

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"

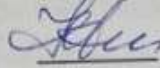
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

"На правах рукопису"

УДК 602.4:546.11

До захисту допущено

завідувач кафедри

 Наталія ГОЛУБ

(підпис)

(ініціали, прізвище)

"8" 01 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»
зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

на тему: «Біотехнологія отримання водню з сільськогосподарських
відходів»

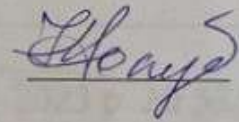
Виконав:

студент 2 курсу, групи ББ-21мп
Кінаш Микола Володимирович



Науковий керівник:

Завідувач кафедри, д. т. н., доцент
Голуб Наталія Борисівна



Консультант з автоматизації:

к.т.н., доцент Шибецький Владислав Юрійович

Консультант з розділу: економічна частина

Доц. каф. Економіки і підприємництва, к.е.н., доц.

Погребняк Анна Юріївна

Консультант з розділу: проектування

Проф. каф. біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології,

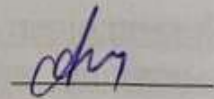
д.т.н., проф. Саблій Лариса Андріївна

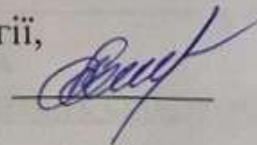
Рецензент:

Доцент, д.б.н, с.н.с.

Солдаткін Олександр Олексійович









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

Київ – 2024

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

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біоінформатики, біоенергетики та екобіотехнології

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 162 – Біотехнології та біоінженерія

Освітньо-професійна програма Біотехнології

Директор
ТОВ «ІНЦЕНТИВ»



Тетяна БЛИК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

Наталія ГОЛУБ

« » 2023 р.

«31» 08 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Кінашу Миколі Володимировичу

1. Тема дисертації Біотехнологія отримання біоводню з сільськогосподарських відходів

науковий керівник дисертації Голуб Наталія Борисівна
завідувач кафедри, д. т. н., доцент

затверджені наказом по університету від «28» грудня 2023 р. № 5811-с

2. Термін подання студентом дисертації «10» січня 2024 р.

3. Об'єкт дослідження Біоводень

4. Вихідні дані: розрахунковий вихід біоводню 100 м³/добу, періодичний одностадійний процес. Характеристика субстрату: подрібнена пшенична солома з додаванням частки гною великої рогатої худоби

5. Перелік завдань, які потрібно розробити основна частина

- описати наявні технології отримання біоводню з різноманітних субстратів та типових продуцентів;

- обґрунтувати вибір продуценту, технології та обладнання для її реалізації;

- обрати технологічну та апаратурну схеми;

- скласти матеріальний баланс виробництва;

- навести методи і точки контролю виробництва;

економічна частина

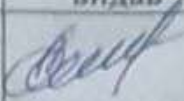
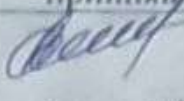


розробити стартап проект... ..

розробити схему автоматизації процесу

навести основні положення з охорони праці та навколишнього середовища

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
плакати формату А1; технологічна схема, апаратурна схема, загальний вид апарату, схема автоматизації, техніко-економічні показники підприємства.

7. Консультанти розділів дисертації

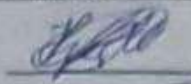
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Апаратурна та технологічна схема виробництва	д.т.н., професор Саблій Лариса Андріївна	 31.08 23р.	 2.01 24р.
Автоматизація	к.т.н., доц. Шибецький В. Ю.		
Стартап	к.е.н., доц. Погребняк А. Ю.		

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

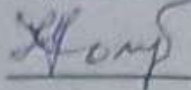
№ з/п	Назва етапів виконання дисертації	Термін виконання етапів	Примітка
1	Огляд літератури щодо методів та технологій отримання біоводню та обґрунтування обраних	01.09.2022 - 25.09.2022	
2	Опис та обґрунтування вибору продуцентів водню	26.09.2022 – 01.10.2022	
3	Опис технологічної частини диплому	05.10.2022 – 20.10.2022	
4	Розрахунки обладнання та сировини	21.10.2022 - 28.10.2022	
5	Розрахунок матеріального балансу виробництва	29.10.2022 - 10.11.2022	
6	Опис контрольних точок виробництва	10.11.2022 - 17.11.2022	
7	Апаратурна та технологічна схеми	18.11.2022 – 24.11.2022	
8	Автоматизація	28.11.2022	
9	Стартап-проект	04.12.2022	
10	Охорона праці	08.12.2022	
11	Перевірка на плагіат готової дисертації	10.01.2024	

Студент



Микола КІНАШ

Науковий керівник



Наталія ГОЛУБ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 114 сторінок, 8 рисунків, 29 таблиць, 96 посилань.

Під час виконання магістерської дисертації було обґрунтовано технологію отримання біоводню з сільськогосподарських відходів за допомогою асоціації мікроорганізмів анаеробного активного мулу. Надано характеристику використаної сировини, типових представників продуцентів водню родів *Clostridium* та *Bacillus*.

Було спроектовано апаратурну та технологічну схеми отримання біоводню з целюлозовмісної сировини. Також проведено розрахунки виходу біоводню, необхідної кількості сировини, геометричних параметрів метантенку, вихід шламу. Розроблено автоматизацію процесів контролю ферментації у метантенку, надано схему та опис.

Розроблено стартап-проект, визначено економічні параметри продукту, основні та оборотні засоби, необхідний капітал, потенційних споживачів кінцевої продукції. Також був проведений аналіз ймовірних ризиків при виведенні продукту на ринок.

Наведено вимоги щодо охорони праці на виробництві та настанови щодо збереження навколишнього середовища. Надано основні пункти техніки безпеки на виробництві біоводню.

Ключові слова: біоводень, водень, метантенк, целюлоза, сільськогосподарські відходи, пшениця, гній ВРХ, анаеробний мул.

ABSTRACT

Explanatory note: 114 pages, 8 figures, 29 tables, 96 references.

In the course of the master's thesis, the technology for producing biohydrogen from agricultural waste using the association of microorganisms of anaerobic activated sludge was substantiated. The raw materials used, typical representatives of hydrogen producers of the genera *Clostridium* and *Bacillus* were characterized.

The hardware and technological schemes for the production of biohydrogen from cellulose-containing raw materials were designed. We also calculated the yield of biohydrogen, the required amount of raw materials, the geometric parameters of the digester, and the sludge yield. Automation of fermentation control processes in the digester was developed, a diagram and description were provided.

A startup project was developed, the economic parameters of the product, fixed and current assets, required capital, and potential consumers of the final product were determined. The author also analyzed the possible risks of bringing the product to the market.

The requirements for labor protection at work and guidelines for environmental protection are presented. The main safety points in the production of biohydrogen are provided.

Keywords: biohydrogen, hydrogen, digester, cellulose, agricultural waste, wheat, cattle manure, anaerobic sludge.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1	6
МЕТОДИ ОТРИМАННЯ БІОВОДНЮ	6
1.1. Біофотоліз.....	6
1.2. Фотоферментація	7
1.3. Біоелектроліз	8
1.4. Анаеробна ферментація	10
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТУ	22
РОЗДІЛ 3. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА	29
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	33
4.1. Характеристика субстрату.....	33
4.2. Опис технологічного процесу	34
4.3. Матеріальний баланс виробництва.....	37
4.4. Контроль виробництва	40
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ	43
РОЗДІЛ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ СТАДІЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ	
ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ	48
6.2 Опис розробленої схеми автоматизації відділення	49
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ	53

					МД ББ21.10.000 ПЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Акроншів
<i>Розроб.</i>		<i>Кінаш М.В.</i>					7	114
<i>Перевір.</i>								
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
Затверд.		<i>Голуб Н.Б.</i>				"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		

РОЗДІЛ 8. СТАРТАП ПРОЄКТ	60
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92
ДОДАТОК А.....	105

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

Fd(re) - феродоксин відновлений.

Fd(ox) - феродоксин окиснений.

АТФ - аденозинтрифосфорна кислота.

НАДН – нікотинамідаденіндинуклеотид.

МПЕ – мікробний паливний елемент.

ГЧУ – гідравлічний час утримання

ВРХ – велика рогата худоба.

					МД ББ21.10.000 ПЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		Літ.	Арк.	Акровіє
Розроб.		Кінаш М.В.					9	114
Перевір.					ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Голуб Н.Б.						

ВСТУП

Збільшення потреб у енергії промислово розвиненого світу та нездатність енергетичної промисловості задовільнити її призвело до різкого зростання використання викопного палива. Як наслідок, це спричинило значне навантаження на наявні ресурси, що вичерпуються, та зростання рівня забруднення по всьому світу. Спалювання викопного палива додає в атмосферу близько 6 гігатон вуглецю у вигляді CO₂. За останні декілька десятиліть людство призвело до вивільнення органічного вуглецю, еквівалентного тому, що накопичувався мільйони років. [1].

Обмежена доступність глобальних запасів нафти та занепокоєння щодо зміни клімату, через надмірні викиди парникових газів, викликали інтерес до розробки альтернативних джерел чистої та відновлюваної енергії. Тому диверсифікація енергетичних ресурсів є важливою вимогою у сучасному суспільстві.

Водень є важливим та перспективним енергоносієм, який може відігравати значну роль у скороченні викидів парникових газів. При згорянні водню утворюється вода, і тому даний вид палива вважається чистим і нейтральним енергоносієм. Газовий водень є привабливим джерелом енергії майбутнього завдяки його потенційно вищій ефективності перетворення в корисну енергію або відсутнім утворенням забруднюючих речовин і високій щільності енергії. Саме тому його можна вважати перспективним, чистим та відновлюваним джерелом альтернативної енергії у час виснаження викопного палива та забруднення навколишнього середовища [2].

Наразі водень переважно використовується в нафтопереробці, виробництві харчових продуктів, обробці металів та виробництві добрив. Також добре відомо його використання у хімічній обробці, видобутку та переробці нафти, виробництві та виготовленні металів, аерокосмічній галузі, паливних елементах.

					МД ББ21.10.000 ПЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розроб.		Кінаш М.В.			ВСТУП	Літ.	Арк.	Акронів
Перевір.							10	114
Реценз.						"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		
Н. Контр.								
Затверд.		Голуб Н.Б.						

Водень як автомобільне паливо або енергоносії для стаціонарних ринків електроенергії та транспорту – це галузь що розвивається з величезним потенціалом у майбутньому [3].

