отримання енергії в анаеробних умовах. У кислотовмісному середовищі дріжджі поведуться як аероби, дихають і активно розмножуються. Невелику кількість етанолу можуть утворювати і деякі цвілеві гриби (аспергіли, мукові), і деякі бактерії (*Sarcina ventriculi*, *Erwinia amylovora* та ін.), але у них ці процеси йдуть з утворенням великої кількості побічних продуктів [60].

Оптимально бродіння протікає в кислому середовищі при рН 4-5. В цих умовах гліцерин накопичується в кількості не більше 2%, але зміна рН середовища в лужну сторону (рН близько 8) дозволяє отримувати до 40% гліцерину по відношенню до зброджені цукру. Оптимальна концентрація цукру в середовищі - 10-15% [61]. Однак в природі зустрічаються дріжджі, які можуть зброджувати і 60% цукровмісні субстрати. Найбільш сприятливою температурою для спиртового

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бродиння є 30°C. При знижених температурах бродиння сповільнюється, але продовжується навіть при температурі трохи нижче 0°C, а при 50°C бродиння припиняється, так як дріжджі гинуть [59].

Етиловий спирт, що утворився в процесі бродиння, несприятливо впливає на самі дріжджі вже при концентрації 2-5%. І в основному бродиння припиняється при накопиченні в субстраті 12% спирту. Виведено стійкі штами дріжджів, здатні продукувати до 20% спирту [58].

При виробництві спирту застосовують штами *Saccharomyces cerevisiae* (рис. 3.1) [58]. Після закінчення процесу бродиння дріжджі відокремлюють, спирт відганяють на перегінних апаратах і отримують спирт-сирець і барду. Барда являє собою відхід спиртового виробництва, дуже багатий за складом, його використовують в якості середовища для культивування дріжджів. Спирт-сирець є сировиною для виробництва спирту-ректифікату (спеціальним чином очищеного) або для технічних цілей [61].

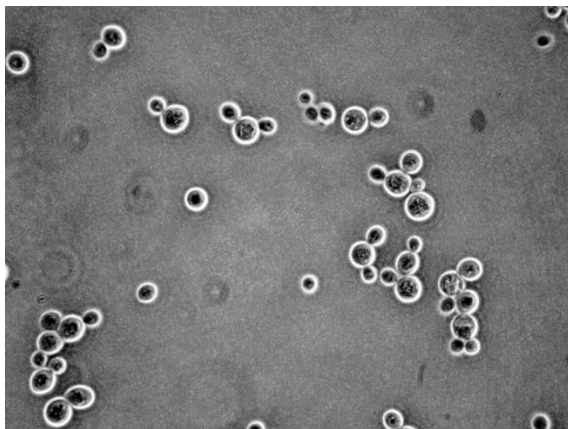


Рис. 3.1. Saccharomyces cerevisiae (електронна мікрофотографія зі збільшенням у 1000 разів) [58]

В процесі зброджування разом з виробничими дріжджами можуть розвиватися дикі дріжджі, що потрапили з навколишнього середовища. Більшість диких дріжджів не здатні до спиртового бродиння або виробляють дуже мало спирту, але вони використовують поживні речовини середовища і пригнічують розвиток виробничих дріжджів, знижуючи вихід спирту [60].

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

В результаті окисно-відновних реакцій при бродінні звільняється енергія (у вигляді АТФ) і утворюються сполуки, необхідні для життєдіяльності організму. Деякі бактерії, мікроскопічні гриби і найпростіші ростуть, використовуючи тільки ту енергію, яка вивільняється при бродінні. Загальний проміжний продукт у багатьох видів бродіння - піровиноградна кислота, утворення якої з вуглеводів в більшості випадків протікає таким же шляхом, як в гліколізі. Деякі види бродіння, що відбуваються анаеробно під дією мікроорганізмів, мають важливе практичне значення.

Спиртове бродіння здійснюється зазвичай за допомогою дріжджів роду *Saccharomyces* і бактерій роду *Zymomonas*. У реакціях приймають участь відповідно відновлена або окислена форми нікотинамідаденіндинуклеотида або нікотинамідаденіндинуклеотидфосфата. Перша стадія процесу каталізується ферментом піруватдекарбоксилазою, друга - алкогольдегідрогеназою.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ З ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

2.1. Санітарна підготовка виробництва

Санітарна підготовка виробництва забезпечує належний рівень чистоти виробничих приміщень і обладнання для проведення технологічних процесів з дотриманням вимог асептики.

Перед початком технологічного процесу перевіряється чистота ємностей, справність апаратури, заземлення. Перед завантаженням кожної серії продукту технологічні ємності миють, замінюють фільтрувальні засоби. Чистка і дезінфекція обладнання повинні проводитися після кожної технологічної операції із застосуванням дезінфікуючого розчину, з наступним промиванням теплою і холодною дистильованою водою.

Для попередження мікробного забруднення продукції ведення технологічного процесу проводиться в умовах, які максимально обмежують можливість забруднення продукції мікрофлорою.

Не рідше ніж раз на два тижні бажано проводити генеральне прибирання, яке включає в себе крім звичайних процедур, обробку стель, систем вентиляції та інших важкодоступних місць. В день проведення генерального прибирання ніякі роботи з виробництва не проводяться.

Контроль мікробного обсіменіння повітря виробничих приміщень проводиться не рідше 1 разу на тиждень, відповідно до ДСТУ ISO 14698-1:2008.

Перед початком роботи перевіряють чистоту і справність обладнання, згідно з інструкціями з експлуатації. Все обладнання підлягає регулярному профілактичному огляду, а при необхідності - поточного ремонту.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Павліченко М.О.			ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ З ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ	Літ.	Арк.	Акрushiв
Перевір.		Козар М.Ю.					20	74
Реценз.						КПІ ім. Ізгоря Сікарського, ФБТ. БЕ-71		
Н. Кантр.								
Затверд.								

Під підготовкою обладнання мається на увазі обробка внутрішніх і зовнішніх поверхонь (частин) м'якими та дезінфікуючими засобами. Контроль мікробного забруднення устаткування проводиться безпосередньо перед його використанням у виробничому процесі, а так само вибірково після його обробки.

Підготовка вентиляційного повітря, що надходить у виробничі приміщення класів чистоти С і D здійснюється відповідно до ДСТУ ISO 14698-1:2008. Передбачена двоступенева очистка повітря, що подається у виробничі приміщення (фільтри грубого і тонкого очищення).

Технічний одяг замінюють у міру забруднення, але не рідше ніж один раз на тиждень. Перед пранням технічний одяг оглядають з метою встановлення необхідності ремонту і ступеня зносу.

Прання одягу здійснюють в спеціальному приміщенні. Перевозять його в закритих кришками ємностях. Перуть одяг в автоматичній пральній машині, після прання одяг прополіскують спочатку в теплій, потім в холодній воді і очищеній воді. Висушений одяг пропрасовують гарячою праскою.

Люди, зайняті у виробництві, повинні проходити щорічне медичне обстеження і бактеріологічне обстеження. Підготовка персоналу до роботи здійснюється відповідно до ДСТУ 2293-99.

Моніторинг санітарної підготовки. Для досягнення відповідної мікробіологічної чистоти на підприємстві необхідно визначити критичні виробничі зони, тобто локальні зони асептичного виробництва, в яких відбуваються асептичні маніпуляції з продуктом, асептичний монтаж обладнання, операції фасування, на яких продукт піддається найбільшому ризику контамінації. Необхідно також визначити докритичний рівень вмісту сторонніх мікроорганізмів і механічних частинок, що дає раннє попередження про можливе відхилення від нормальних умов праці виробництва. Встановити критичний рівень вмісту сторонніх мікроорганізмів і механічних частинок, що вимагає негайного втручання і коригувальних дій, якщо він перевищений.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Контроль якості санітарної обробки приміщення і обладнання проводять візуальним, хімічним і мікробіологічними методами.

2.2. Підготовка поживного середовища

Поживні середовища, що використовуються для культивування мікроорганізмів, містять велику кількість компонентів, основним з яких вважають той, який є джерелом вуглецю та енергії.

Цукрова тростина і буряк - найважливіші рослини, з яких виробляють цукор у світі. Дві третини світового виробництва цукру припадає на цукрову тростину, а третина - на цукровий буряк [25]. Вони можуть бути легко гідролізовані ферментом інвертазою, який синтезується більшістю видів *Saccharomyces*. Отже, попередня обробка не потрібна для виробництва біоетанолу із сировини, що містить цукор (сахарозу), що робить цей біопроцес більш простим, ніж із сировини, що містить крохмаль [26]. При використанні цукровмісних культур необхідно проводити лише стадії подрібнення та екстрагування сахарози, використовуючи яку можна виробляти біоетанол [25].

Цукрові буряки - це білі коренеплоди вагою приблизно два кілограми кожен. Для того, щоб екстрагувати сахарозу з буряка, її спочатку потрібно нарізати на багато менші шматочки [15]. Ці шматочки називаються косетами, і за формою вони приблизно нагадують картоплю фри.

Після нарізки буряка наступним етапом виробництва етанолу є екстракція сахарози. На цьому етапі шматочки промивають струменем води в протivotоці для вилучення цукру. На відміну від процесів, що перетворюють кукурудзу в етанол, цукрові буряки не потребують ферментативної обробки для отримання більш простих цукрів із крохмалів [25]. Це значно спрощує процес.

Тверда пульпа видаляється і подається в прес. Пресована целюлоза розглядається як відходи, оскільки вона більше не використовується в процесі. Часто целюлоза продається як їжа для тварин, таких як корови, коні та вівці.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним продуктом, що виходить з екстрактора, це сирий сік, який містить сахарозу, а також невелику кількість інших непридатних для використання цукрів, іонів та інертних сполук, які потенційно можуть зашкодити процесу [16].

Домішки сахарози видаляються обробкою сирого соку вапном. У процесі фільтрації додається гідроксид кальцію. Потім через суміш барботують діоксид вуглецю, після чого утворюється карбонат кальцію. Карбонат кальцію випадає в осад і забирає з собою переважну більшість домішок, що містяться в сирому соці. Цей процес карбонізації та освітлення може повторюватися кілька разів, хоча найчастіше він повторюється двічі [15].

2.3. Підготовка посівного матеріалу

S. cerevisiae є найбільш розповсюдженими дріжджами у промисловому виробництві етанолу, оскільки вони переносять широкий діапазон рН [27], що робить процес менш сприйнятливим до зараження. Хлібопекарські дріжджі традиційно використовувались як закваску у виробництві етанолу через низьку вартість та легку доступність.

Стресові умови, такі як підвищення концентрації етанолу, температури, осмотичного стресу та бактеріального забруднення, є причинами, через які дріжджі неможливо використовувати під час бродіння [28]. Флокулентні дріжджі також використовуються під час біологічного бродіння для виробництва етанолу, оскільки це полегшує подальшу переробку, дозволяє працювати при високій щільності клітин і забезпечує вищу загальну продуктивність [29]. Це зменшує витрати на відновлення клітин, оскільки легко відділяється від ферментаційного середовища без центрифугування [30].

Під час бродіння цукру існують такі проблеми для дріжджів, які полягають у підвищенні температури (35–45 °C) та концентрації етанолу (понад 20%) [31]. Швидкість росту дріжджів і метаболізм зростають із збільшенням температури, поки вона не досягне оптимального значення. Збільшення концентрації етанолу під

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

час бродіння може спричинити зупинку росту та зниження життєздатності мікроорганізмів [32]. Нездатність *S. cerevisiae* рости в середовищах, що містять високий рівень спирту, призводить до пригнічення вироблення етанолу [33]. Іншими проблемами бродіння біоетанолу дріжджами є здатність ферментувати пентозний цукор. *S. cerevisiae* є найбільш часто використовуваним у виробництві біоетанолу. Однак він може ферментувати гексози, але не пентози. Лише деякі дріжджі родів *Pichia*, *Candida*, *Schizosaccharomyces* та *Pachysolen* здатні ферментувати пентози до етанолу [28].

Посівний матеріал отримується шляхом повторюваних пересівів з пробірки у колбу та до апаратів, що безпосередньо використовуються у промисловому виробництві та мають більший об'єм, після чого вже отримується виробнича культура. Посівний матеріал повинен задовольняти ряд вимог таких, як:

- містити лише клітини того штаму, що використовується;
- бути життєспроможними та активно синтезувати всі необхідні продукти;
- містити визначену та необхідну кількість клітин на одиницю об'єму;
- забезпечувати оптимальну тривалість культивування.

Посівний матеріал дріжджів для глибинного культивування готують у декілька стадій:

1. Відновлення музейної культури у поживному середовищі;
2. Вирощування вихідної культури у колбах;
3. Культивування продуцента в колбах більшого об'єму;
4. Вирощування посівної культури у інокуляторі;
5. Дріжджегенерування в посівному ферментері.

Дріжджегенерування проводять підтримуючи гомогенність середовища та рівність коефіцієнтів швидкості росту дріжджів та розбавленні середовища при їх інтенсивному рості. Це досягається завдяки рівномірній подачі поживного середовища, аерації та перемішуванню, автоматизації основних параметрів дріжджегенерування. Температуру слід підтримувати на постійному рівні 30 ± 1 °C,

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для цього використовується сорочковий реактор з постійною подачею води, що виступає в якості підігрівача або охолоджувача за необхідності.

2.4. Стадія біосинтезу

Біоетанол виробляється переважно за допомогою трьох типів бродіння, таких, як: періодичне, напівперіодичне або безперервне [34]. При періодичному бродінні вихідну сировину додають у ємність для бродіння разом з мікроорганізмами, поживними речовинами та іншими інгредієнтами на початку ферментації цілої партії з подальшим відновленням етанолу, тоді як у напівперіодичному режимі один або кілька інгредієнтів додають до ємності, де вже відбувається бродіння [35]. Постійний бродіння передбачає постійне введення та виведення інгредієнтів з бродильної ємності [36].

Вибір доцільного способу бродіння головним чином залежить від кінетики використовуваних мікроорганізмів та природи вихідних сировинних ресурсів. Періодичний процес бродіння - це простий процес завдяки низькій вартості, меншим вимогам до контролю, легшій стерилізації та керуванню сировиною, а також залученню некваліфікованої робочої сили. Крім того, більшість досліджень виробництва етанолу з вихідних сировинних матеріалів проводили шляхом періодичного бродіння [37].

Режим подачі в напівперіодичному режимі широко використовується у промисловому виробництві завдяки накопиченню переваг як від періодичного, так і від безперервного процесу [38]. Цей режим бродіння дає деякі переваги перед звичайним періодичним процесом, наприклад, підтримка максимальної життєздатної концентрації клітин, тривалий термін життя клітини, більш високе накопичення продукту, менш інгібуючий ефект вищої концентрації субстрату та контроль кількох критичних факторів, таких як рН, температура та розчинений кисень на певному рівні завдяки дії зворотного зв'язку [39].

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Було обрано безперервне бродіння, яке може здійснюватися в основному в двох основних типах реакторів, наприклад, штепсельний проточний реактор та реактор з безперервним перемішуванням. Обраний спосіб бродіння має деякі переваги перед періодичним бродінням. Цей спосіб бродіння потребує менших простоїв для очищення та наповнення ємностей, що забезпечує підвищену продуктивність при менших витратах [40].

Використання іммобілізованих мікробних клітин на різних носіях продемонструвало деякі технічні та комерційні переваги над вільною клітинною системою через зміни стану росту, фізіологічних та морфологічних властивостей клітини [41]. Цей метод підвищує продуктивність та вихід етанолу та зменшує інгібуючий ефект високої концентрації субстрату та продукту [42]. Крім того, іммобілізація запобігає вимиванню клітин при безперервному бродінні, що дозволяє уникнути поділу або рециркуляції клітин у процесі.

Іммобілізація *S. cerevisiae* може бути легко здійснена клітинами з культурального середовища та зібрана на логарифмічній фазі росту з подальшим захопленням у носії [43].

Ферментація з дуже високою гравітацією - це технологія використання високої концентрації цукрів під час бродіння з виходом підвищеної концентрації етанолу. Ця технологія застосовується для ферментації оброблених вихідних сировинних матеріалів, що містять 270 г/дм³ або більше розчинених твердих речовин, тобто вільних цукрів [44]. Також у даній технології використовується посилений і тривалий ріст мікроорганізмів у присутності низького рівня кисню та зменшує споживання води та витрати на дистиляцію завдяки збільшенню виробництва спирту [45]. Втрату життєздатності клітин під час можливого збільшення концентрації етанолу слід оцінювати під час ферментації, використовуючи техніку фарбування метиленовим синім або метод формування колоній [42].

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кілька факторів, особливо температура, рН, час бродіння, швидкість перемішування, початкова концентрація цукру та розмір посівного матеріалу, впливають на процес бродіння, а також вихід етанолу.

Температура

Температура є важливим фактором, який ретельно регулюється під час бродіння, оскільки він має життєво важливий вплив на процес та виробництво етанолу. Виробництво етанолу залежить від температури бродіння і певною мірою його концентрація зростає із підвищенням температури [46]. Однак висока температура розглядається як фактор стресу для мікроорганізмів, що є несприятливим для їх росту. Вони виробляють білки теплового шоку у відповідь на високу температуру і інактивують свої рибосоми. Крім того, мікробна активність і процес бродіння регулюються різними ферментами, які також чутливі до високої температури, оскільки це денатурує їх третинну структуру, з часом їх інактивуючи [47].

Необхідно визначити оптимальну температуру під час бродіння для належного росту мікробів, а також більш високого виходу етанолу. Зазвичай вважається, що ідеальний діапазон температур бродіння становить від 20 до 35 °C, а висока температура майже у всіх процесах бродіння створює проблеми [47].

Оптимальна температура бродіння для вільних клітин *S. cerevisiae* становить близько 30 °C, тоді як для іммобілізованих клітин вона трохи вища, ймовірно, оскільки вони можуть передавати тепло від поверхні частинок всередину клітин [48].

рН

Посилене виробництво етанолу шляхом бродіння можна отримати, контролюючи рН бульйону, оскільки це є одним із ключових факторів виробництва етанолу, що має прямий вплив на організми, а також на їх біохімічні процеси [49].

Загалом, концентрація H^+ у ферментаційному бульйоні може змінити загальний заряд плазматичної мембрани, впливаючи на проникність деяких важливих поживних речовин в клітині. Оптимальний діапазон рН для *S. cerevisiae*,

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що використовується для ферментації для виробництва етанолу, становить 4,0 - 5,0 [50].

Час бродіння

Коротший час бродіння спричиняє неадекватний ріст мікроорганізмів, зрештою спричиняючи неефективне бродіння. З іншого боку, більший час бродіння викликає токсичний ефект на ріст мікроорганізмів, особливо в періодичному режимі, через високу концентрацію етанолу у ферментованому бульйоні [51].

Було отримано найвищі концентрації етанолу через 64 год, що склало 40,11 г/л, з подальшим зниженням до 37,24 г/дм³ після 72 год ферментації під час вивчення солодкого сорго. Крім того, потрібно більше часу для завершення бродіння при нижчій температурі, хоча вихід етанолу є найнижчим. Наприклад, лише 44,0% цукру споживалося понад 240 год, виробляючи найнижчий рівень етанолу, коли ферментація проводилася при 15 °C [47].

Інтенсивність перемішування

Перемішування відіграє важливу роль у отриманні більш високого виходу етанолу під час бродіння, збільшуючи проникність поживних речовин із бродильного бульйону всередину клітин і таким же чином видаляючи етанол із внутрішньої частини клітини до ферментаційного бульйону. Збудження також збільшує споживання цукру та зменшує інгібування етанолу на клітинах.

Необхідна швидкість перемішування становить 150–200 об/хв для дріжджових клітин у процесі бродіння. Існують дослідження, в яких повідомлялося про максимальний вихід етанолу (85,73%) при 200 об/хв перемішування. Тим не менше, надмірна швидкість збудження не підходить для плавного виробництва етанолу через обмежену метаболічну активність клітин [48].

Концентрація цукру

Початкова концентрація цукру є важливим фактором впливу, оскільки вона має прямий вплив на швидкість бродіння та мікробні клітини. Фактична залежність між початковим вмістом цукру та швидкістю бродіння є досить складною.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Надмірно висока концентрація цукру перевищує здатність поглинання мікробних клітин, що призводить до стійкої швидкості бродіння.

Під час періодичного бродіння підвищену продуктивність етанолу та вихід можна отримати при більш високій початковій концентрації цукру, але це потребує більш тривалого часу бродіння і згодом збільшує витрати на відновлення. Враховуючи ці факти, оптимальну концентрацію цукру в періодичному бродінні визначали як 190,0 г/дм³ [52].

Концентрація інокуляту

Концентрація інокуляту не має значного впливу на кінцеву концентрацію етанолу, але суттєво впливає на рівень споживання цукру та продуктивність етанолу [52]. Однак повідомлялося, що виробництво етанолу збільшувалось із збільшенням початкової кількості клітин з 1×10^4 до 1×10^7 клітин/мл, і не було виявлено значної різниці у виробництві етанолу між 10^7 і 10^8 клітинами/мл.

Підвищена концентрація клітин у певному діапазоні також значно скорочує час ферментації завдяки швидкому зростанню клітин у ферментаційних середовищах, які швидко споживають цукор, виробляючи етанол. У статті повідомляється, що скорочення часу бродіння з 72 год до 48 год було виявлено шляхом збільшення концентрації дріжджів з 3,0% до 6,0% [53].

2.5. Виділення спирту та його очищення

Для отримання очищеного етанолу (95,63% по масі) з бінарного азеотропного етанолу і води необхідні два енерговитратні етапи поділу [54]. Першим кроком є стандартна дистиляція, яка концентрує етанол до рівня 92,4–94% по масі. Циклічна дистиляція для очищення етанолу є енергоефективною альтернативою, яка характеризується порівняно низькими інвестиціями.

Другий етап включає зневоднення етанолу з отриманням безводного етанолу (концентрації етанолу вище азеотропного складу). Для цієї мети слугує кілька добре відомих методів, таких як дистиляція, що змінюється тиском [55], екстрактивна дистиляція (рідким розчинником, розчиненою сіллю, їх сумішшю,

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

іонними рідинами, гіперрозгалуженими полімерами) [56], азеотропна дистиляція [57] та поєднання цих методів.

2.6. Зневоднення та очищення біоетанолу

При процесі екстрактивної дистиляції використовуються пара дистиляційних колонок послідовно з етаноловим продуктом, що виводиться з дна другої дистиляційної колони. Перша колонка забезпечує сире відділення води від етанолу. На дно першої колонки додається загущувач, щоб забезпечити відновлення непрореагованої сахарози, яка видаляється водою [54]. Оскільки цей потік містить занадто багато води, щоб його можна подати назад на етапи попередньої обробки, цей етап загущення необхідний, щоб відігнати частину води, для уникнення затоплення екстрактора [56].