Метою даного проєкту є розробка технології отримання біоводню методом темної анаеробної ферментації з сільськогосподарських відходів.

Предметом роботи є процес отримання біоводню з сільськогосподарських відходів.

Об'єкт – біоводень.

Завдання:

1. Обґрунтувати вибір типу технології та обладнання на основі аналізу літературних джерел.
2. Навести характеристику основних продуцентів водню з целюлозовмісної сировини.
3. Розробити схеми – апаратурну та технологічну отримання біоводню з сільськогосподарських відходів.
4. Спроекувати метантенк.
5. Розробити опис та схему автоматизації метантенку.
6. Розробити стартап-проєкт.
7. Зазначити вимоги до охорони праці та навколишнього середовища.

Новизна роботи полягає в тому, що задля підвищення виходу використовується збагачення активного мулу мікроорганізмами родів *Clostridium* та *Bacillus*.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

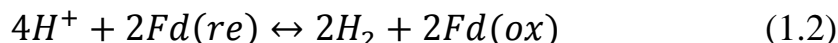
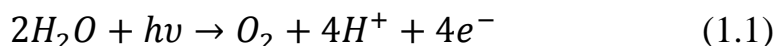
РОЗДІЛ 1

МЕТОДИ ОТРИМАННЯ БІОВОДНЮ

1.1. Біофотоліз

Біофотоліз або фотосинтез з розщепленням води – процес отримання водню за допомогою сонячного світла та води, за участі кисневих фотосинтезуючих бактерій, як ціанобактерії та зелені мікроводорості. Для того, щоб даний механізм відбувся, ціанобактерії використовують нітрогеназу, а зелені мікроводорості FeFe-гідрогеназу. В загальному, даний метод можна розділити за напрямками на непрямий та прямий біофотоліз [4].

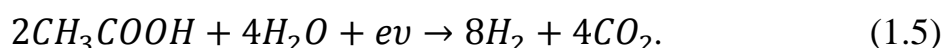
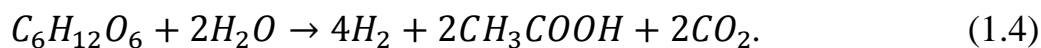
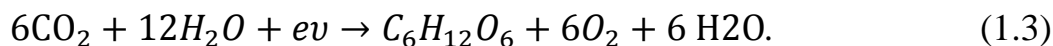
Під час прямого біофотолізу, фотосинтезуючі мікроорганізми, такі як ціанобактерії та зелені водорості, використовують поглинання сонячного світла, з довжиною хвилі 400-700 нм, задля росту своїх клітин. Після поглинання сонячного випромінювання мікроорганізми можуть виділяти водень, використовуючи ферменти гідрогенази або нітрогенази [5]. Прямий фотоліз опосередковує розщеплення води за допомогою світлової енергії з довжиною хвилі 680 нм, з подальшим утворенням вільних електронів, протонів та молекули кисню. Електрони, що були отримані в даному процесі, переносяться через фотосистему II та фотосистему I для відновлення феродоксину (Fd). Відновлений феродоксин, надалі використовується у відновленні коферменту гідрогенази НАДФ⁺ до НАДФН, який відповідає за отримання H₂[4].



Механізм непрямого біофотолізу полягає у двоетапному фотосинтетичному перетворенні світлової енергії в хімічну при біосинтезі вуглеводів як кінцевої форми хімічної енергії.

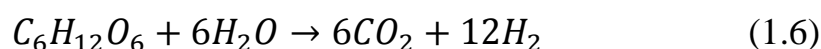
					МД ББ21.10.000 ПЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	РОЗДІЛ 1 МЕТОДИ ОТРИМАННЯ БІОВОДНЮ	Літ.	Арк.	Акровшів
Розроб.	Кінаш М.В.						12	114
Перевір.						"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.	Голуб Н.Б.							

На першому етапі виробляється кисень та вуглеводи (крохмаль і глікоген у зелених водоростях та ціанобактеріях відповідно) за допомогою енергії світла [6]. Другий крок полягає у перетворенні вуглеводів на CO₂ та H₂ в анаеробних умовах за використання енергії світла та з меншою кількістю O₂ [7].



1.2. Фотоферментація

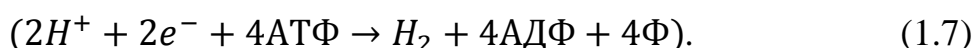
Отримання водню з використанням фотоферментації використовує розкладання органічних кислот за допомогою світлозалежних сірчаних та несірчаних пурпурних бактерій. Пурпурні несірчані бактерії являють собою групу фотогетеротрофних бактерій, що здатні розкласти кілька вуглецевих субстратів, таких як вуглеводи, органічні кислоти, біовідходи. Окиснення органічних кислот, таких як оцтова кислота, пропіонова кислота, масляна кислота, молочна та яблучна кислоти, фотоферментативними бактеріями призводить до утворення H₂ і CO₂ [7]. Враховуючи це, двостадійний процес анаеробної ферментації часто супроводжується етапом фотоферментації задля підвищення виходу водню [8]. Енергія для росту і розвитку мікроорганізмів отримується з АТФ, отриманого шляхом фотофосфорилування [9].



Фотоферментація дає можливість виробництва водню з високим виходом, використовуючи широкий спектр субстратів. Таких як, стічні води (оливкового, молочного та пивоварного виробництва) і відходи, що багаті органічними речовинами (гідролізовані сільськогосподарські відходи, стоки після анаеробного бродіння) [10, 11]. Найкращими продуцентами для процесу фотоферментації є пурпурні несірчані бактерії, серед яких можна виділити штами роду *Rhodobacter* (*Rhodobacter capsulatus*, *sphaeroides*, *palustris*, *sulfidophilum*) [12]. Також можна відзначити штами, що використовують нітрогеназу та реакції отримання АТФ, побічним продуктом яких є водень, це *Chlorobium vibrioforme*, *Allochromatium*

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

vinosum, *Desulfuromonas acetoxidans*, *Thiocapsa roseopersicina* та *Chloroflexus aurantiacus* [4]. Гідрогеназа та нітрогеназа – два основні ферменти, що беруть участь в отриманні водню з органічних кислот, у випадку даних бактерій з присутністю сонячної енергії [13]. Нітрогеназа є основним ферментом відповідальним за отримання водню в умовах обмеженої кількості кисню. В процесі виробництва NH_3 , що отримується з N_2 з використанням нітрогенази, але за відсутності азоту, АТФ разом із надлишковою нітрогеназою використовується для продукування H_2 , як вказано у рівнянні нижче [4].



Процес фотоферментації дійсно дозволяє використовувати абсолютно різноманітні субстрати, але вимагає ретельного контролю рН та температури задля високого виходу водню. Оптимальний робочий діапазон температур для даного процесу становить від 28 до 32 °С. Крім того, найвищі показники виходу H_2 досягаються при нейтральних значеннях рН (близько 7). Також чималу роль під час фотоферментації грають інтенсивність світла та час гідравлічного утримання. Через повільну метаболічну активність пурпурних несірчаних бактерій у фотоферментації, можна спостерігати більш довгий час гідравлічного утримання, у порівнянні з анаеробною ферментацією. Крім того, інтенсивність та джерело світла відіграють дуже важливу роль у процесі зростання мікроорганізмів, а також у відсотку виходу H_2 у процесі фотоферментації [14–16].

1.3. Біоелектроліз

Біоелектрохімічна система виробництва водню з широкого спектру субстратів за допомогою мікробного паливного елемента (МПЕ) є новою технологією, що набуває популярності в останні роки. Технологія МПЕ також відома під назвами біокаталізовані електролізні елементи або електроферментація [5]. Як показано на рисунку 1.1, система МПЕ має два електроди, котрі можна розмістити в одній або в двох окремих камерах (одно- та двокамерна МПЕ відповідно). У двокамерній конфігурації, розділення зазвичай відбувається за допомогою протонообмінної

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мембрани. Також можливе використання зарядово-мозаїчної, катіоно-/аніонообмінну та біполярну мембрану, котрі є новими розробками для систем МПЕ [17]. При використанні двокамерної конфігурації анодну камеру заповнюють стічними водами з високим вмістом органічних речовин, а катодну різноманітними буферними розчинами [18, 19]. Основний робочий процес однаковий для обидвох конфігурацій, електрони утворюються в результаті окислення органічних речовин на аноді. Потім вони транспортуються до катоду, де при з'єднанні з протонами утворюється водень [10].

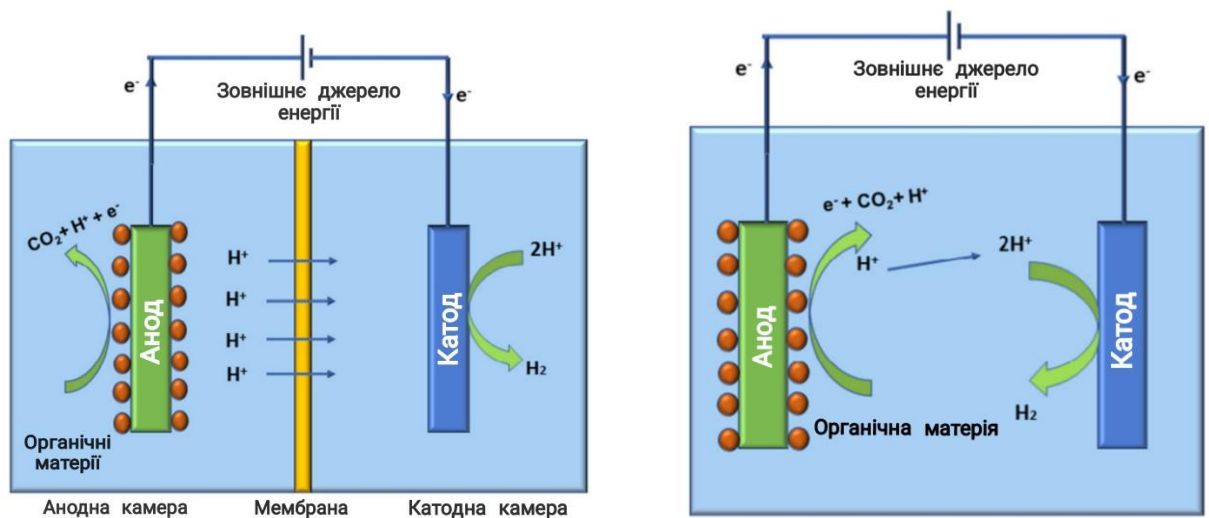
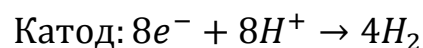
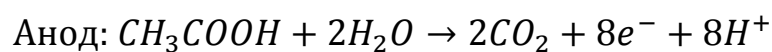


Рисунок 1.1 – Схематичні діаграми двокамерної та однокамерної МЕК[20].