Розчинники додаються до більш концентрованого потоку етанолу перед другою колоною. Ця колона пропускає етанол дуже високої чистоти, а в якості дистиляту - суміш води та розчинника. Як тільки більшість етанолу очищено і видалено з системи, трихлоретилен відокремлюють від води, щоб вода могла виділятися у відходи. Рідкий трихлоретилен і вода утворюють двофазну рідинно-рідинну суміш, що дозволяє видалити більшу частину трихлоретену за допомогою гравітаційного методу, який розділяє дві фази на основі різниці щільностей [57].

Оскільки трихлоретилен щільніше води, його видаляють із дна ємності. Потік відходів досить розбавлений, що не вимагає побудови третьої дистиляційної колонки. Тому потік направляється через дно. Майже весь трихлоретилен видаляється, і дуже мала кількість втрачається в потоці стічних вод [58]. Подача рідини у колонки коригується, щоб збалансувати експлуатаційні витрати коефіцієнта дефлегмації проти вартості обладнання етапів. Загальний і компонентний масові витрати кожного потоку перевіряються для того, що поділ тривав у міру необхідності. Далі потоки переробки підводяться в систему. Вода, етанол і трихлоретилен по можливості переробляються [56].

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7. Характеристика кінцевого продукту

Згідно ДСТУ 7166:2010 Біоетанол. Технічні умови. Біоетанол - прозора рідина, безбарвна або жовтувата, без нерозчинних або завислих домішок і частинок. Біоетанол призначений для використання в якості компонента при виробництві автомобільного бензину і різних видів біоетанольних палив, в якості сировини для виробництва інших паливних компонентів (добавок).

Таблиця 3.1 – Характеристика біоетанолу [17]

Найменування показників	Стандартне значення
Густина при 20 ⁰ С, кг/м ³	не більше 791
Масова частка основних компонентів, % не менше	99,84
Концентрація біоетанолу для підвищення октанового числа, % мас	4,32
Октанове число змішування, дослідницький метод	117
Октанове число змішування, моторний метод	106
Масова частка води, % не більше	0,324
Кислотність, мг/дм ³ (% мас), не більше	56 (0,007)
Показник активності водневих іонів, рН, в межах	6,5-9
Масова концентрація хлор-іонів, мг/дм ³ , не більше	32
Масова частка міді, мг/кг, не більше	0,1
Масова частка сірки, %, не більше	0,003
У разі надлишкового введення в паливо води більше, % мас	0,5

Біоетанол - легкозаймиста рідина. Температура займання - 13 °С, температура самозаймання - 404 °С. Температурні межі вибуховості парів в повітрі: нижній - 11 °С, верхній - 41 °С. Концентраційні межі вибуховості при 101,3 кПа (760 мм рт.ст.) - 3,6% об. - 19,0% об.

Транспортне маркування біоетанолу проводиться з нанесенням спеціальних знаків: «Берегти від вогню», «Герметична упаковка». На транспортну тару з біоетанолом наносять наступні дані:

- найменування підприємства-виробника і його товарний знак, адреса;
- найменування продукту;
- номер партії, кількість міст в партії і їх номери;
- дата виготовлення;
- напис «легкозаймиста рідина»;
- знак небезпеки по ДСТУ 4500-1:2008, клас небезпеки 3, напис «Заборонено до вживання в харчових цілях»;
- об'єм, м³;
- маса бруто, кг;
- позначення чинного стандарту.

Для транспортування застосовують сталеві бочки та спеціальні контейнери-цистерни без нижнього зливу або імпорتنі контейнери-цистерни, сталеві авто- та залізничні цистерни. Рівень заповнення цистерн та бочок розраховується з урахуванням повного використання їх місткості (грузопідйомності) та об'ємного розширення продукту при можливому перепаді температур, але не більше 95%.

Цистерни та резервуари з біоетанолом повинні герметично закриватись кришками та мати воздушники, які оснащені запобігачами клапанами. Для встановлення рівня рідини спирту застосовують поплавкові або інші безпечні показники рівня. Граничне відхилення маси чи об'єма біоетанола, упакованого в транспортну тару: бочки 100 – 200 кг - ± 900 г або ± 0,5% об.; автоцистерни – ± 20000 г або ± 0,2% об.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ОПИС ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ З ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

3.1. Характеристика допоміжної сировини, матеріалів та напівпродуктів, що використовуються у виробництві

Таблиця 3.1 - Допоміжні матеріали.

№	Найменування	Категорія та НТД, яким регламентується сировина	Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення	Примітки
	1. Допоміжна сировина			
2.	Вода питна	ДСТУ 7150:2010	Усі показники згідно з ДСТУ	
3.	Кислота соляна	ДСТУ 2904-94	Усі показники згідно з ДСТУ	Технічна
4.	Формалін	ДСТУ 7274:2012	Усі показники згідно з ДСТУ	Технічний
5.	Хлорне вапно	ДСТУ 1692-85	Усі показники згідно з ДСТУ	Технічне
6.	Карбамід	ДСТУ ISO 2753–2003	Усі показники згідно з ДСТУ	Технічний
7.	Діамонійфосфат	ДСТУ 8367:2015	Усі показники згідно з ДСТУ	Технічний

					ЕКБ.БЕ7110.ДП									
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Павліченко М.О.			ОПИС ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ З ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ					Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.		Козар М.Ю.										33	74	
Реценз.										КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ. БЕ-71				
Н. Контр.														
Затверд.														

8.	Каустична сода	ДСТУ 2263-79	Усі показники згідно з ДСТУ	Для приготування дезінфікуючого розчину
	2. Матеріали			
9.	Пробірки лабораторні (14 мм)	ДСТУ ISO 4787:2009	Зовнішній вигляд, цілісність	Для культивування на агаризованому середовищі
10.	Колби конічні об'ємом 2 л та 5 л	ДСТУ ISO 1042:2005	Зовнішній вигляд, маркування, цілісність	Для культивування посівного матеріалу
	3. Напівпродукти			
11.	Музейна культура дріжджів	-	Мікробіологічна чистота Ферментативна активність	Для приготування посівного матеріалу

3.2. Опис технологічного процесу

ДР1 Санітарна підготовка

ДР1.1. Підготовка обладнання.

Перед початком роботи перевіряється чистота і справність обладнання, згідно з інструкціями з експлуатації. Все обладнання підлягає регулярному профілактичному огляду, а при необхідності - поточного ремонту.

Під підготовкою обладнання мається на увазі обробка внутрішніх і зовнішніх поверхонь (частин) миючими та дезінфікуючими засобами. Контроль мікробного

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забруднення устаткування проводиться безпосередньо перед його використанням у виробничому процесі, а так само вибірково після його обробки.

ДР1.2 Підготовка персоналу

Підготовка персоналу до роботи здійснюється відповідно до ДСТУ EN ISO 15189:2015.

ДР1.3. Підготовка спецодягу.

Технологічний одяг замінюють у міру забруднення, але не рідше ніж один раз на тиждень. Перед пранням технологічний одяг оглядають з метою встановлення необхідності ремонту і ступеня зносу. Прання одягу здійснюють в спеціальному приміщенні. Перевозять його в закритих кришками ємностях. Перуть одяг в автоматичній пральній машині, після прання одяг прополіскують спочатку в теплій, потім в холодній воді і очищеній воді. Висушений одяг пропрасовують гарячою праскою.

ДР2 Приготування розчину мінеральних солей та кислот

Через дозатор в реактор подаються всі додаткові компоненти для поживного середовища. Сірчанокислений та фосфорнокислий амоній, фосфорна кислота вносяться в реактор об'ємом 63 м³ обладнаний мішалкою. Вода подається за допомогою дозатора. Проводять хімічний контроль К_х.

ДР3 Підготовка пари.

Пара готується в спеціальних котлах за високого тиску. Тиск пари, що використовується в системі має складати 0,5 МПа.

ДР4 Підготовка вихідної сировини

ДР4.1 Подрібнення

Для того, щоб видалити сахарозу з буряка, її спочатку потрібно нарізати на багато менші шматочки. Ці шматочки називаються косетами, і за формою вони приблизно нагадують картоплю фри.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДР4.2 Екстракція сахарози

Після нарізки буряка наступним етапом виробництва етанолу є екстракція сахарози. На цьому етапі шматочки промивають струменем води в протivotоці для вилучення цукру. Тверда пульпа видаляється і подається в прес.

Домішки сахарози видаляються обробкою сирого соку вапном. У процесі фільтрації додається гідроксид кальцію. Потім через суміш барботують діоксид вуглецю, після чого утворюється карбонат кальцію.

ДР5 Отримання біомаси виробничих дріжджів

ДР5.1 Підготовка поживного середовища

Перед початком культивування готується дріжджове сусло, в яке потім вносяться засівні дріжджі. В реактор за допомогою дозатора подається поживне середовище і мінеральні поживні речовини. Масообмін покращується за допомогою турбінної мішалки. Реактор обладнаний секційною сорочкою.

ДР5.2 Культивування дріжджів

На початку процесу виробництва дріжджі розмножують по методу чистої культури, для цього використовуються наступні матеріали: пробірка, колба на 500 мл, сулій на 5 л, апарат чистої культури (АЧК) та дріжджанка. Дріжджанка являє собою циліндричну ємність із конічним днищем, постачену поверхнею охолодження й мішалкою.

Для розмноження засівних дріжджів використовується стерильне сусло з концентраціями по цукрометру 10, 14, 16 %. На кожній стадії тривалість розмноження дріжджів становить 20-24 години при температурі 30°C. Отримані дріжджі використовуються для подальшого розмноження в дріжджанках. Засівні дріжджі відбирають від виробничих у кількості 10%.

До розвареної біомаси при глибинному культивуванні додається грибна культура в кількості 3-4% по об'єму. Після чого відбувається процес оцукрення при температурі 58°C протягом 2-3 годин.

					ЕКБ.БЕ71010ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

При неперервному зброджуванні суслу його пастеризують протягом 30 хв. при температурі 80 °С, після чого охолоджують до 50 °С.

ДР5.3 Отримання товарної біомаси

У ферментері процес культивування відбувається до тих пір, поки не буде отримано необхідну концентрацію дріжджів, а саме 80 – 100 г/дм³ (в перерахунку на дріжджі з вологістю 75%).

ТП6 Зброджування поживного середовища

Біомаса дріжджів безперервно подається з реактора до ферментера, куди також подається стиснене повітря та поживне середовище. В процесі бродіння утворюється вуглекислий газ, що надходить у верхню частину реактора і сприяє масообміну. Процес бродіння відбувається при чітко визначених умовах що були зазначені в технології. Процес закінчується у другому бродильному ферментері де зброджуються цукри що недобродили в першому ферментері. Утворений етиловий спирт залишається в бражці.

ТП7 Відділення дріжджів на сепараторі

Після закінчення бродіння утворена бражка подається в сепаратор, який працює при швидкості 4500-6000 обертів за хвилину. Продуктивність сепараторів складає 10 – 35 м³/год. Рідина розділяється на два потоки: більший, що не містить дріжджів, та подається в збірник, та менший, який містить дріжджі та подається у ферментер.

ТП8 Виділення етанолу на брагоректифікаційній установці

ТП8.1 Очищення в бражній колоні

Після збірника бражка направляється на живильну тарілку бражної колоні, що працює за атмосферного тиску. В нижню частину колоні подається пара. При стіканні по тарілках колоні вниз бражка перетинається з парою, що підіймається вгору. Концентрація спирту в бражці поступово знижується, при повному видаленні спирту бражка стає бардою, яка потім направляється на стадію

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переробки відходів, а саме на стадію виробництва кормових дріжджів. Використана пара потрапляє в дефлегматор, де конденсується.