МПЕ є анаеробною системою, що чутлива до кисню. Рівняння показують механізм отримання водню для ацетату .



На додаток до створюваного потенціалу, котрий створений мікроорганізмами (-300 мВ), МПЕ потребує зовнішнього потенціалу у розмірі понад 0,110 В для виробництва водню [21]. Загалом, можна розглянути використання зовнішнього джерела живлення у вигляді батареї, але також можна використовувати відновлювальні джерела енергії, такі як енергія сонця, вітру, відпрацьованого тепла [22], [23].

Для процесу біоелектролізу можуть використовуватися різноманітні субстрати такі як, бутират, глюкоза, ацетат, гліколь, побутові стічні води [24], [25], промислові стічні води [26]–[28], відпрацьований активний мул [29]–[33]. Використання мікробного паливного елементу, поєднаного з анаеробною ферментацією або метановим бродінням, поліпшує вихід водню [31, 32, 34, 35].

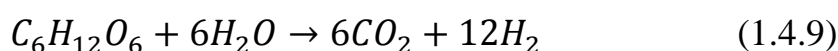
Субстрат, температура, рН і робоча напруга відіграють дуже важливу роль у визначенні виходу, при використанні мікробного паливного елементу. Деякі дослідження показали, що робоча температура від 0 °С може використовуватись для виробництва водню зі стічних вод без істотного впливу на відсоток виходу. Найкращі показники спостерігалися для діапазону температур від 10 до 20 °С, тим самим демонструючи переваги використання МПЕ перед іншими методами виробництва біоводню [26]. Також у багатьох дослідженнях демонстрували збільшення виходу зі збільшенням прикладеної зовнішньої напруги. У МПЕ можливе використання певних мікроорганізмів, що здатні переносити електрони від камери до аноду, котрі відомі як електрогени. *Shewanella spp.*, *Geobacter spp.* є популярними групами електрогенів, серед яких *Shewanella oneidensis*, *Geobacter sulfurreducens* є найбільш популярними у дослідженнях видами [36]. *Acetobacter woodii*, *Ochrobactum anthropic*, *Sphingomonas DJ*, *Rhodopseudomonas palustris*, *Rhodoferax ferrireducens* є іншими екзоелектричними видами, котрі фігурують в дослідженнях [36]–[38].

1.4. Анаеробна ферментація

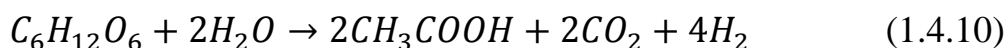
Темнове бродіння є однією з добре відомих технологій виробництва біоводню мікроорганізмами в умовах анаеробної ферментації субстрату [39]. Однак, даний метод має суттєвий недолік, який полягає в утворенні багатьох побічних продуктів, що спричиняє низький вихід водню. Рівняння показують основні реакції, що беруть участь у процесі темної ферментації. Рівняння 1.4.8 показує реакцію утворення водню в результаті відновлення протонів, згенерованими електронами через деградацію джерела вуглецю. [NiFe]-гідрогеназа та [FeFe]-гідрогеназа, як правило,

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

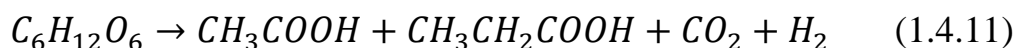
беруть участь у процесі утворення H_2 [40]. Вищий вихід водню можна отримати, використовуючи ферментацію термофільними мікроорганізмами. Як було сказано вище, низький вихід H_2 обумовлений утворенням побічних продуктів, таких як оцтова кислота, пропіонова кислота та масляна кислота. Рівняння 1.4.10 показує шлях утворення оцтової кислоти з глюкози та двох молекул води. Пропіонова кислота також утворюється з глюкози, як показано у рівнянні 1.4.11 [41]. У рівнянні 1.4.12 продемонстровано утворення масляної кислоти з глюкози та шести молекул води. У всіх трьох шляхах CO_2 та H_2 утворюються у різних кількостях.



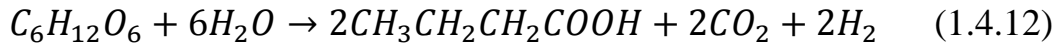
Шлях утворення оцтової кислоти:



Шлях утворення пропіонової кислоти:



Шлях утворення масляної кислоти:



Як субстрат для процесу темної ферментації може бути використана ціла низка джерел біомаси. Серед них найбільш використовуваними є сільськогосподарські відходи (рисова/пшенична/кукурудзяна солома, тваринний гній), різні типи стічних вод (лікеро-горілчаних заводів, стоки молокопереробних заводів, стоки виробництва пальмової олії), харчові відходи, муніципальні стічні води, осад стічних вод [10]. Субстрати, що багаті поліцукрами або вуглеводами, мають кращу тенденцію до збільшення виходу H_2 , аніж субстрати, котрі багаті на ліпіди або білки. Також відомо про наявність лінійної кореляції між виходом водню, та часткою вуглеводів у субстратах [42]. Такі відходи, як осад стічних вод, а також води з заводів по виробництву пальмової олії, зазвичай мають низький вихід H_2 , у порівнянні з іншими відходами через високий вміст білків або ліпідів[10].

Попередня обробка субстратів є дуже важливим кроком у виробництві біоводню. Методами попередньої обробки є фізичний (висока температура,

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ультразвукова та мікрохвильова обробка), механічний (помел, подрібнення), ферментативний та гідротермальний [43]–[45]. Різні типи субстратів потребують різних методів попередньої обробки, що значно підвищує ефективність отримання водню. Для рисової соломи використовують кип'ятіння при температурі 80 – 100 °С, а також можлива обробка розчином 1% лугу задля гідролізу целюлози після нарізки та подрібнення до фрагментів розміром 2 мм [46]. Стічні води лікеро-горілчаних заводів можуть бути попередньо оброблені шляхом нейтралізації рН, центрифугування та стерилізації [47]. Харчові відходи можуть попередньо оброблятися різними способами. Наприклад, просіювання та 6-годинне кип'ятіння, при температурі близько 100 °С, даний метод було досліджено у статі [48]. Подрібнення на кухонному млині також застосовується як метод попередньої обробки харчових відходів у поєднанні з обробкою 5% розчином гліцерину [49].

Ефективне виробництво водню з лігніноцелюлозних матеріалів таких як, рисова/кукурудзяна/пшенична солома, цукрової тростини, стебла кукурудзи або ж сільськогосподарських відходів потребує попередньої обробки, що було визначено в декількох дослідженнях [50]–[52]. Збільшення виходу водню на 47,3% спостерігалось при обробці рисового лушпиння комерційним ферментом Celluclast, у порівнянні з необробленим субстратом (321 мл Н₂/г субстрату) [52]. Подібним чином спостерігалось збільшення на 35% виходу водню (155 мл Н₂/г субстрату) у випадку використання стебла кукурудзи, що було попередньо оброблене вапном, у порівнянні з необробленою сировиною (115 мл Н₂/г субстрату) [53]. Також можливе використання біомаси ряскових, що попередньо оброблена розведеною кислотою (1% Н₂SO₄) для виробництва водню шляхом темної ферментації. Було виявлено, що максимальний вихід Н₂ становить 169,30 мл/г субстрату, за температури 35 °С і початкового значення рН 7.0. Таким чином, можна побачити, що попередня обробка субстратів значно рекомендується для суттєвого збільшення виходу водню при його виробництві методом темної ферментації [54], [55].

Не менш важливим параметром для високого виходу водню є значення рН середовища. Встановлено, що значення рН при темній ферментації впливає на метаболічний шлях та активність мікроорганізмів і, таким чином, впливає на

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деградацію субстрату та ефективність виробництва. У багатьох дослідженнях темної анаеробної ферментації рівень рН на початку та під час процесу синтезу біоводню ретельно підтримувався [56]–[58]. Використовуючи даний механізм для стічних вод виробництва сирної сироватки, найвищий вихід водню було виявлено при рН 5.5 та 6.5 для термофільних та мезофільних мікроорганізмів відповідно. Також було досліджено широкі коливання рН від 4.0 та 12.0 для ферментації молочного гною [59]. При рН 5.0 було виявлено найвищий вихід біоводню 31.5 мл/г суспендованих летючих твердих речовин. При рН нижче 4.0 і вище 12.0 продукування водню відсутнє.

Гідрогенотрофні метаногени є одним з основних мікроорганізмів, що споживають H_2 для продукування метану, що зменшує його вихід. Таким чином, інгібування розвитку гідрогенотрофних метаногенів у змішаних культурах, є одним із основних етапів при виробництві біоводню. Попередня обробка інокуляту для збагачення H_2 -продукуючих мікроорганізмів, та придушення H_2 -споживаючих метаногенів. Оскільки метаногени є строгими анаеробами, аерація навколо реактора може пригнічувати розвиток метаногенів і тим самим підвищувати вихід біоводню [60]. Вплив рН на ріст та розвиток метаногенів є одним з важливих аспектів для контролю виходу H_2 . В деяких дослідженнях повідомлялося, що метаногени здатні виробляти метан, споживаючи водень за оптимального рН 7-8 та оптимального часу гідравлічного утримання 15-20 днів. Кумар та ін. в своєму дослідженні досягли виходу H_2 29,5 мл/г твердих летючих речовин з рН 5.5 і метаногенним інгібітором із змішаної біомаси мікрководоростей *Scenedesmus* та *Chlorella* [61].

Виробництво біоводню шляхом темної анаеробної ферментації здійснюється різними мікроорганізмами, що здатні перетворювати широкий спектр субстратів з органічних відходів. В залежності від різних температур, дані мікроорганізми класифікуються: термофіли (45 – 65 °С), мезофіли (25 – 45 °С) та психрофіли (0 – 25 °С). Найбільш поширеними мезофілами для виробництва водню є роди *Clostridium* та *Enterobacter* (*Clostridium beijerinckii*, *Clostridium butyricum*, *Enterobacter aerogenes* і *Enterobacter asburiae*). Найбільш відомими термофільними

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуцентами є *Thermoanaerobium* (*Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum*)[58]. Також, в залежності від метаболізму мікроорганізмів в присутності кисню, вони поділяються на факультативні (наприклад, *E. cloacae*, *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter intermedius* і *E. coli*) або облігатні бактерії (наприклад, *C. paraputrificum*, *Ruminococcus albus* і *Clostridium beijerinckii*) [4], [62]. Факультативні анаероби – це організми, що утворюють АТФ шляхом аеробного дихання (за наявності кисню), а також здатні до анаеробного дихання або бродіння (за відсутності кисню). Облігатні анаероби в свою чергу не здатні жити в умовах наявності кисню, а продукування АТФ відбувається тільки за дуже низьких значень окиснення. *Enterobacter* та *Clostridium* є двома видами грампозитивних бактерій, що використовуються для великомасштабного виробництва біоводню через їхню здатність швидко рости та утворювати ендоспори. Також було виявлено, що молочнокислі бактерії, такі як *Klebsiella pneumoniae*, *Cellulomonas* і деякі термофіли, такі як *Thermotoga neapolitana* і *Caldicellulosiruptor saccharolyticus*, показують хороші результати для виробництва водню методом темної ферментації [63].

Гідравлічний час утримування є одним із важливих параметрів для належної ферментації субстрату та ефективного виробництва H_2 . Стабільність реактора та ефективність використання вихідної сировини залежать від даного параметру. Дослідники виявили, що гідравлічний час утримування та час утримування твердої речовини мають великий вплив на виробництво біоводню та пов'язаних субпродуктів із твердих органічних відходів за допомогою методу темної ферментації [64]. ГЧУ та час утримування твердих речовин тривалістю 16 і 55 годин відповідно є оптимальними значеннями для максимізації виробництва біоводню. Гідравлічний час утримання було визначено основним параметром, що впливає на весь процес. Швидкість гідролізу субстрату зростала зі зменшенням часу гідравлічного утримання. Крім того, час процесу гідролізу – розчинення субстрату скоротився зі збільшенням часу утримання твердих речовин та зменшенням гідравлічного утримання [65].

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У таблиці 1.4.1 наведено різні дослідження виробництва біоводню з відходів шляхом темної ферментації. Комбіноване бродіння різних субстратів призводить до збільшення виходу біоводню. Крім того, процеси попередньої обробки, такі як кислотна, лужна, теплова обробка та нейтралізація рН, показали значний вплив на вихід H_2 . Також, було виявлено, що більшість досліджень використовують процес змішаного культивування для отримання хороших результатів.

Таблиця 1.4.1 Дослідження отримання біоводню з використанням різноманітних продуцентів та субстратів.

Субстрат	Попередня обробка	Мікроорганізм	рН	Температура (°C)	Вихід H_2 мл/г субстрату	Джерела
Молочний гній	Обробка 0.2% HCl, кип'ятіння, інфрачервоне випромінювання	Асоціація мікроорганізмів	5.0	36.0±1	31.5	[59]
Осад стічних вод	Кип'ятіння 100 °C, протягом 15 хв	Асоціація мікроорганізмів	7.0	37.0	11.2	[66]
Осад стічних вод + листя тополі	Кип'ятіння 100 °C, протягом 15 хв	Асоціація мікроорганізмів	7.0	37.0	20.8	
Осад стічних вод + квіткові відходи	Кип'ятіння 100 °C, протягом 15 хв	Асоціація мікроорганізмів	7.0	37.0	32.0	
Осад стічних вод + райграс	Кип'ятіння 100 °C, протягом 15 хв	Асоціація мікроорганізмів	7.0	37.0	51.0	[59]

Продовження таблиці 1.4.1

Субстрат	Попередня обробка	Мікроорганізм	pH	Температура (°C)	Вихід Н ² мл/г субстрату	Джерела
Рисова солома	Кип'ятіння 80 – 100 °C	Активний осад стічних вод	4.0 – 5.5	35.0	14.5 + 0.3	[67]
Осад стічних вод харчових відходів + 3% гліцерину	Тепловий удар 100 °C, протягом 30 хв	Асоціація мікроорганізмів	5.5	35.0	179.3	[68]
Стічні води спиртзаводу	Нейтралізація (pH 6.7, КОН), центрифугування 5000 об/хв, стерилізація	Асоціація мікроорганізмів	5.0	37.0	1.6±0.3	[47]
Стічні води з маніоки	Просіювання, кип'ятіння 95 °C (15 хв)	Асоціація мікроорганізмів	5.5	37.0	39.8	[69]

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Продовження таблиці 1.4.1

Субстрат	Попередня обробка	Мікроорганізм	pH	Температура (°C)	Вихід Н ² мл/г субстрату	Джерела
Рисова солома	Нарізання та шліфування, обробка 1% лугом, гідроліз целюлазою	<i>Clostridium pasteurianum</i>	7.5	37.0±2	2.6 (47.6 мл/г вільного цукру)	[46]
Гідролізат харчових відходів	Просіювання, кип'ятіння 100 °C (протягом 6 год)	<i>A. awamori</i> , <i>A. oryzae</i>	4.0 – 4.6	37.0	219.9 (39.1 мл/г харчових відходів)	[48]
Рисова солома	Кип'ятіння 80 – 100 °C	Активний осад стічних вод	4.0 – 5.5	35.0	14.5 + 0.3	[67]
Осад стічних вод харчових відходів + 3% гліцерину	Тепловий удар 100 °C, протягом 30 хв	Асоціація мікроорганізмів	5.5	35.0	179.3	[68]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ББ21.10.000 ПЗ

Арк.

23

Продовження таблиці 1.4.1

Субстрат	Попередня обробка	Мікроорганізм	pH	Температура (°C)	Вихід Н ² мл/г субстрату	Джерела
Стічні води спиртзаводу	Нейтралізація (рН 6.7, КОН), центрифугування 5000 об/хв, стерилізація	Асоціація мікроорганізмів	5.0	37.0	1.6±0.3	[47]
Стічні води з маніоки	Просіювання, кип'ятіння 95 °С (15 хв)	Асоціація мікроорганізмів	5.5	37.0	39.8	[69]
Рисова солома	Нарізання та шліфування, обробка 1% лугом, гідроліз целюлазою	<i>Clostridium pasteurianum</i>	7.5	37.0±2	2.6 (47.6 мл/г вільного цукру)	[46]
Гідролізат харчових відходів	Просіювання, кип'ятіння 100 °С (протягом 6 год)	<i>A. awamori</i> , <i>A. oryzae</i>	4.0 – 4.6	37.0	219.9 (39.1 мл/г харчових відходів)	[48]

Продовження таблиці 1.4.1

Субстрат	Попередня обробка	Мікроорганізм	pH	Температура (°C)	Вихід Н ² мл/г субстрату	Джерела
Харчові відходи + анаеробний мул	Нагрівання до 120 °C протягом 30 хв, підлужування (3М NaOH), підкислення (3М HCl)	-	5.5 ±0.1	37.0	13.8	[70]
Харчові відходи + 5% гліцерол	Перетирання млином	Асоціація мікроорганізмів	5.0 – 5.5	35.0±1	180.0	[49]
Жом цукрової тростини	H ₂ SO ₄ 2% у масовому співвідношенні 1:15, стерилізація при 121 °C, 1 год	Enterobacter aerogenes	6.8	30.0	1000.0 мл/л гідролізату	[71]
Стічні води пивоварні	Розведення дистильованою водою, регулювання pH за допомогою HCl, NaOH.	Klebsiella pneumoniae	5.5	35.0±1	1.7	[72]

Продовження таблиці 1.4.1

Субстрат	Попередня обробка	Мікроорганізм	pH	Температура (°C)	Вихід Н ² мл/г субстрату	Джерела
Глюкоза	-	Thermotoga neapolitana	6.5	70.0	1.7	[73]
Пшенична солома	Замочування в оцтовій кислоті на ніч, парова обробка 10 хв при 190 °C, ферментативний гідроліз 72 год.	Caldicellulosiruptor saccharolyticus	6.5 ±0.1	70.0	134.0	[74]

Враховуючи наведену у таблиці 1.1 інформацію, для подальшого дослідження та розробки обрано технологію темної анаеробної ферментації. Джерелом продуценту виступає асоціація мікроорганізмів, отримана з анаеробного активного мулу, взятого з річкового дна. Як основа субстрату обираємо пшеничну солому, враховуючи її гарні показники щодо виходу біоводню.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Висновки до розділу 1

У даному розділі розглянуто різноманітні методи та технології, котрі використовуються для отримання біоводню. Охарактеризовано обраний метод, темнова анаеробна ферментація, описано переваги серед яких можна визначити: простота технології, широкий вибір продуцентів та субстратів, дешевизна обладнання, простота модифікацій технологічного процесу. Наведено недоліки та переваги кожної з описаних технологій, порівняльна характеристика методів обробки субстрату для підвищення виходу водню.

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТУ

Для синтезу водню у процесі темної ферментації може бути використано широкий спектр мікроорганізмів, серед яких є види *Clostridium*, *Enterobacter*, *Thermoanaerobium*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Ruminococcus*, *Bacillus*. В даному проекті буде розглянуто змішану культуру з домінуючою часткою видів *Clostridium* та *Bacillus*.

Характеристика роду *Clostridium*:

1. Тип: Firmicutes
2. Клас: Clostridia
3. Ряд: Clostridiales
4. Родина: Clostridiaceae
5. Рід: Clostridium

Clostridium – рід грампозитивних бактерій. Вони є облигатними анаеробами, що утворюють ендоспори, мають паличкоподібну форму. Спори даного роду мають форму кеглі або пляшки. Види *Clostridium* можна знайти у ґрунтах, що робить його частиною мікрофлори активного мулу, котрий може використовуватися як джерело продуцентів водню[75].