В 1 м³ бражки при температурі 30 °С розчиняється близько 1 м³ вуглекислого газу, утвореного після бродіння. При нагріванні бражки гострою парою виділяється розчинена вуглекислота та пари спирту, після чого вони підіймаються в дефлегматор. Спирт конденсується в холодильнику та стікає назад у колону. Вуглекислий газ відділяється на скрубєрі.

ТП8.2 Очищення в ректифікаційній колоні

Конденсат насосом подається на живильну тарілку ректифікаційної колоні, що працює за атмосферного тиску. Цей етап аналогічний до попереднього, але процес проходить на більш високих концентраціях спирту. При стіканні по тарілках колоні вниз бражка перетинається з парою, яка поступово забирає спирт зі спиртового конденсату. Звільнена від спирту рідина називається лютером і направляється на стадію переробки відходів.

Водно-спиртова пара конденсується в дефлегматорі, та стікає в колону. В частині колоні, де концентрація спирту складає 45-50 %, накопичуються сивушні масла, які представляють собою суміш вищих спиртів.

Етиловий спирт, очищений від домішок, відбирається з верхніх тарілок ректифікаційної колоні і подається на живильну тарілку метанольної колоні.

ТП8.3 Очищення в метанольній колоні

Очищений етиловий спирт з концентрацією 94-96 %, що також містить у собі метанол у кількості 0,7 % подається на живильну тарілку метанольної колоні, яка працює за атмосферного тиску. Метанол направляється у верхню частину колоні, закріплюється в дефлегматорі і зливається у збірники метанольної фракції.

Етиловий спирт стікає в нижню частину метанольної колоні і зливається в збірник етилового спирту через насос. Колона нагрівається глухою парою. Водяна пара надходить в підігрівач, завдяки чому нагріває спирт до кипіння і утворені спиртові пари йдуть на обігрів колоні.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ТП8.4 Зневоднення біоетанолу

Оскільки отриманий спирт містить занадто багато води, щоб його потрібно подати на етапи зневоднення. Розчинники додаються до більш концентрованого потоку етанолу. Рідкий трихлоретилен і вода утворюють двофазну рідинно-рідинну суміш, що дозволяє видалити більшу частину трихлоретилену за допомогою гравітаційного методу, який розділяє дві фази на основі різниці щільностей.

ПВ9 Переробка відходів

ПВ9.1 Використання барди для виробництва кормових дріжджів

Отримана барда на бражній колоні може використовуватись для виробництва кормових дріжджів через високий вміст пентоз.

ПВ9.2 Утилізація лютерної води

Лютерна вода повторно використовуватись у системі після попередньої очистки.

ПВ9.3 Утилізація сивушної фракції

Сивушні масла утворюються шляхом переробки сивушної фракції. Здійснюється попереднє зневоднення сивушних масел перегонкою з вуглеводневим розчинником, що створює з водою азеотропну суміш, з подальшим її розподіленням на товарні продукти,

ЗВ10 Знешкодження відходів

ЗВ10.1 Утилізація осаду

Осад піддають сушінню до досягнення вологості в 50 % і вивозять на полігон.

					<i>ЕКБ.БЕ7110.ДП</i>	Арк.
						39
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3.3 Контроль виробництва

В процесі виробництва біоетанолу відбувається постійний контроль на всіх стадіях процесу для визначення продуктивності виробництва та якості кінцевого продукту. План контролю наданий у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. - Точки та параметри контролю виробництва

№	Назва стадії, процесу, місце заміру параметра або відбору проби	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Методи контролю	Метод контролю параметра, тип приладу
1	2	3	4	5	6	7
1	ДР1	Мікробіологічна чистота поверхонь	Кожна операція	Класи: А: КУО<1 /м2 В: КУО<10 /м2	Км	Мікробіологічний метод
2	ДР1.1 Підготовка обладнання	Мікробіологічна чистота	Змиви тампонами 2 рази на тиждень під час операції	Класи: А: КУО<1 /м2 В: КУО<10 /м2	Км	Мікробіологічний метод
		Технічний контроль	Температура та тиск визначаються безперервно під час операції	Р=2 атм	Кт	Манометр технічний
3	ДР2 Приготування розчину солей	Концентрація	Кожна операція	5 г/дм3 (± 0,5г)	Кх	Дозатор, мірний посуд
4	ДР3 Підготовка пари	Мікробіологічна чистота	2 рази на тиждень під час операції. 1 раз на 2 тижні – контроль перед початком роботи	Кількість м/о в 1 м ³ повітря Класи: А: КУО<1 /м2 В: КУО<10 /м2	Км	Мікробіологічний метод (висів на чашки Петрі)
		Тиск		0,5 МПа	Кт	Збірний манометр
		Температура стерилізації		120 °С ± 0,5 °С)		Автоматично

Продовження таблиці 3.3.

5	ТП 5.2. Культиву- вання спиртових дріжджів	Температу- ра	Кожну операцію	30 °С	Кт	Термо- метр
		Час		24 год		Техніч- ний годинник
		рН		4,5-5		рН-метр
		Частота обертання мішалки		2 с ⁻¹		Тахометр
		Мікробіо- логічна чистота		Відсутність контамінації	Км	Мікробіо- логічний метод
6	ТП 5.3 Виробничий біосинтез	Температу- ра	Кожну операцію	30 °С	Кт	Термо- метр
		Час		20 год		Техніч- ний годинник
		рН		4,5-5		рН-метр
		Частота обертання мішалки		2 с ⁻¹		Тахометр
7	ТП7 Відокремле- ння спирту від бражки	Температу- ра	Кожну операцію	90-105 °С	Кт	Термо- метр
		Концентра- ція спирту в барді		Не більше 0,015%	Кх	Техніч- ний годинник
8	ТП8.1 Очищення в бражній колоні	Температу- ра	Кожну операцію	93-95 °С	Кт	Термо- метр
9	ТП8.2 Очищення в ректифікацій- ній колоні	Температу- ра	Кожну операцію	78-88 °С	Кт	Термо- метр
		Концентра- ція спирту		94-96 %	Кх	Аерометр
10	ТП8.3 Очищення в метанольній колоні	Температу- ра	Кожну операцію	65-68 °С	Кт	Термо- метр
		Час		2 год		Техніч- ний годинник

3.4 Матеріальний баланс

Таблиця 3.4 – Матеріальний баланс виробництва біоетанолу

Використано				Отримано			
Назва сировини, матеріалів, напів-продуктів	Кількість			Назва кінцевого продукту або напівпродукту, відходів та втрат	Кількість		
	кг	шт	м³		кг	шт	м³
1	2	3	4	5	6	7	8
ДР 5.1 Приготування основного ПС							
Сік цукрового буряка			52	Основне ПС			63
Формалін			0,2	Втрати			1,5
Розчин карбаміду			0,4				
Вода питна			11,8				
Всього				64,4 м³			
ТП5.2 Дріжджегенерування							
Ростове ПС			6,3	Дріжджова суспензія			6,72
Дріжджова суспензія			0,7	Вуглекислий газ			0,28
Всього				7 м³			
ТП6 Виробничий біосинтез							
Основне ПС			63	Бражка			64,7
Всього				69,72 м³			
ТП7 Відокремлення спирту від бражки							
Бражка			64,7	Барда			48,81
				Бражний дистилят			10,16
				Водно-спиртова пара			5,73
Всього				64,7 м³			
ТП8.1 Очищення спирту на бражній колоні							
Водно-спиртова пара			5,73	Епюрат			15,81
Бражний дистилят			10,16	Фракція головних домішок			0,08
Всього				15,89 м³			

РОЗДІЛ 4. ВИБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ

4.1. Опис та обґрунтування конструкції ферментера для зброджування цукрових буряків в біоетанол

Важливі фактори для проектування процесу на етапі бродіння та побічних процесів: перетворення сахарози в етанол, швидкість подачі дріжджів та час конверсії. Необхідно розрахувати максимальний об'єм одного ферментатора разом із необхідним обсягом для ферментації, щоб визначити розмір та кількість необхідних ферментерів.

Перемішування напряду впливає на процес ферментації, тому важливо обрати найбільш ефективний для використовуваного середовища перемішуючий пристрій. В залежності від типу перемішуючого пристрою ферментери поділяються на:

- ферментери з механічним перемішуючим пристроєм;
- ферментери з пневматичним перемішуючим пристроєм.

Ферментери з пневматичним перемішуючим пристроєм доцільно використовувати з середовищами, що не піняться. Також такі ферментери мають невеликі об'єми. Частіше використовується механічне перемішування, це пов'язано з підвищеною швидкістю масообміну кисню та економією потужності.

Сік цукрового буряка це в'язке середовище, а об'єм апарату становить 100 м³. Тому у даному дипломному проекті розраховується і проектується ферментер з механічним перемішуючим пристроєм. Конструкція ферментера з механічним перемішуючим пристроєм представлена на рисунку 4.1. [59]

					ЕКБ.БЕ7110.ДП					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Павліченко М.О.			ВИБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Козар М.Ю.							43	74
Реценз.								КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ. БЕ-71		
Н. Контр.										
Затверд.										

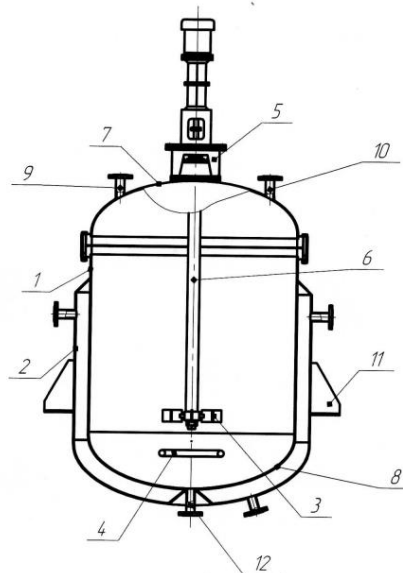


Рисунок 4.1 - Вертикальний ферментер з механічним перемішуючим пристроєм

1 – корпус; 2 – сорочка; 3 – мішалка; 4 – барботер; 5 – двигун з приводом; 6 – вал мішалки; 7 – кришка; 8 – днище; 9,10 – штуцери; 11 – опора; 12 – штуцер для зливу продукту.

Корпус апарату складається з вертикальної циліндричної обичайки 1, кришки 7, на якій встановлений привід мішалки 5, та днища 8. Апарати, в яких внутрішній тиск відрізняється від атмосферного мають еліптичні днища.

Штуцери 9 і 10 встановлюються для підведення і відведення речовин, подачі стисненого газу, встановлення контрольно-вимірювальних приладів. Для підведення і відведення теплоти корпус апарату оточують сорочкою 2 [60].

Характер руху середовища залежить від параметрів та властивостей середовища, типу та конструкції перемішуючого пристрою. Буряковий сік являє собою світлий сироп. Мішалки бувають в залежності від типу лопатевими, якірними, турбінними або пропелерними:

1. Лопатеві мішалки застосовуються для перемішування з метою суспензування та проведення хімічних реакцій. Вони прості в конструкції, мають низьку швидкість перемішування та низьку вартість.

2. Якірний тип мішалок використовується для запобігання випадіння осаду на стінках реактора та інтенсифікації теплообміну.
3. Турбінні мішалки використовуються для інтенсивних перемішувань. Також їх використовують при розчиненні твердих кристалічних часток.
4. Пропелерні мішалки використовуються при емульгуванні рідин. Пропелерні мішалки є ефективними в тих випадках, коли необхідно створити значну циркуляцію рідини при невеликих затратах енергії.

Таким чином, оскільки ПС має достатню в'язкість, а процес біосинтезу біоетанолу потребує інтенсивного перемішування, доцільно використовувати турбінну мішалку.