					МД ББ21.10.000 ПЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТУ	Літ.	Арк.	Акровшіє
Розроб.	Кінаш М.В.						28	114
Перевір.								
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.	Голуб Н.Б.					"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		

Типові представники продуценти водню:

1. *Clostridium beijerinckii*

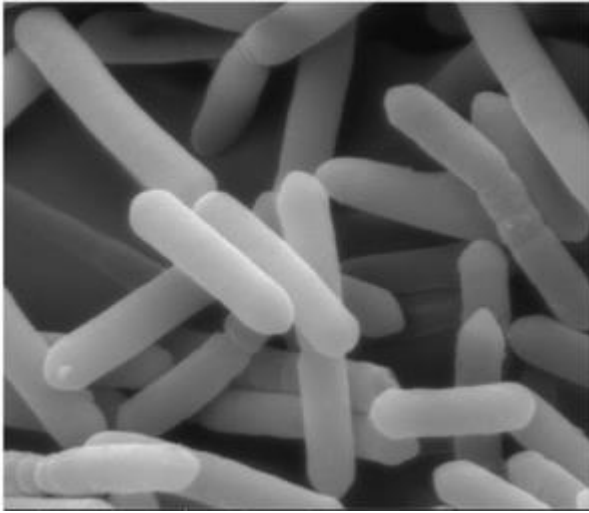


Рисунок 2.1 – Вигляд культури *Clostridium beijerinckii* [76]

Штами *Clostridium beijerinckii* є досить розповсюдженими у природі, їх часто виділяють із зразків ґрунту. *C. beijerinckii* NCIMB 8052 типовий штам даного виду. Це сахаролітична, строго анаеробна, мезофільна, рухлива паличкоподібна бактерія з овальними субкінцевими спорами. Має перитрихіальні джгутики. Під час ферментації виробляє ряд продуктів, що включають в собі ацетат, бутират, лактат, газоподібний водень, вуглекислий газ, ацетон, бутанол, етанол, ацетоїн, ацетилметилкарбоніл. Здатність до виробництва розчинників (бутанолу, ацетону та ізопропанолу), а також до продукування газоподібного водню робить даний штам цікавим для біотехнологів. Штам добре росте і легко оброблюється на простих та недорогих середовищах, котрі розповсюджені у промисловому використанні. Морфологія клітин змінюється протягом циклу росту мікроорганізму: на експоненціальній фазі клітини довгі, ниткоподібні та дуже рухливі. При наближенні культури до стаціонарної фази вони скорочуються, стають пухкішими та мають меншу рухливість [77].

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. *Clostridium butyricum*

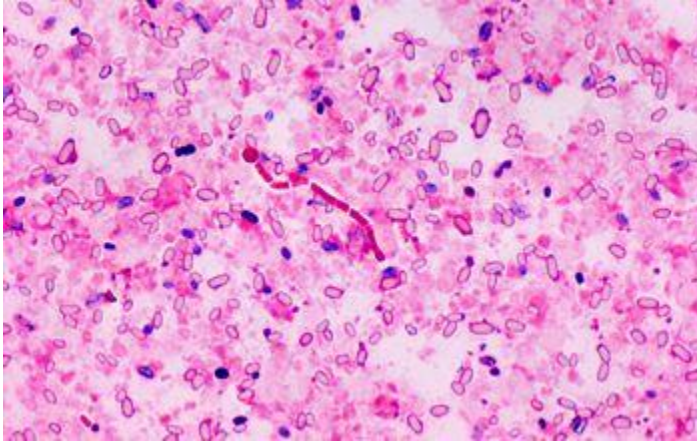


Рисунок 2.2 – вигляд культури *Clostridium butyricum* [78]

Даний вид є строго анаеробним ендоспороутворюючим грампозитивним мікроорганізмом. *C. butyricum* наявний у ґрунтах різних частин світу, часто зустрічається у кислому молоці та сирах. Клітини мають форму прямої або злегка зігнутої палички із закругленими кінцями. Зустрічаються парами або короткими ланцюжками, іноді у вигляді довгих ниток. Рух клітин здійснюється перитрихіальними джгутиками. Спори овальні, центральні/субтермінальні, зазвичай клітина при спороутворенні не розбухає. Спороутворення легко відбувається як на бульйонах, так і на твердих середовищах. Вид добре росте на глюкозному агарі, колонії мають розмір від 1 до 3 мм, колір від білого до кремового, поверхня глянцева або матова. Оптимальна температура росту 25 – 37 °С [79].

3. *Clostridium thermocellum*

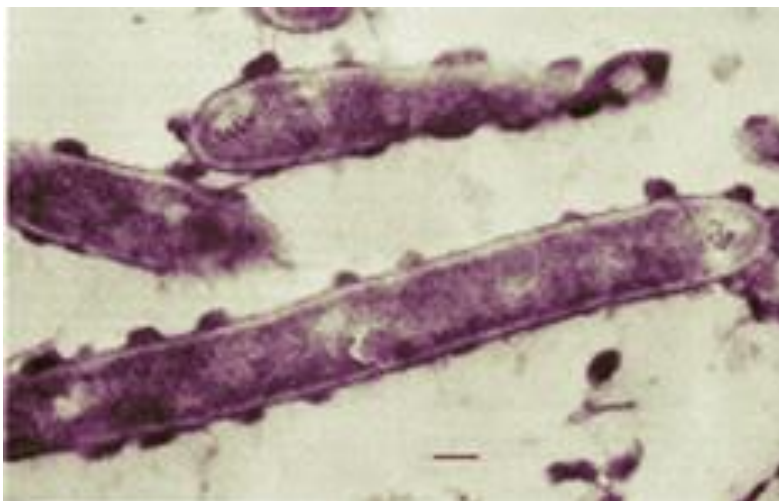


Рисунок 2.3 – вигляд культури *Clostridium thermocellum* [80]

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Clostridium thermocellum – це термофільна, грамнегативна, анаеробна бактерія, що здатна перетворювати целюлозний субстрат на етанол. Розкладання целюлозних матеріалів даною бактерією здійснюється за допомогою позаклітинної системи, що називається целюлосома. Целюлосома – складний білковий комплекс, що складається з майже 20 каталітичних субодиниць розміром від 40 до 180 кДа. Клітини мають розмір 0.6-0.7 x 2.5-3.5, прямі або злегка закруглені. Зазвичай зустрічаються поодинокі, але на рідких середовищах можуть утворювати ланцюжки. Клітини рухливі, мають бічні джгутики. Спори овальні, кінцеві, спороутворення призводить до розбухання клітини [81].

Характеристика роду *Bacillus*:

1. Тип: Firmicutes
2. Клас: Bacilli
3. Ряд: Bacillales
4. Родина: Bacillaceae
5. Рід: Bacillus

Bacillus – рід грампозитивних паличкоподібних бактерій. Види цього роду можуть бути облігатними, чи факультативними анаеробами. Бацили можуть зменшуватися до овальних ендоспор при нестачі поживних речовин, та знаходитись у цьому стані роками. На одну клітину утворюється одна ендоспора, котра не є справжньою спорою [82].

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Типові представники продуценти водню:

1. *Bacillus tequilensis*

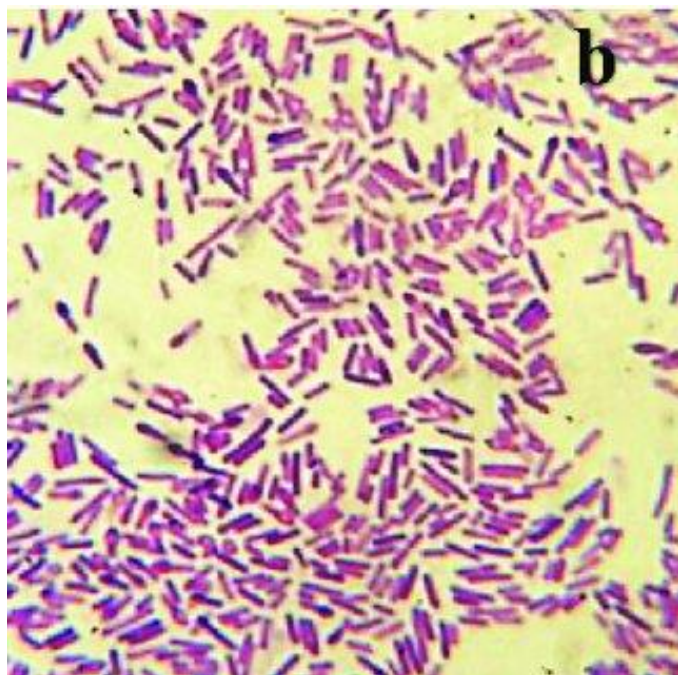


Рисунок 2.4 – Вигляд культури *Bacillus tequilensis* [83].

Bacillus tequilensis – грам-позитивна, аеробна спороутворююча, рухлива паличка. Продукує центральні ендоспори у нероздутих спорангіях. Розміри клітин 0.9 x 0.4 мкм. Утворює гладкі, округлі, жовтуваті, діаметром до 4мм колонії при 37 °С. Характеризується відсутнім анаеробним ростом, строго аеробний. Температурний оптимум для росту 25 – 50 °С, рН 5.5 – 8. Біохімічно схожий на *B.subtillis* [82].

2. *Bacillus licheniformis*.

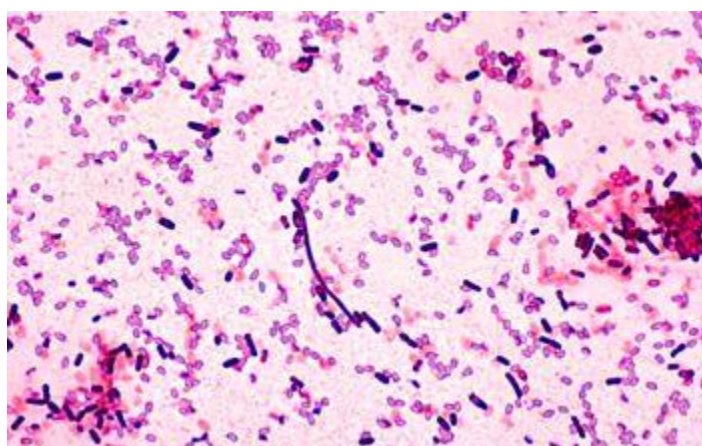


Рисунок 2.5 – Вид культури *Bacillus licheniformis* [84].

B. licheniformis – граммпозитивна, спороутворююча, факультативно анаеробна, паличкоподібна бактерія. Мезофільна, температурний оптимум 50 °С, початок продукування ферментів відбувається при 37 °С. Колонії мають круглу та неправильну форму з нерівними краями. Поверхня часто шорстка і зморшкувата, з лишайоподібними виростами. Колір варіюється від непрозорого до білого. Виділяється з ґрунтів, також зустрічається на пір'ї наземних і водних видів птахів [85].