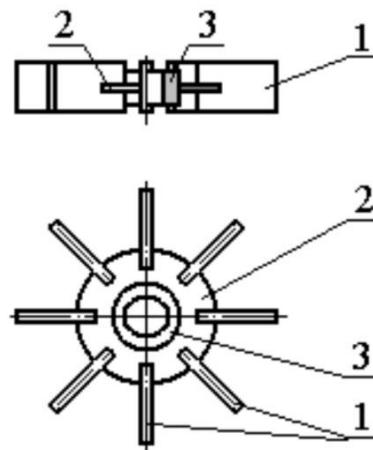


Рис. 4.2. Схема турбінної мішалки [59]:

1 - лопаті 2 - диск; 3 - втулка;

Мішалка складається з одного або декількох відцентрових коліс (турбін), укріплених на вертикальному валу.

Під час процесу бродіння відбувається виділення тепла, тому необхідна наявність сорочки для відведення тепла. Для виробництва біоетанолу було обрано ферментер об'ємом 100 м³, тому для більш ефективного тепловідведення доцільна наявність як секційною сорочки, так і змійовика. Також на кришці апарату передбачено декілька штуцерів: для завантаження поживного середовища, посівного матеріалу, технічний люк. Для введення миючих засобів та пари для

стерилізації в наявності технологічний штуцер. Штуцер для зливу бражки розташований на днищі корпусу.

4.2 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

Дані для розрахунку:

Обсяг виробництва – 8700 т/рік

Кількість робочих днів в році – 365 днів

Вихід біоетанолу з 1 м³ культуральної рідини – 0,08 кг/м³

Обсяг виробництва біоетанолу за добу:

$$Q_1 = Q / \tau \quad (4.2.1)$$

де Q – обсяг виробництва біоетанолу за рік; τ - кількість робочих днів на рік.

$$Q_1 = 8700 / 365 = 23,84 \text{ т/добу}$$

Кількість культуральної рідини за добу (Q_2), що необхідна для забезпечення річного обсягу виробництва:

$$Q_2 = Q_1 / q = \frac{23,84}{0,08} = 297,98 \text{ м}^3 \quad (4.2.2)$$

де Q_1 – обсяг виробництва за добу; q – вихід біоетанолу з 1 м³ культуральної рідини. Для розрахованої кількості культуральної рідини за добу вибираємо ферментер, об'єм якого при коефіцієнті заповнення 0,7 близький до об'єму Q_2 . Обираємо ферментер об'ємом 100 м³, попередньо визначивши приблизну кількість – 6 шт.

Кількість культуральної рідини з однієї ферментації з врахуванням втрат під час ферментації (10%) становитиме:

$$Q_3 = V \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 63 \text{ м}^3 \quad (4.2.3)$$

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Q_3 – кількість культуральної рідини з однієї ферментації; V – геометричний об'єм ферментера, 100 м^3 ; $0,7$ – коефіцієнт заповнення ферментера; $0,9$ – коефіцієнт, що враховує вихід культуральної рідини з урахуванням 10% втрат.

Кількість ферментацій за добу (n):

$$n = Q_2 / Q_3 = \frac{297,98}{63} = 5 \quad (4.2.4)$$

Кількість культуральної рідини в рік (Q_4)

$$Q_4 = Q / q = \frac{8701}{0,08} = 108762,5 \text{ м}^3 \quad (4.2.5)$$

де Q – обсяг виробництва біоетанолу, $\text{м}^3/\text{рік}$;

q – вихід біоетанолу з 1 м^3 культуральної рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Розрахунок необхідної кількості соку цукрового буряка.

Культуральна рідина містить посівний матеріал (10%), поживні речовини (близько 1%) та сік цукрового буряка (решта – близько 89%).

Кількість посівного матеріалу, $\text{м}^3/\text{рік}$:

$$Q_{\text{ПМ}} = Q_4 \times 0,1 = 108762,5 \times 0,1 = 10876,25 \text{ м}^3/\text{рік} \quad (4.2.6)$$

Кількість поживних речовин:

$$Q_{\text{ПР}} = Q_4 \times 0,01 = 108762,5 \times 0,01 = 1087,625 \text{ м}^3/\text{рік} \quad (4.2.7)$$

Кількість бурякового соку:

$$\begin{aligned} Q_{\text{БС}} &= Q_4 - Q_{\text{ПМ}} - Q_{\text{ПР}} = 108762,5 - 10876,25 - 1087,625 = \\ &= 96798,6 \text{ м}^3/\text{рік} \end{aligned} \quad (4.2.8)$$

Кількість соку на добу:

$$Q_{\text{С/добу}} = \frac{Q_{\text{БС}}}{365} = \frac{96798,6}{365} = 265,2 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (4.2.9)$$

Тривалість циклу (обороту) одного ферментера (τ). Повний цикл роботи одного ферментера складається з блоків стандартних робіт підготовчого характеру та основного виробництва:

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- тривалість виробничої ферментації 20 годин;
- перевірка ферментера на герметичність 1,5 години;
- стерилізація ферментера 1 година;
- заповнення ферментера поживним середовищем 1,5 години;
- злив (вивантаження) культуральної рідини 1 година;
- миття/дезінфекція ферментера 1 година;
- засів посівним матеріалом 1 година.

Кількість робочих годин в рік (τ_2):

$$\tau_2 = \tau \cdot 24 = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год} \quad (4.2.10)$$

де τ - кількість робочих днів на рік.

Необхідна кількість ферментерів (N):

$$N = \frac{Q_4 \cdot \tau_1}{Q_3 \cdot \tau_2} = \frac{108762,5 \cdot 26}{63 \cdot 8760} \approx 5 \text{ шт} \quad (4.2.11)$$

де Q_4 – кількість культуральної рідини за рік, м³;

τ_1 – тривалість циклу (обороту) одного ферментера, годин;

τ_2 – кількість робочих годин на рік, годин;

Q_3 – кількість культуральної рідини з 1-й ферментації.

Отже, приймаємо 5 ферментерів, об'ємом 100 м³.

4.3 Технологічний розрахунок

При розрахунку ферментера для виробництва біоетанолу використовуємо наступні дані:

Об'єм апарату – 100 м³,

Коефіцієнт заповнення – $K_3 = 0,7$.

Температура в апараті підтримується на рівні $t_k = 30$.

Температура охолоджуючого агента (води):

- на вході – $t_1 = 20$,
- на виході – $t_2 = 26$.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок робочого об'єму ферментера:

$$V_p = V_H \cdot V_3 \quad (4.3.1)$$

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

Серед вертикальних апаратів з механічним перемішуючим пристроєм і верхнім розташуванням приводів було обрано апарат з еліптичним днищем і еліптичною кришкою, що знімається (тип 0). За ГОСТ 20680-86 обираємо наступні параметри згідно нашого об'єму ферментера:

$$D_{\text{вн}} = 3600 \text{ мм} = 3,6 \text{ м}$$

$$H = 10400 \text{ мм} = 10,4 \text{ м}$$

Висота еліптичної частини днища:

$$h_{\text{ел}} = 0,25 \cdot D_{\text{вн}} = 0,25 \cdot 3,6 = 0,9 \text{ м} \quad (4.3.2)$$

Внутрішня поверхня еліптичного днища: $F = 15,18 \text{ м}^2$

Товщина стінки еліптичного днища: $s = 30 \text{ мм} = 0,03 \text{ м}$

Об'єм еліптичного днища: $V = 7,09 \text{ м}^3$

Повна висота днища:

$$h_{\text{дн}} = h_{\text{ел}} + h_{\text{осн}} = 0,9 + 0,1 = 1 \text{ м} \quad (4.3.3)$$

Повний об'єм:

$$V = V_{\text{ц}} + 2V_{\text{дн}} \rightarrow V_{\text{ц}} = V - 2V_{\text{дн}} \quad (4.3.4)$$

$$V_{\text{ц}} = 100 - 2 \cdot 7097,1 = 85,806 \text{ м}^3$$

Висота циліндричної частини:

$$H_{\text{ц}} = V_{\text{ц}} / F = V_{\text{ц}} \cdot 4 / \pi \cdot D_{\text{дн}}^2 \quad (4.3.5)$$

$$H_{\text{ц}} = \frac{85,806}{3,14 \cdot 3,6^2} = 8,43 \text{ м}$$

Загальна висота апарату:

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{ц}} + 2h_{\text{дн}} = 8,43 + 2 = 10,43 \text{ м} \quad (4.3.6)$$

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Тепловий розрахунок

1. Внутрішній діаметр ферментера, $D=3,6$ м
2. Внутрішній діаметр сорочки ферментера, $D_1 = 3,8$ м
3. Товщина стінки ферментера, $S=0,03$ м
4. Діаметр мішалки, $d_m=0,9$ м
5. Тип перемішуючого пристрою – турбінна мішалка
6. Число обертів мішалки, $n = 1$ с⁻¹
7. Коефіцієнт заповнення, $K_3 = 0,7$
8. Об'єм апарату:
 - Номінальний – 100 м³;
 - Робочий – 70 м³
9. Температура середовища:
 - Культурального (в середині ферментера), $t_k = 30$ °С
 - На вході в рубашку, $t_1 = 20$ °С
 - На виході з рубашки, $t_2 = 26$ °С
10. Час культивування – 20 год
11. Вміст сахарози: 10% від об'єму поживного середовища.
12. Кількість посівного матеріалу: $V_{nm}=7$ м³
13. Кількість поживного середовища: $V_{nc} = 63$ м³
14. Густина середовища: $\rho_{nc}=1007,3$ кг/м³
15. Динамічна в'язкість середовища: $\mu_{nc}= 1,5 \cdot 10^{-3}$ Па·с
16. Теплоємність середовища, при $t=30$ °С, $c_1=4175$ Дж/(кг·К)
17. Коефіцієнт теплопровідності культури при $t=30$ °С, $\lambda_1=0,57$ Вт/(м·К)
18. Маса поживного середовища: $m=V_{nc} \cdot \rho_{nc}=63 \cdot 1007,3=63459,9$ кг
19. Маса компонентів ПС (сахарози): $m_c = 63459,9 \cdot 0,1=6345,99$ кг
20. Значення середньої температури води в сорочці, $t_{cp}=23,5$ °С
21. Густина води при середній температурі, $\rho_2=998$ кг/м³
22. Кінематична в'язкість води при середній температурі, $\nu_2=1,1 \cdot 10^{-6}$

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

23. Теплоємність води при середній температурі, $c_2=4190$ Дж/(кг·К)
24. Коефіцієнт динамічної в'язкості води при $T_{\text{сер}}, \mu_2=1,050 \cdot 10^{-3}$ Па·с
25. Теплопровідність води при $T_{\text{сер}}, \lambda_2=59,5 \cdot 10^{-2}$ Вт/м·К
26. Коефіцієнт теплопровідності стінки, $\lambda_{\text{ст}}=58,15$ Вт/м·К

Протягом всього часу культивування відбувається рівномірно, тоді кількість теплоти, що виділяється культурою:

$$Q_1 = \frac{m}{3600} \cdot \frac{q}{\tau_k}, \text{Вт} \quad (4.4.1)$$

В процесі спиртового бродіння з 1 г-моля сахарози виділяється 462,28 кДж
Маса 1 г-моль = 0,342 кг

Тепловиділення: $462,28/0,342=1351,7$ кДж/кг

$$Q_c = \frac{3934}{3600} \cdot \frac{1351,7 \cdot 1000}{20} = 119400 \text{ Вт}$$

Визначення кількості охолоджуючої води.

Для уникнення перегріву середовища тепло, що виділяється, відводять. Тепло відводять охолоджуючою водою, повітрям, а також через втрати в навколишнє середовище.