3. *Bacillus firmus*

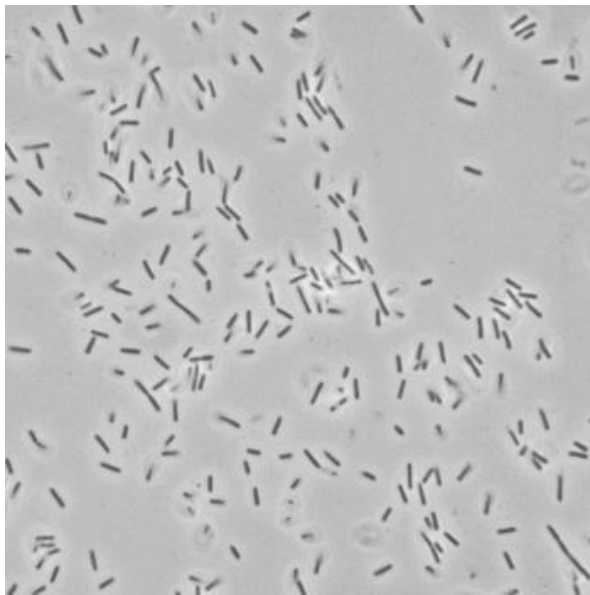


Рисунок 2.6 – Вигляд клітин *Bacillus firmus* [85].

Bacillus firmus – граммпозитивна, паличкоподібна, факультативно анаеробна, мезофільна бактерія. Розміри клітин 1.2 – 3.8 x 0.6 – 1.0 мкм. Рухливі за допомогою перитрихіальних джгутиків. Спори овальні або циліндричні, субтермінальні, парацентральні або центральні, зрідка вздувають спорангій. Максимальний температурний режим 40 – 50 °С, мінімальний 5 – 20 °С, оптимум – 20 – 30 °С. Оптимум рН 7 – 9(оптимальний для росту рН 6 -- 11). При рості на соєво-казеїновому агарі при 30 °С колонії мають колір від кремово-жовтого до блідо-оранжево-коричневого [86].

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 2

Наведено опис родів основних продуцентів водню *Clostridium* та *Bacillus*. *Clostridium* – рід грампозитивних бактерій. Вони є облігатними анаеробами, що утворюють ендоспори, мають паличкоподібну форму. *Bacillus* – рід грампозитивних паличкоподібних бактерій. Види цього роду можуть бути облігатними, чи факультативними анаеробами. Обидва ці роди досить розповсюджені у ґрунтах, що робить їх легкодоступними продуцентами. Наведено загальну морфологічну характеристику основних продуцентів водню обидвох родів.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА

Для того, щоб зрозуміти метаболічні шляхи, що беруть участь у виробництві водню асоціаціями мікроорганізмів, глюкоза або сахароза, як модельні субстрати були досліджені і їх шлях зараз добре описаний. Як показано на рисунку 3.1, перший крок у метаболічному шляху це перетворення глюкози або пентози на піруват, після чого в дію вступають механізми гліколізу (або шлях Ембден-Мейерхофф-Парнаса), в яких аденозинтрифосфат (АТФ) і відновлений нікотинамідаденіндинуклеотид (НАДН) генеруються як енергетичний накопичувач і донор електронів для клітинного синтезу відповідно. Піруват, як ключовий продукт центрального метаболізму, надалі можна перетворити на ацетил-КоА, відновлений феродоксин та CO_2 . Надлишковий відновлений феродоксин потім повторно окиснюється з утворенням водню за допомогою гідрогеназ. Ацетил-КоА є центральним проміжним продуктом шляхів бродіння бутирату, ацетату та етанолу, що відбувається відповідно до виду мікроорганізмів, фізіологічного стану, умов ферментації, типу субстратів та органічного навантаження. Надлишок відновленого НАДН повторно окиснюється з утворенням водню за допомогою гідрогеназ. Серед усіх метаболічних шляхів ацетатне та бутиратне бродіння відбувається легше, оскільки вони пов'язані з АТФ і зниженим утворенням фередоксину та НАДН, які дуже необхідні для клітинного анаболізму [87].

					МД ББ21.10.000 ПЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	РОЗДІЛ 3 БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА	Літ.	Арк.	Акроніви
Розроб.		Кінаш М.В.					35	114
Перевір.								
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Голуб Н.Б.				"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		

ацетат, бутанол, бутират, ацетон і пропанол є кінцевими продуктами при такому типі бродіння. У випадку використання змішаного бродіння глюкоза спочатку розщиплюється по фруктозобіфосфатному шляху, а піруват дегідрується за участі піруватферодоксиноксиредуктази.

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 3

У цьому розділі розглянуто основні біохімічні шляхи перетворення субстрату на цільовий продукт. Наведено загальну схему можливих метаболічних шляхів. Описано умови за яких відбувається той чи інший шлях.

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1. Характеристика субстрату

У якості основного компоненту субстрату було обрано целюлозовмісну сировину у виді пшеничної соломи. Даний вибір аргументовано досить великою кількістю соломи в Україні, що обумовлено кількістю вирощування – 33,01 млн. тон пшениці за 2021-2022 рік [89]. В основному ці відходи використовують як добрива, підстилки для худоби або переорюють на полях. Як альтернативний метод використання, можлива її реалізація як сировини для отримання водню. Наприклад, при спалюванні соломи утворюється від 5.5 до 12.5 МДж/кг енергії, в залежності від вологості, при спалюванні водню отримують близько 120 МДж/кг [90]. Окрім вищої продуктивності, при спалюванні водню утворюється лише вода, котра може також використовуватись і не забруднює навколишнє середовище. Пшенична солома є хорошим та доступним джерелом целюлози, котра є основною речовиною для продукування водню мікроорганізмами роду *Clostridium* та *Bacillus*.

У соломі міститься: 87,8% сухої речовини, 82% органічних речовин з яких 33 – 38% це целюлоза, 0,67% азоту, 18.5% лігніну, 23% ксилози, 3% арабінози, 0,07% фосфору, 0.98% калію, 0,33% кальцію та 0,12% магнію [91]. Хоч і відсоток целюлози досить високий, але низька кількість мікроелементів значно вповільнює швидкість та ефективність зброджування даного субстрату.

За цієї причини до основної маси пшеничної соломи додають гній великої рогатої худоби у розмірі 10% від загальної маси субстрату. До складу цієї добавки входить: 53,95% вуглецю, 1,14% нітрогену, 0,34% сірки, C:N – 30:1.

					МД ББ21.10.000 ПЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розроб.		Кінаш М.В.			РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акроніви
Перевір.							39	114
Реценз.						"КПІ ім. Ігоря Сікорського",		
Н. Контр.						ФБТ, ББ-21мп		
Затверд.		Голуб Н.Б.						

4.2. Опис технологічного процесу

В даній роботі буде використано одностадійну темнову ферментацію. Як субстрат обрано пшеничну солому з додаванням джерела макро- та мікроелементів у виді гною великої рогатої худоби.

Одностадійний процес темної ферментації характеризується переробкою субстрату та процесу ферментації послідовно у одному реакторі.

ДР 1. Підготовка технологічного повітря

На даній стадії відбувається забір та очистка технологічного повітря.

ДР 1.1 Очистка повітря

Забір повітря відбувається з атмосфери за допомогою компресора (К-3), направляється у повітрозбірник (ЗП-1) та подається на фільтр попередньої очистки (Ф-2) задля видалення механічних часток. Надалі повітря направляється на подальші допоміжні та технологічні стадії процесу.

ДР 2. Підготовка целюлозовмісної сировини.

На даному етапі відбувається накопичення, подрібнення та обробка пшеничної соломи, котра використовується у якості основного компоненту субстрату для анаеробної ферментації.

ДР 2.1 . Накопичування пшеничної соломи

Привезена на склад пшенична солома направляється до накопичувача (Зб-4), де автоматично контролюється рівень заповнення.

ДР 2.2. Подрібнення пшеничної соломи

Накопичена сировина транспортується до дробарки за допомогою шнекового завантажувача (Ш-5). Подрібнення субстрату здійснюється за допомогою валкових дробарок (Д-6). Розмір отриманих часточок становить 2 – 5 мм. Після подрібнення сировина направляється до реактору (Р-8).

ДР 2.3. Обробка субстрату

Подрібнена солома та гній у реакторі (Р-8) оброблюється гострою парою, що має температуру 190 °С, протягом 1 години. Додається гній великої рогатої худоби у кількості 10% від маси соломи.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДР 3. Підготовка посівного матеріалу

На даній стадії здійснюється підготовка посівного матеріалу. Основним джерелом асоціації мікроорганізмів, що продукуватимуть водень є анаеробний активний мул. Оброблена асоціація додатково збагачуватиметься штамми видів *Clostridium* та *Bacillus*, що отримані шляхом селективної культивування анаеробного активного мулу на специфічних для цих родів субстратах.

ДР 3.1. Обробка посівного матеріалу

Анаеробний активний мул через дозатор (Д-10) та водопровідна вода подаються до інокулятора (І-11). В рубашку інокулятора (І-11) подається теплоносії. Температура в реакторі утримується в межах 90 °С, здійснюється контроль термодатчиком. Тривалість процесу обробки становить 1 годину. Здійснюється перемішування погрузною мішалкою з частотою обертів 60 – 75 об/хв. По закінченню обробки та охолодження суспензія подається до інокулятора (І-15) та метантенку (Ф-25).

ДР 3.2. Нарощування посівного матеріалу

Після обробки посівного матеріалу до інокулятора через дозатор (Д-9) додається невелика кількість субстрату. Рівень рН утримується на рівні 5.5 – 6 та контролюється автоматичним датчиком, регуляція рН здійснюється шляхом додавання лугу кальцію. Здійснюється перемішування погрузною мішалкою з частотою обертів 60 – 75 об/хв. Температура під час процесу нарощування утримується на рівні 35±2 °С та контролюється термодатчиком. Тривалість процесу 4 доби.

ДР 3.3. Нарощування мікроорганізмів роду *Clostridium*

До інокулятора (І-15) вноситься частина суспензії, отриманої в ДР 3.1. Додається середовище Омелянського для селективної культивування. Процес відбувається протягом 4 діб. рН середовища, за допомогою лугу кальцію, підтримують на рівні 6 – 6.5, що контролюється автоматичним датчиком. Перемішування здійснюється погрузною мішалкою з частотою обертів 60 – 75 об/хв. Температура утримується в діапазоні 35±2 °С та контролюється термодатчиком.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДР 3.4. Нарощування мікроорганізмів роду *Bacillus*

До інокулятора (І-19) вноситься частина суспензії, що була отримана в ДР 3.1. Через дозатор (Д-18) додається пептон-гліканове середовище для селективної культивування. Процес відбувається протягом 3 діб. Рівень рН утримується на рівні 6.5 – 7 та контролюється автоматичним датчиком. Здійснюється перемішування погрузною мішалкою з частотою обертів 60 – 75 об/хв.