Тепловий баланс ферментера:

$$Q_1 = Q_{\text{вод}} + Q_{\text{пов}} + Q_{\text{вт}} \quad (4.4.2)$$

Q_1 – кількість теплоти, що виділяється біомасою; $Q_{\text{вод}}$ – кількість теплоти, що відводиться охолоджуючою водою; $Q_{\text{пов}}$ – тепло, що відводиться повітрям. $Q_{\text{вт}}$ – втрати тепла в навколишнє середовище.

Втрати тепла в навколишнє середовище приймаємо рівними 2% від Q_1 :

$$Q_{\text{вт}} = Q_1 \cdot 0,02 = 119400 \cdot 0,02 = 2388 \text{ Вт} \quad (4.4.3)$$

Тепло, що відводиться водою:

$$Q_{\text{вод}} = Q_1 - Q_{\text{вт}} = 119400 - 2388 = 117012 \text{ Вт} \quad (4.4.4)$$

Витрати води для відводу тепла:

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{\text{вод}} = \frac{Q_{\text{вод}}}{c(t_2 - t_1)} = \frac{117012}{4180(27 - 20)} = 4 \text{ кг/с} \quad (4.4.5)$$

Визначення площі поверхні охолодження ферментера:

$$F = \frac{Q_{\text{вод}}}{k\Delta t_{cp}} \quad (4.4.6)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі від середовища в ферментері до води в сорочці; Δt_{cp} – середня різниця температур теплоносіїв:

$$\Delta t_m = t_k - t_2 = 30 - 26 = 4^\circ\text{C} \quad (4.4.7)$$

$$\Delta t_6 = t_k - t_1 = 30 - 20 = 10^\circ\text{C} \quad (4.4.8)$$

$$\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} = \frac{10}{4} > 2, \text{ то } \Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{10 - 4}{\ln \frac{10}{4}} = 6,55 \quad (4.4.9)$$

Розрахуємо коефіцієнт тепловіддачі від рідини, що перемішується, до стінки. Для апаратів з рубашками при перемішуванні мішалкою коефіцієнт тепловіддачі від середовища, що перемішується, до стінки визначають з рівняння:

$$Nu_1 = 0,36 Re_1^{0,67} Pr_1^{0,33} \left(\frac{\mu_1}{\mu_c}\right)^{0,14} \quad (4.4.10)$$

де R – критерій Рейнольдса, що характеризує співвідношення сил інерції та молекулярного тертя в потоці; Pr – критерій Прандтля, що характеризує фізичні властивості потоку, μ_1 та μ_c – динамічна в'язкість середовища при середній температурі рідини та при температурі стінки.

Критерій Нуссельта, що характеризує інтенсивність тепловіддачі на межі потік – стінка:

$$Nu_1 = \frac{\alpha_1 \cdot D}{\lambda_1} \quad (4.4.11)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від рідини, що перемішується, до стінки.

$$Re_1 = \frac{\rho_1 n d_m^2}{\mu_1} = \frac{1007,3 \cdot 1 \cdot (0,9)^2}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 543942 \quad (4.4.12)$$

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Pr_1 = \frac{\mu_1 c_1}{\lambda_1} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4175}{0,57} = 10,98 \quad (4.4.13)$$

Тоді:

$$Nu_1 = 0,36 \cdot 543942^{0,67} \cdot 10,98^{0,33} \cdot 1^{0,14} = 5527,41 \quad (4.4.14)$$

$$\alpha_1 = \frac{5527,41 \cdot 0,57}{3,6} = 875,17 \frac{\text{Вт} \cdot \text{К}}{\text{м}^2} \quad (4.4.15)$$

Розрахуємо коефіцієнт тепловіддачі від стінки до охолоджуючої рідини:

$$\alpha_2 = 0,023 \frac{\lambda_2}{(D + 2s)} \left(\frac{D_1}{D_1 - (D + 2s)} \right)^{0,45} \left(\frac{w_B (D + 2s)}{v_2} \right)^{0,8} \left(\frac{\mu_2 c_2}{\lambda_2} \right)^{0,43} \quad (4.4.16)$$

$$\alpha_2 = 0,023 \frac{0,595}{(3,6 + 2 \cdot 0,03)} \left(\frac{3,8}{3,8 - (3,6 + 2 \cdot 0,03)} \right)^{0,45} \cdot \left(\frac{0,005(3,6 + 2 \times 0,03)}{1,1 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,8} \left(\frac{1,050 \times 10^{-3} \cdot 4190}{0,595} \right)^{0,43} = 93,07 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт теплопередачі від середовища в ферментері до охолоджуючої рідини:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{875,17} + \frac{0,03}{58,15} + \frac{1}{93,07}} = 80,63 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}) \quad (4.4.17)$$

$$q = K \Delta t_c = 80,63 \cdot 6,55 = 528,13 \text{ Вт}/\text{м}^2 \quad (4.4.18)$$

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{117012}{528,13} = 221,56 \text{ м}^2 \quad (4.4.19)$$

4.5 Розрахунок перемішуючого пристрою

Розрахунок турбінної мішалки (з врахуванням $D = 3,6 \text{ м}$):

$$d_M = D : 4 = 0,9 \text{ м} \quad (4.5.1)$$

Серед стандартних мішалок наявна мішалка діаметром 900 мм. Дотримуючись основних параметрів мішалки:

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- $D: d_M = 3: 4$

- $h_M/d_M = 0,2$

- $h: d_M = 0,4: 1$

- $1/d_M = 0,1$

Геометричні розміри мішалки:

- Висота: $h_M = d_M \times 0,2 = 0,18 \text{ м}$

- Висота прикріплення: $h = d_M \times 0,6 = 0,54 \text{ м}$

- Ширина лопасті: $l = d_M \times 0,25 = 0,225 \text{ м}$

Частота обертання: $n = w/\pi d_M \approx 1\text{с}^{-1}$; $d_B = d_M \times C = 0,1053 \text{ м}$

Потужність, що витрачається на подолання тертя в торцевих ущільненнях:

$$N_{\text{ущ}} = 6020 \times d^{1,3} = 6020 \times 0,1053^{1,3} = 322,6 \text{ Вт} \quad (4.5.2)$$

В залежності від $Re_{\text{перем}}$ отримуємо K_N – критерій потужності, для турбінної мішалки: $K_N=6$

Потужність, що витрачається на перемішування:

$$N = K_N \times \rho \times n^3 \times d_m^5 = 100126 \text{ Вт} \quad (4.5.3)$$

Потужність електродвигуна:

$$N = \frac{1 \cdot 1,05 \cdot 100126 \cdot 322,6}{9} = 117172,9 \text{ Вт} \quad (4.5.4)$$

Обираємо стандартний двигун потужністю 120 кВт.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.6 Технічна характеристика ферментера

Отже, необхідно ферментер для виробництва біоетанолу, що задовольняє такі критерії:

1. Номінальний об'єм – 100 м^3
2. Коефіцієнт заповнення – 0,7
3. Робочий об'єм – 70 м^3
4. Площа поверхні теплообміну – 250 м^2
5. Температура середовища:
 - культурального (в ферментері) – 30°C
 - в рубашці (середня температура охолоджуючого агента) – 23°C
6. Тип перемішуючого пристрою – турбінна мішалка
7. Частота обертання мішалки – 1 с^{-1}
8. Потужність електродвигуна – 120 кВт
9. Тип електродвигуна – АИР100S2
10. Розміри:
 - внутрішній діаметр корпусу – 3,6 м
 - ширина – 4,5 м
 - висота – 10,43 м
11. Маса – 79300 кг

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Техніка безпеки та охорона праці

Загальні вимоги безпеки до виробничих процесів, а також гігієнічні вимоги до виробничого обладнання здійснюються згідно з вимогами ДСТУ 7748:2015. Технологічні процеси треба розробляти на основі вихідних даних щодо технологічного проектування відповідно до вимог ДСТУ 3273-95 "Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги".

Для забезпечення безпеки працівників та уникнення пошкодження апаратури необхідно проводити профілактичні заходи, щоб уникнути виникнення небезпечних ситуацій. Працівники що відповідальні за етапи підвищеної небезпеки повинні проходити попереднє спеціальне навчання та регулярну перевірку знань, як мінімум раз на рік [65].

Необхідно забезпечити безпеку робітників від виникнення таких небезпечних і шкідливих виробничих чинників:

- відхилення від оптимальних норм температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні;
- токсичність сировини та продуктів, що утворюються;
- забрудненість повітря;
- виникнення пожеж і вибухів;
- рівень шуму та вібрації на робочому місці;
- недоліки освітлення;
- електробезпека апаратури і обладнання.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Павліченко М.О.			ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА		Літ.	Арк.	Акрυшіў
Перевір.		Козар М.Ю.						56	74
Реценз.							КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ.		
Н. Контр.							БЕ-71		
Затверд.									

Пожежну небезпеку промислового виробництва біостанолу можуть спричинити такі показники:

- фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості вихідних реагентів і продуктів реакції;
- властивості реакційного середовища і застосовуваних каталізаторів;
- параметри процесу, що відбувається в реакторі (тиск, температура, об'ємна або масова швидкість);
- тип і конструктивні особливості реактора.

При нормальному веденні технологічного процесу горюче середовище в реакторі не утворюється, так як в вихідних реагентах та продуктах реакції відсутній окиснювач. Горюче середовище може утворюватися в періоди завантаження або вивантаження, при заміні відпрацьованого каталізатора.

Шляхи поширення пожежі: за нормального ходу технологічного процесу вихід парів і рідин з реакторів виключений, тому що вони закриті герметично. Вихід горючих речовин в виробниче приміщення або на відкритий майданчик можливий тільки в разі пошкоджень або виникнення аварій. Пошкодження (аварії) реакторів можуть статися при порушенні матеріального балансу в реакторі, збільшенні швидкості хімічної реакції (призводить до значного підвищення тиску і температури в реакторі) і зниженні механічної міцності стінок реактора [66].

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони і параметри мікроклімату не повинні перевищувати норм, встановлених «Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища».

Допустимі значення рівнів шуму та вібрації, що створюються механізмами на робочих місцях, повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Освітлення на робочих місцях повинно відповідати нормам освітленості робочих місць згідно з ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Заходи для попередження небезпечних ситуацій під час підготовки та виконання заміни вузлів апаратури, реорганізації будівництва, новому будівництві

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та його технічному переобладнанні обґрунтовані та встановлені у ДСТУ Б А.3.2-13:2011 «Система стандартів безпеки праці. Будівництво», ДСТУ Б В.2.2-29: 2011 «Будівлі підприємств. Параметри».

5.2. Охорона навколишнього середовища

Для зменшення шкідливого впливу використовують різні методики на кожному етапі виробництва: використання обладнання для контролю забруднення, розробка процесів з метою мінімізації викидів та заборону збуту речовини або обмеження її використання.

Дані заходи передбачають забезпечення охорони навколишнього середовища:

- технічні засоби для захисту, збереження ресурсів;
- мінімізація використання чистих водойм;
- раціональне використання природних ресурсів;
- позначення та передбачення санітарно-захисних норм.

Основним засобом захисту навколишнього середовища при виробництві біоетанолу є виконання всіх вимог, норм і правил, що діють при виробництві етилового спирту з рослинної сировини, включаючи вимоги щодо викидів в атмосферу, очищення стічних вод, утилізації побічних продуктів і відходів виробництва. З метою охорони атмосферного повітря від забруднення викидами шкідливих речовин повинен бути організований постійний контроль за вмістом гранично допустимих викидів [67].