ТП 4. Ферментація целюлозовмісної сировини з отриманням біоводню

У даній технологічній схемі використовується одностадійний процес ферментації. Дана схема дозволяє зменшити затрати на виробництво та час ферментації оскільки дозволяє утримувати більш низький рівень рН, що спричиняє швидше зброджування субстрату.

ТП 4.1. Процес отримання біоводню

Підготовлена сировина з реактору (Р-8) подається шнековим механізмом (Ш-26) до ферментеру (Ф-25). Також додається інокулят від ДР 3.1 та додаткові продуценти водню від ДР 3.3 та 3.4 у співвідношенні 1:2.5, співвідношення інокуляту до продуцентів – 3:1. Завантаження метантенку становить 90% від загального об'єму, 20% з якого це частка субстрату. Режим роботи – періодичний. Тривалість процесу – 3 доби. У процесі ферментації контролюється рівень субстрату, температура фіксована і становить 35 ± 2 °С, перемішування відбувається погрузною мішалкою при 60 – 70 об/хв. Рівень рН утримується на рівні 5.5 – 6 за допомогою лугу кальцію. Протягом процесу ферментації водень відкачується з ферментеру (Ф-25) за допомогою надлишкового тиску у порожнині реактора до газгольдерів, задля запобігання сповільнення його отримання. Температура підтримується за допомогою змійовика на реакторі. Тиск біогазу в реакторі контролюється манометром.

ТП 5. Збір і очистка біогазу

На даному етапі відбувається накопичення біогазу у газгольдерах для його подальшої очистки задля отримання водню.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ТП 5.1. Видалення вологи

З газгольдера біоводень надходить до системи труб (СТ-27) на глибині 1 м під землею. Надлишкова вологість видаляється за рахунок конденсації на стінках трубки і відводиться до резервуару. Кут нахилу труб – 2...4°, що є обов'язковою умовою.

ТП 5.2 Очистка від CO₂

Біогаз за допомогою компресора (К-28) проганяється через фільтр з PDMS/PEI мембраною (Ф-29) при температурі 25 °С та тиску 4.5 – 5 бар. Очищений від домішок газу біоводень надалі перекачується до газгольдерів (ГГ-30).

ТП 5.3 Зберігання отриманого біоводню

Очищений біогаз направляється до газгольдерів (ГГ-30) виконаних з PVC матеріалу. Тиск всередині резервуарів контролюється манометром.

ТП 6. Видалення та декантація залишків ферментації

Після ферментації залишок субстрату через фекальний насос (Н-31) подається на декантерну центрифугу (Д-32) для його зневоднення. Вологість зневодненого залишку становить 82%, оберти центрифуги під час процесу становлять 1500 – 2000 об/хв. Отриманий залишок субстрату може бути використаний як добриво. Водний залишок на зберігання на лакунах.

4.3. Матеріальний баланс виробництва

Матеріальний баланс розраховано для стадії виробничого біосинтезу (таблиця 4.3.1).

Баланс складено з урахуванням коефіцієнту заповнення ферментера 0,9.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 4.3.1 Матеріальний баланс стадії ТП 6 Виробничий біосинтез

Використано					Отримано				
Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродукт-тів	Кількість			Стадія	Назва кінцевого продукту або напівпродук-ту, відходів та втрат	Кількість		
		Кг	шт	м ³			кг	шт	м ³
ДР 2.1	Пшенична солома	850			ДР 3.1	Субстрат	820		
	Гній ВРХ	85					82		
						Втрати	33		
Всього:		935			Всього:		935		
ДР 3.1	Анаеробний активний мул	200			ДР 3.1	Посівний матеріал	250		
	Вода	50							
Всього:					Всього:		250		
ДР 3.2	Посівний матеріал	200			ДР 3.2	Асоціація продуценті в	260		
	Субстрат	50							
Всього:					Всього:		260		
ДР 3.3	Асоціація продуцентів	50			ДР 3.3	Культура м/о роду Clostridium	70		
	Субстрат	11				Втрати	1		
	Середовище Омелянського	11				Втрати	1		
Всього:		72			Всього:		72		
ДР 3.4	Асоціація продуцентів	50			ДР 3.4	Культура м/о роду Bacillus	80		
	Субстрат	11				Втрати	1		
	Пептон-гліканове середовище	22				Втрати	2		
Всього:		83			Всього:		83		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ББ21.10.000 ПЗ

Арк.

44

Продовження таблиці 4.3.1.

Використано					Отримано				
ТП 4.1	Субстрат	748			ТП 4.1	Суміш газів			120
	Культура м/о роду <i>Bacillus</i>	80				Використані луги	0,1		
	Культура м/о роду <i>Clostridium</i>	70				Шлам	708,9		
	Асоціація продуцентів	160				Втрати	350		
	Вода			75					
	Луги кальцію	0,1							
Всього:		1059		75	Всього:		1059		120
ТП 5.1	Суміш газів			120	ТП 5.1	Осушена суміш			115
						Вода			5
Всього:				120	Всього:				120
ТП 5.2	Осушена суміш			115	ТП 5.2	Біоводень			100
						Домішки газів			15
Всього:				115	Всього:				115
ТП 5.3	Біоводень			100	ТП 5.3	Балони з воднем		20	
	PVC-балони		20						
Всього:				120	Всього:			20	
ТП 6	Шлам			708,9	ТП 6	Добриво	531,6		
						Вода			177,3
Всього:				708,9	Всього:				708,9

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ББ21.10.000 ПЗ

Арк.

45

4.4. Контроль виробництва

Задля дотримання на виробництві вимог продукції на кожному етапі проводиться контроль процесу. Точки контролю наведені у таблиці 4.4.1.

Таблиця 4.4.1. Контрольні точки виробництва

Назва стадії	Параметр, що контролюється	Методи контролю, тип приладу	Періодичність перевірки	Норма показника
ДР 1.1 Підготовка очищеного повітря	Мікробіологічна чистота	Седиментаційний аналіз	Перед виробничим процесом	Менше 30% мікрофлори
ДР 2.2 Подрібнення пшеничної соломи	Розмір частинок	Лабораторний контроль	Після виробничного процесу	Менше 1 см
	Вологість		При прийнятті сировини	45-50%
ДР 2.3 Обробка субстрату	Температурний контроль	Датчик температури	Під час виробничого процесу	190 °C
ДР 3.1 Обробка посівного матеріалу	Температура	Датчик температури	Під час виробничого процесу	90 °C
	Кількість обертів мішалки	Датчик обертів		60 – 75 об/хв
ДР 3.2 Нарощування посівного матеріалу	Температура	Датчик температури	Під час виробничого процесу	35±2 °C
	Рівень рН	Датчик рівня рН		6 – 6.5
	Кількість обертів мішалки	Датчик обертів		60 – 75 об/хв
ДР 3.3 Нарощування м/о Clostridium	Температура	Датчик температури	Під час виробничого процесу	35±2 °C
	Рівень рН	Датчик рівня рН		6 – 6.5
	Кількість обертів мішалки	Датчик обертів		60 – 75 об/хв

Продовження таблиці 4.4.1.

Назва стадії	Параметр, що контролюється	Методи контролю, тип приладу	Періодичність перевірки	Норма показника
ДР 3.4 Нарощування м/о Bacillus	Температура	Датчик температури	Під час виробничого процесу	35±2 °С
	Рівень рН	Датчик рівня рН		6.5 – 7
	Кількість обертів мішалки	Датчик обертів		60 – 75 об/хв
ТП 4.1 Процес отримання біоводню	Температура	Датчик температури	Під час виробничого процесу	35±2 °С
	Рівень рН	Датчик рівня рН		6.5 – 7
	Кількість обертів мішалки	Датчик обертів		60 – 75 об/хв
	Активність продуцентів	Методика лабораторного контролю		≥1.5 кг/м ²
ТП 5.1 Видалення вологи	Вологість	Вологомір – АМТ -300	В кінці процесу	≤15%
ТП 5.2 Очистка від газових домішок на мембранному фільтрі	Кількість домішок	Газовий аналізатор	В кінці процесу	≤1.5-2%
ТП 6.2 Декантація	Вологість	Вологомір – АМТ -300	В кінці процесу	≤85%

Висновки до розділу 4

У даному розділі описано усі технологічні стадії та процеси, що відбуваються. На кожну стадію наведено вимоги та зв'язок з наступними стадіями. Описано матеріальний баланс виробництва з витратним розрахунком кожного компонента виробництва. Також охарактеризовано контрольні точки виробництва.

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ

1. Розрахунок маси целюлозовмісної сировини

$$Q(H_2) = 100 \text{ м}^3 / \text{добу} - \text{з ТЗ}$$

$$q \left(\frac{H_2}{\Gamma_{\text{соломи}}} \right) = 134 \text{ мл/Г} - \text{з ТЗ}$$

$$m(\text{соломи}) = \frac{Q(H_2)}{q \left(\frac{H_2}{\Gamma_{\text{соломи}}} \right)} = \frac{100}{0.000134} = 746\,268 \text{ г} = 746,3 \text{ кг.} \quad (5.1)$$

2. Розрахунок маси гною

За технологічним завданням масова частка гною становить 10% від маси соломи.

$$m(\text{гною}) = m(\text{соломи}) \times k(\text{гною}) = 746,3 \times 10\% = 74,7 \text{ кг} \quad (5.2)$$

3. Маса завантаження реактору.

$$m(\text{завантаження}) = m(\text{соломи}) + m(\text{гною}) = 746,3 + 74,7 = 821 \text{ кг.} \quad (5.3)$$

4. Розрахунок вологості

Вологість соломи становить від 15 до 65% за міжнародними даними [92]. Приймаємо значення у 35%.

Вологість гною великої рогатої худоби становить від 68 до 96% за міжнародними даними [93]. Приймаємо значення у 82%.

Вираховуємо масове співвідношення гною та соломи:

$$\rho_{\text{гною}} = \frac{m(\text{гною})}{m(\text{завантаження})} = \frac{74,7}{821} \times 100\% = 9,1\% \quad (5.4)$$

$$\rho_{\text{соломи}} = \frac{m(\text{соломи})}{m(\text{завантаження})} = \frac{746,3}{821} \times 100\% = 90,9\% \quad (5.5)$$

$$W_{\text{завантаження}} = \frac{\rho_{\text{соломи}} \times W_{\text{соломи}} + \rho_{\text{гною}} \times W_{\text{гною}}}{100} = \frac{90,9 \times 35 + 9,1 \times 82}{100} = 39,3\%. \quad (5.6)$$

					МД ББ21.10.000 ПЗ				
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ		Літ.	Арк.	Акроніви
Розроб.		Кінаш М.В.					49	114	
Перевір.							"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		
Реценз.									
Н. Контр.									
Затверд.		Голуб Н.Б.							