Встановлення допустимих викидів шкідливих речовин проводять відповідно за ДСТУ 4219:2004 «Якість повітря». Необхідно проводити контроль вмісту гранично допустимих викидів та узгодити його графік з місцевими органами охорони навколишнього середовища. Гранично допустима концентрація біоетанолу в атмосферному повітрі становить 5 мг/м³. Якщо неможливо уникнути

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

небезпечних викидів, то доцільно створювати більш ефективні очисні споруди та впроваджувати нові методи очистки за необхідності.

При виробництві біоетанолу утворюються такі забруднюючі речовини: формальдегід, пари етилового спирту, фреон, аміак, органічний пил, вуглекислий газ, леткі кислоти, абразивний і металевий пил з обладнання. При концентруванні спирту в ректифікаційній колоні утворюється лютерна вода, яку можна використовувати для промивання і обробки сивушного масла. Основна частина лютерної води не використовується і відводиться зі стічними водами. При промиванні концентрату спирту в ректифікаційній колоні отримують сивушне масло. Його використовують для отримання технічного етилового, н-пропілового, ізобутилового та ізоамілового спиртів [68].

Окрім вищеперелічених викидів також утворюються і ті, що неможливо проконтролювати. Вони є результатом пошкоджень апаратури. Стічні води утворюються у процесі виробництва спирту, дріжджів, в результаті миття, нагрівання чи охолодження апаратів. Ці води піддаються механічній та біологічній очистці, а потім повторно використовуються у виробництві. Спуск промислових стічних вод в каналізаційну мережу може проводитися тільки у відповідності до «Санітарних норм проектування» СНіП.

					<i>ЕКБ.БЕ7110.ДП</i>	Арк.
						59
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

Наведено основні характеристики сировини та біологічного агенту. Сировиною обрано цукровий буряк, оскільки рослина активно вирощується в Україні та при ферментації потребує менше додаткових процесів, ніж целюлозо- та крохмалевмісна сировина.

Біологічним агентом обрано дріжджі *S. cerevisiae*. Оскільки вони стійкі до високих концентрацій етанолу і низьких значень рН. Обраний рід бактерій забезпечує стабільні показники накопичення біомаси в процесі дріжджегенерації.

Розроблено та описано апаратурну та технологічну схеми, наведено креслення. Складено матеріальний баланс виробництва.

Проведено усі необхідні технологічні розрахунки основного обладнання. Запроектовано ферментер на 100 м³ з турбінною мішалкою та коефіцієнтом заповнення 0,7.

Наведено перелік заходів щодо охорони праці та охорони довкілля при виробництві біоетанолу.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Павліченко М.О.			ВИСНОВКИ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Козар М.Ю.								60	74
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ. БЕ-71			
Н. Контр.											
Затверд.											

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Prasad S, Singh A, Joshi HC. Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. *Energy & Fuels*. 2007;21(4):2415–2420.
2. Naik SN, Goud VV, Rout PK, Dalai AK. Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010;14(2):578–597.
3. Balat M. Global bio-fuel processing and production trends. *Energy, Exploration & Exploitation*. 2007;25(3):195–218.
4. Balat M, Balat H. Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. *Applied Energy*. 2009;86(11):2273–2282.
5. Dias de Oliveira ME, Vaughan BE, Rykiel EJ., Jr. Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. *BioScience*. 2005;55(7):593–602.
6. Demirbas A. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*. 2008;49(8):2106–2116.
7. Malça J, Freire F. Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether (bioETBE): assessing the implications of allocation. *Energy*. 2006;31(15):3362–3380.
8. Searchinger T, Heimlich R, Houghton RA, et al. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*. 2008;319(5867):1238–1240.
9. Lynd LR, Cushman JH, Nichols RJ, Wyman CE. Fuel ethanol from cellulosic biomass. *Science*. 1991;251(4999):1318–1323.
10. Maiorella BL, Blanch HW, Wilke CR. Economic evaluation of alternative ethanol fermentation processes. *Biotechnology and Bioengineering*. 1984;26(9):1003–1025.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Павліченко М.О.			СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Козар М.Ю.						61	74
Реценз.							КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ.		
Н. Контр.							БЕ-71		
Затверд.									

11. Cardona CA, Sánchez ÓJ. Fuel ethanol production: process design trends and integration opportunities. *Bioresource Technology*. 2007;98(12):2415–2457.
12. Ensinas AV, Modesto M, Nebra SA, Serra L. Reduction of irreversibility generation in sugar and ethanol production from sugarcane. *Energy*. 2009;34(5):680–688.
13. Dhaliwal SS, Oberoi HS, Sandhu SK, Nanda D, Kumar D, Uppal SK. Enhanced ethanol production from sugarcane juice by galactose adaptation of a newly isolated thermotolerant strain of *Pichia kudriavzevii*. *Bioresource Technology*. 2011;102(10):5968–5975.
14. Sánchez ÓJ, Cardona CA. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*. 2008;99(13):5270–5295.
15. Lipnizki F, Carter M, Trägårdh G. Applications of membrane processes in the beet and cane sugar production. *Zuckerindustrie*. 2006;131(1):29–38.
16. Hakimzadeh V, Razavi SMA, Piroozifard MK, Shahidi M. The potential of microfiltration and ultrafiltration process in purification of raw sugar beet juice. *Desalination*. 2006;200(1):520–522.
17. Victor Pryshliak. Resource potential of Ukraine for the production of biofuels / Victor Pryshliak, Veronika Vsemirnova, Natalia Pryshliak // Book of abstracts – Second International Conference Sustainable postharvest and food technologies – INOPTER 2011, V Plana, Serbia, – P. 107.
18. Ingram L, Gomez P, Lai X, et al. Metabolic engineering of bacteria for ethanol production. *Biotechnology and Bioengineering*. 1998;58(2-3):204–214.
19. Kosaric N, Velikonja J. Liquid and gaseous fuels from biotechnology: challenge and opportunities. *FEMS Microbiology Reviews*. 1995;16(2-3):111–142.
20. Dien BS, Cotta MA, Jeffries TW. Bacteria engineered for fuel ethanol production: current status. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2003;63(3):258–266.

21. de Mancilha IM, Pearson AM, Waller J, Hogaboam GJ. Increasing alcohol yield by selected yeast fermentation of sweet sorghum. I. Evaluation of yeast strains for ethanol production. *Biotechnology and Bioengineering*. 1984;26(6):632–634.
22. Olsson L, Hahn-Hägerdal B. Fermentative performance of bacteria and yeasts in lignocellulose hydrolysates. *Process Biochemistry*. 1993;28(4):249–257.
23. Lee W-C, Huang C-T. Modeling of ethanol fermentation using *Zymomonas mobilis* ATCC 10988 grown on the media containing glucose and fructose. *Biochemical Engineering Journal*. 2000;4(3):217–227.
24. Conway T. The Entner-Doudoroff pathway: history, physiology and molecular biology. *FEMS Microbiology Reviews*. 1992;103(1):1–27.
25. Linoj KNV, Dhavala P, Goswami A, Maithel S. Liquid biofuels in South Asia: Resources and technologies. *Asian Biotechnol Dev Rev*. 2006;8(2):31–49.
26. Pavlečić M, Vrana I, Vibovec K, Ivančić Šantek M, Horvat P, Šantek B. Ethanol production from different intermediates of sugar beet processing. *Food Technol Biotechnol*. 2010;48(3):362–7.
27. Lin Y., Zhang W., Li C. Factors affecting ethanol fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* BY4742. *Biomass- Bioenergy*. 2012;47:395–401.
28. Basso L.C., Amorim H.V., Oliveira A.J., Lopes M.L. Yeast selection for fuel ethanol production in Brazil. *FEMS Yeast Res*. 2008;8:1155–1163.
29. Domingues L., Lima N., Teixeira J.A. Contamination of a high-cell-density continuous bioreactor. *Biotechnol. Bioeng*. 2000;68:584–587.
30. Choi G.W., Um H.J., Kang H.W. Bioethanol production by a flocculent hybrid, CHFY0321 obtained by protoplast fusion between *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces bayanus*. *Biomass- Bioenergy*. 2010;34:1232–1242.
31. Tofighi A., Assadi M.M., Asadirad M.H.A., Karizi S.Z. Bio-ethanol production by a novel autochthonous thermo-tolerant yeast isolated from wastewater. *J. Environ. Health Sci. Eng*. 2014;12:107.
32. Alexandre H., Charpentier C. Biochemical aspects of stuck and sluggish fermentation in grape must. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol*. 1998;20:20–27.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

33. Fiedurek J., Skowronek M., Gromada A. Selection and adaptation of *Saccharomyces cerevisiae* to increased ethanol tolerance and production. *Pol. J. Microbiol.* 2011;60:51–58.
34. Wyman CE. *Encyclopedia of Energy*. New York, NY, USA: Elsevier; 2004. Ethanol fuels; pp. 541–555.
35. Gnansounou E, Dauriat A. Ethanol fuel from biomass: a review. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 2005;64(11):809–821.
36. Bvochora JM, Read JS, Zvaunya R. Application of very high gravity technology to the cofermentation of sweet stem sorghum juice and sorghum grain. *Industrial Crops and Products*. 2000;11(1):11–17.
37. Laopaiboon L, Thanonkeo P, Jaisil P. Ethanol production from sweet sorghum juice in batch and fed-batch fermentations by *Saccharomyces cerevisiae*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2007;23(10):1497–1501.
38. Saarela U, Leiviskä K, Juuso E. *Report A 21*. Oulu, Finland: Control Engineering Laboratory, Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu; 2003.
39. Frison A, Memmert K, Pharma AN. Fed-batch process development for monoclonal antibody production with cellferm-pro. *Genetic Engineering & Biotechnology News*. 2002;22:66–67.
40. Stanbury PF, Whitaker A, Hall SJ. *Principles of Fermentation Technology*. 2nd edition. Oxford, UK: Pergamon Press; 1995.
41. Brethauer S, Wyman CE. Review: continuous hydrolysis and fermentation for cellulosic ethanol production. *Bioresource Technology*. 2010;101(13):4862–4874.
42. Strehaiano P, Ramon-Portugal F, Taillandier P. *Yeasts in Food and Beverages*. Springer; 2006. Yeasts as biocatalysts; pp. 243–283.
43. Öztop HN, Öztop AY, Karadağ E, Işıkver Y, Saraydin D. Immobilization of *Saccharomyces cerevisiae* on to acrylamide-sodium acrylate hydrogels for production of ethyl alcohol. *Enzyme and Microbial Technology*. 2003;32(1):114–119.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

44. Bayrock DP, Michael Ingledew W. Application of multistage continuous fermentation for production of alcohol by very-high-gravity fermentation technology. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 2001;27(2):87–93.
45. Thomas KC, Hynes SH, Ingledew WM. Practical and theoretical considerations in the production of high concentrations of alcohol by fermentation. *Process Biochemistry*. 1996;31(4):321–331.
46. McMeekin TA, Olley J, Ratkowsky DA, Ross T. Predictive microbiology: towards the interface and beyond. *International Journal of Food Microbiology*. 2002;73(2-3):395–407.
47. Phisalaphong M, Srirattana N, Tanthapanichakoon W. Mathematical modeling to investigate temperature effect on kinetic parameters of ethanol fermentation. *Biochemical Engineering Journal*. 2006;28(1):36–43.
48. Liu R, Shen F. Impacts of main factors on bioethanol fermentation from stalk juice of sweet sorghum by immobilized *Saccharomyces cerevisiae* (CICC 1308) *Bioresource Technology*. 2008;99(4):847–854.
49. Piršelová K, Šmogrovičová D, Baláž S. Fermentation of starch to ethanol by a co-culture of *Saccharomycopsis fibuligera* and *Saccharomyces cerevisiae* . *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 1993;9(3):338–341.
50. Zhang KC. *Alcohol and Distilling Wine Craft*. Beijing, China: China Light Industry Press; 1995.
51. Kasemets K, Nisamedtinov I, Laht T-M, Abner K, Paalme T. Growth characteristics of *Saccharomyces cerevisiae* S288C in changing environmental conditions: auxo-accelerostat study. *Antonie van Leeuwenhoek*. 2007;92(1):109–128.
52. Laopaiboon L, Thanonkeo P, Jaisil P, Laopaiboon P. Ethanol production from sweet sorghum juice in batch and fed-batch fermentations by *Saccharomyces cerevisiae* . *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2007;23(10):1497–1501.
53. Breisha GZ. Production of 16% ethanol from 35% sucrose. *Biomass and Bioenergy*. 2010;34(8):1243–1249.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

54. Huang HJ, Ramaswamy S, Tschirner UW, Ramarao BV. A review of separation technologies in current and future biorefineries. *Separ Purif Tech.* 2008;62(1):1–21.
55. Kucera D, Benesova P, Ladicky P, Pekar M, Sedlacek P, Obruca S. Production of polyhydroxyalkanoates using hydrolyzates of spruce sawdust: Comparison of hydrolyzates detoxification by application of overliming, active carbon, and lignite. *Bioengineering (Basel)*. 2017;4(2):53.
56. Ligerio EL, Ravagnani TMK. Dehydration of ethanol with salt extractive distillation - A comparative analysis between processes with salt recovery. *Chem Eng Process.* 2003;42(7):543–52.
57. Gomis V, Pedraza R, Francés O, Font A, Asensi JC. Dehydration of ethanol using azeotropic distillation with isooctane. *Ind Eng Chem Res.* 2007;46(13):4572–6.
58. Knapp, J. P., & Doherty, M. F. (1992). A New pressure-swing-distillation process for separating homogeneous azeotropic mixtures. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 31, 346.
59. Фараджева Е.Д. Общая технология бродильных производств / Е.Д. Фараджева. – М.: Колос, 2002. – 408 с.
60. Куц А.М. Технологія бродильних виробництв: Конспект лекцій з дисц. «Загальні технології харчової промисловості» для студ. ден. та заоч. форм навчання напряму підготовки 6.051701 «Харчові технології та інженерія» / А.М. Куц, В.М. Кошова. – К.: НУХТ, 2011. — 156 с.
61. Пинчук Л.Г. Биохимия: учебное пособие для студентов вузов / Л.Г. Пинчук. – Кемерово, КемТИПП, 2011. – 364 с.
62. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – СПб: Химия, 1987. – 576 с.
63. Лащинский А.А. Конструирование и расчет химической аппаратуры: Справочник / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – СПб: Машиностроение, 1970. – 752 с.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

64. Федосеев К. Г. Процессы и аппараты биотехнологии в химико-фармацевтической промышленности / К.Г. Федосеев. – М.: Медицина, 1989.
65. Ткачук К.Н. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене / К.Н.Ткачук, М.О. Халімовський, В.В.Зацарний, Д.В.Зеркалов / За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2006.
66. Макаров Г. В. Охрана труда в химической промышленности / Г.В. Макаров. - М.: Химия, 1989. – 233 с.
67. Жидецький В.Ц. Практикум з охорони праці / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, В.М. Сторожук, Л.В. Туряб. – Львів, 2000 – 350 с.
68. Рябов И.В. Пожарная опасность веществ и материалов, применяемых в химической промышленности: Справочник. – М.: Химия. – 1970. – 336 с.

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Специфікація обладнання

Позиція	Позначення, марка	Найменування, технічна характеристика обладнання	Кількість	Маса, кг	Примітка
Д-4		Об'ємно-ваговий дозатор для мінеральних кислот і солей	1		Збірний
Р-6	ВЕЕ	Реактор для приготування розчину мінеральних солей і кислот, місткість 63 м ³ , 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 ⁻¹ Транспортування розчину мінеральних речовин насосом.	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КП-6.1	АОН-1	Ареометр для визначення концентрації мінеральних речовин. Ціна поділки 1 кг/м ³ .	1		Збірний
Н-7		Насос для транспортування розчину мінеральних компонентів поживного середовища відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.	1		Збірний
Д-8		Об'ємно-ваговий дозатор для мінеральних компонентів поживного середовища	1		Збірний
Д-9		Об'ємно-ваговий дозатор для поживного середовища	1		Збірний

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

P-10	ВЕЕ	Реактор для приготування поживного середовища для вирощування чистої культури, місткість 63 м ³ , 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 1,33 с ⁻¹ . Транспортування розчину поживного середовища насосом.	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КП-10.1	ТСМ	Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.	1		Збірний
КП-10.2	ТСМ	Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.	1		Збірний
КП-10.3	pH-101П	Датчик pH з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання pH – 0 – 14. Похибка вимірювання pH ± 0,01.	1		Збірний
Н-11, Н-15		Насос для транспортування розчину поживного середовища відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.	2		Збірний
Д-12, Д-17		Об'ємно-ваговий дозатор для поживного середовища	2		Збірний
Д-13		Об'ємно-ваговий дозатор для чистої культури дріжджів	1		Збірний

					ЕКБ.БЕ 7110.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

P-14	ВЕЕ	Посівний ферментер об'ємом 1 м ³ 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 ⁻¹ .	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КП-14.1	ТСМ	Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.			Збірний
КП-14.2	ТСМ	Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.			Збірний
КП-14.3	pH-101П	Датчик pH з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання pH – 0 – 14. Похибка вимірювання pH ± 1.			Збірний
H-15		Насос для транспортування культуральної рідини відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.	1		Збірний
Д-16		Об'ємно-ваговий дозатор для культуральної рідини першої генерації.	1		Збірний
P-18	ВЕЕ	Посівний ферментер об'єм 10 м ³ з нижнім зливом. З еліптичними кришкою та днищем, з секційною сорочкою, коефіцієнт заповнення 0,7. Перемішування механічною турбінною мішалкою, потужність електродвигуна з редуктором 5 кВт, частота обертання вала мішалки 0,67 с ⁻¹ .	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т

					ЕКБ.БЕ7110.ДП	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

КП-18.1	ТСМ	Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ± 2 °С.	1		Збірний
КП-18.2	ТСМ	Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ± 2 °С.	1		Збірний
КП-18.3	pH-101П	Датчик рН з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання рН – 0 – 14. Похибка вимірювання рН ± 1 .	1		Збірний
КП-18.4	ОБМ1-100	Манометр. Межа вимірювання 0 – 1 МПа. Клас точності 2,5.	1		Збірний
Д-41		Об'ємно-ваговий дозатор для поживного середовища.	1		Збірний
Р-45	ВЕЕ	Посівний ферментер об'єм 63 м ³ 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 20 кВт, частота обертання вала мішалки 0,67 с ⁻¹ .	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КП-45.1	ТСМ	Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ± 2 °С.	1		Збірний
Н-43		Об'ємно-ваговий дозатор для культуральної рідини.	1		Збірний
Р-45, Р-47	ВЕЕ	Виробничий ферментер об'єм 100 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-45.1, КП-47.1	ТСМ	Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ± 2 °С.	4		Збірний
					Арх.
					71
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ 7110.ДП

КП-45.2, КП-47.2	pH-101П	Датчик pH з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання pH – 0 – 14. Похибка вимірювання pH ± 1 .	4		Збірний
КП-45.3, КП-47.3	ОБМ1-100	Манометр. Межа вимірювання 0 – 1 МПа. Клас точності 2,5.	4		Збірний
КП-45.4, КП-47.4	TСМ	Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ± 2 °С.	4		Збірний
КП-45,5 КП-47.5	LZS 1600	Ротаметр. Діапазон вимірювань 160 – 1600 л/год.	4		Збірний
Ц-49	ОГШ	Центрифуга безперервної дії з шнековим вивантаженням осаду. Продуктивність 35 м³/год. Швидкість центрифуги 6000 обертів за хвилину.	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Н-46		Насос для транспортування суспензії дріжджів на рециркуляцію відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.	1		Збірний
Зб-50		Збірник бражки. Місткість 63 м³.	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КП-50.1	pH-101П	Датчик pH з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання pH – 0 – 14. Похибка вимірювання pH ± 1 .	1		Збірний
РК-51		Бражна колона для ректифікації бражки обладнана решітчастими тарілками провального типу, обігрівається гострою парою, працює при атмосферному тиску.	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КП-51.1	ТСП	Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ± 2 °С.	1		Збірний
КП-51.2	MS-100	Манометр. Межа вимірювання 0 – 0,25 МПа. Клас точності 1.	1		Збірний
КП-51.3	АСП-1	Ареометр для визначення концентрації етилового спирту. Цінаподілki 0,1 %.	1		Збірний
					Арк.
ЕКБ.БЕ7110.ДП					72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

КП-51.4	LZS 1600	Ротаметр. Діапазон вимірювань 160 – 1600 л/год.	1		Збірний
Дф-52	TME	Дефлегматор двохсекційний кожухотрубний. Площа поверхні теплообміну 15 м².	1		Неірж. сталь 12X18H10T
КП-52.1	ТСП	Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.	1		Збірний
Х-54	TME	Холодильник кожухотрубний. Площа поверхні теплообміну 15 м².	1		Неірж. сталь 12X18H10T
КП-54.1	TSM	Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.	1		Збірний
Н-53		Насос для транспортування водно-спиртової суміші відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.	1		Збірний
РК-55		Ректифікаційна колона обладнана решітчастими тарілками провального типу, обігрівается гострою парою, працює при атмосферному тиску.	1		Неірж. сталь12X18 H10T
КП-55.1	ТСП	Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.	1		Збірний
КП-55.2	MS-100	Манометр. Межа вимірювання 0 – 0,25 МПа. Клас точності 1.	1		Збірний
КП-55.3	АСП-1	Ареометр для визначення концентрації етилового спирту. Цінаподілки 0,1 %.	1		Збірний
КП-55.4	LZS 1600	Ротаметр. Діапазон вимірювань 160 – 1600 л/год.	1		Збірний
Дф-56		Дефлегматор двохсекційний кожухотрубний. Площа поверхні теплообміну 15 м².	1		Неірж. сталь 12X18H10T
КП-56.1	ТСП	Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.	1		Збірний
					Арх.
					73
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ7110.ДП

Н-57		Насос для транспортування етилового спирту відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.	1		Збірний
РК-58		Метанольна колона, що обладнана решітчастими тарілками провального типу, обігрівается глухою парою, працює при атмосферному тиску.	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КП-58.1	ТСП	Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.	1		Збірний
КП-58.2	MS-100	Манометр. Межа вимірювання 0 – 0,25 МПа. Клас точності 1.	1		Збірний
КП-58.3	АСП-1	Ареометр для визначення концентрації етилового спирту.	1		Збірний
КП-58.4	LZS 1600	Ротаметр. Діапазон вимірювань 160 – 1600 л/год.	1		Збірний
КП-58.5	АСП-1	Ареометр для визначення концентрації метилового спирту. Ціна поділки 0,1 %.	1		Збірний
Дф-60		Дефлегматор двохсекційний кожухотрубний. Площа поверхні теплообміну 15 м².	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КП-60.1	ТСП	Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.	1		Збірний
Т-59	ТМЕ	Теплообмінник кожухотрубний. Площа поверхні теплообміну 15 м².	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КП-59.1	ТСП	Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.	1		Збірний
Н-61		Насос для транспортування етилового спирту відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.	1		Збірний
Зб-62		Збірник етилового спирту. Місткість 63 м³.	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
					Арк.
Змн. Арк. № докум. Підпис Дата ЕКБ.БЕ7110.ДП					74