5. Розрахунок необхідної маси води

Процес зброджування соломи відбуватиметься при загальній вологості завантаженого вмісту 97%.

$$\begin{cases} W_{\text{реакт}} = \frac{W_{\text{завантаження}} \times x + W_{\text{H}_2\text{O}} \times y}{100} \\ x + y = 100 \end{cases} \quad (5.7)$$

$$\begin{cases} 97 = \frac{39.3 \times x + 100 \times y}{100} \\ x + y = 100 \end{cases} \quad (5.8)$$

$$\begin{cases} 97 = \frac{39.3 \times x + 100 \times y}{100} \\ x = 100 - y \end{cases} \quad (5.9)$$

$$97 = \frac{39.3 \times (100 - y) + 100 \times y}{100} \quad (5.10)$$

$$y = \frac{57700}{607} \quad (5.11)$$

$$x = 100 - \frac{57700}{607} = \frac{3000}{607} \quad (5.12)$$

$$(x, y) = (4.94, 95.05) \quad (5.13)$$

X – m(завантаження)

Y – m(H₂O)

4.94 – 821

95.05 – x

$$x = \frac{821 \times 95.05}{4.94} = 15796,7 \text{ кг} \quad (5.14)$$

m(H₂O) = 15796.7 кг.

6. Визначення об'єму завантаження

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{15796.7}{1} = 15796.7 \text{ дм}^3 = 15.796 \text{ м}^3 \quad (5.15)$$

Р_{соломи} за методичними даними становить від 150 до 380 кг/м³. Виходячи з цього, для подальших розрахунків приймаємо значення 300 кг/м³ або 0,3 кг/дм³[92].

$$V_{\text{завантаження}} = \frac{m_{\text{завантаження}}}{\rho_{\text{соломи}}} = \frac{821}{0,3} = 2737 \text{ дм}^3 = 2,73 \text{ м}^3 \quad (5.16)$$

$$V_{\text{загальний}} = V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{завантаження}} = 15.796 + 2.73 = 18.526 \text{ м}^3 \quad (5.17)$$

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

7. Визначення об'єму реактора

Коефіцієнт завантаження реактору приймаємо як 90%.

$$V_{\text{реактора}} = \frac{V_{\text{загальний}}}{k_{\text{завантаження}}} = \frac{18.526}{0.9} = 21 \text{ м}^3 \quad (5.18)$$

8. Розрахунок геометричних параметрів метантенку

Приймаємо ширину (діаметр) метантенку як 3 м. Звідси висота:

$$H = \frac{V}{\pi r^2} = \frac{21}{3,14 \times 1,5^2} = 2,97 \text{ м} = 3 \text{ м}. \quad (5.19)$$

Отже параметри метантенку:

- Ширина – 3 м
- Висота – 3 м

9. Добовий вихід водню

$$q \left(\frac{H_2}{\Gamma_{\text{соломи}}} \right) = 134 \text{ мл/}\Gamma - \text{з ТЗ}$$

$$0,001 \text{ кг} - 0,134 \text{ л } H_2$$

$$821 - x \text{ л } H_2$$

$$x = \frac{821 \times 0.134}{0.001} = 110014 \text{ л} = 110,014 \text{ м}^3 \quad (5.20)$$

10. Річний вихід водню

$$V_{\Gamma} = m_{\text{соломи}} \times q \left(\frac{H_2}{\text{соломи}} \right) \times 365 \quad (5.21)$$

де: V_{Γ} – річний вихід водню, м^3 ;

$q \left(\frac{H_2}{\Gamma_{\text{соломи}}} \right)$ – вихід водню з одиниці маси соломи, $\text{мл/}\Gamma$;

$M_{\text{соломи}}$ – маса пшеничної соломи, кг .

Звідси:

$$V_{\Gamma} = 763,2 \times 0,134 \times 365 = 37328,1 \text{ м}^3. \quad (5.22)$$

11. Визначення виходу залишкової продукції

Річний вихід твердої фракції визначається за формулою:

$$M_{\text{ш,річне}} = Q_{\Gamma \text{ річне}} \times \frac{W_q - W_{\Gamma}}{W_q - W_{\text{ш}}}, \quad (5.23)$$

Де $M_{\text{ш,річне}}$ – річна маса шламу, т ;

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$Q_{г\text{ річне}}$ – річний вихід пшениці, т;

W_q – вологість рідкої фракції, % (98%);

$W_{г}$ – вологість пшениці, що завантажується, % (35%);

$W_{ш}$ – вологість шламу, % (87%).

Звідси:

$$M_{ш,річне} = 272,4 \times \frac{98 - 35}{98 - 87} = 1560 \text{ т}, \quad (5.24)$$

Відносний вихід шламу:

$$M_{ш,річне} = \frac{M_{ш,річне} \times 100}{Q_{г\text{ річне}}}, \quad (5.25)$$

Звідси:

$$M_{ш,річне} = \frac{1560 \times 100}{272,4} = 572,7 \text{ т}, \quad (5.26)$$

Добовий вихід шламу визначаємо за формулою:

$$M_{ш,добове} = \frac{M_{ш,річне}}{335}, \quad (5.27)$$

Звідси:

$$M_{ш,добове} = \frac{1560}{335} = 4,65 \text{ т}. \quad (5.28)$$

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Висновки до розділу 5

У даному розділі було проведено основні розрахунки виробництва. Визначено вихід шламу, що становить 4.65 т/рік, масу завантаження реактору – 821 кг, геометричні параметри реактору – 3х3 м, добовий вихід водню – 110,014 м³, річний вихід водню -- 37328,1 м³ з одного реактору.

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ СТАДІЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ

На підставі аналізу особливостей технологічного процесу отримання біоводню з целюлозовмісної сировини методом анаеробної темної ферментації, його апаратурного оформлення та норм технологічного режиму необхідно забезпечити такий рівень автоматизації виробництва:

- контроль та регулювання витрати асоціації продуцентів з активного мулу з І-11 до ферментеру-25 на вході в ферменгер;
- контроль та регулювання витрати продуценту роду Clostridium з І-15 до Ф-25 на вході в ферменгер;
- контроль та регулювання витрати продуцент роду Bacillus з І - 19 до Ф-25 на вході в ферменгер;
- контроль та регулювання витрати субстрату через Дозатор-24 до Ф-25 на вході в ферменгер;
- контроль та регулювання температури суміші у ферменгері;
- контроль та регулювання рН суміші у ферменгері;
- контроль рівня суміші у ферменгері;
- контроль перепаду тиску у ферменгері.

Параметри контролю та регулювання виробництва представлено у таблиці 6.1.

					МД ББ21.10.000 ПЗ					
Змн	Лис	№ докум.	Підпис	Дат	РОЗДІЛ 6 АВТОМАТИЗАЦІЯ СТАДІЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ					
Розроб.		Кінаш М.В.						Літ.	Арк.	Акронів
Перевір.									54	114
Реценз.								"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		
Н. Контр.										
Затверд.		Голуб Н.Б.								

Таблиця 6.1 – Параметри контролю та регулювання виробництва

№ пор.	Назва стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Назва контролюваного чи регульованого параметра	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до рівня автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Ферментер	Витрата Температура рН Рівень Перепад тиску	- 33-37 °С 5.5...6 рН 10 м -	контроль, регулювання, сигналізація

6.2 Опис розробленої схеми автоматизації відділення

Щоб забезпечити належну роботу усього технологічного устаткування, збільшити продуктивність виробництва, підвищити якість продукту, стабілізацію, контроль та реєстрацію технологічних параметрів, а також мінімізувати можливі помилки технологічного персоналу розроблено схему автоматизації. Включає низку контурів автоматичного контролю та регулювання режимних параметрів технологічного процесу.

Для контролю та регулювання витрати витрати асоціації продуцентів з активного мулу з І-11 до Ф-25 на вході в ферментер розроблено контур 1, який включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: діафрагма камерна (1-1), дифманометр безшкальний із квадратичною функцією перетворення (1-2), прилад вторинний пневматичний показувальний реєструвальний, зі станцією керування (1-3), регулятор пневматичний пропорціонально-інтегральний (система СТАРТ) (1-4), механізм виконавчий пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і боковим дублером (1-5).

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Для контролю та регулювання витрати продуценту роду Clostridium з I-15 до Ф-25 на вході в ферментер розроблено контур 2, який включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: діафрагма камерна (2-1), дифманометр безшкальний із квадратичною функцією перетворення (2-2), прилад вторинний пневматичний показувальний реєструвальний, зі станцією керування (2-3), регулятор пневматичний пропорціонально-інтегральний (система СТАРТ) (2-4), механізм виконавчий пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і боковим дублером (2-5).

Для контролю та регулювання витрати продуценту роду Bacillus з I - 19 до Ф-25 на вході в ферментер розроблено контур 3, який включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: діафрагма камерна (3-1), дифманометр безшкальний із квадратичною функцією перетворення (3-2), прилад вторинний пневматичний показувальний реєструвальний, зі станцією керування (3-3), регулятор пневматичний пропорціонально-інтегральний (система СТАРТ) (3-4), механізм виконавчий пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і боковим дублером (3-5).

Для контролю та регулювання витрати субстрату через Дозатор-24 до Ф-25 на вході в ферментер розроблено контур 4, який включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: діафрагма камерна (4-1), дифманометр безшкальний із квадратичною функцією перетворення (4-2), прилад вторинний пневматичний показувальний реєструвальний, зі станцією керування (4-3), регулятор пневматичний пропорціонально-інтегральний (система СТАРТ) (4-4), механізм виконавчий пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і боковим дублером (4-5).

Для контролю та регулювання температури суміші у ферментері розроблено контур 5. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: термоперетворювач опору платиновий (5-1), автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний прилад з вбудованим ПІД-регулятором (5-2), регулювальний клапан (5-3).

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для контролю та регулювання рН суміші у ферментері розроблено контур 6, який включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: чутливий елемент рН-метра заглибного виконання (6-1), перетворювач високоомний (6-2), автоматичний показувальний і реєструвальний прилад з вбудованим ПІД-регулятором (6-3), регулювальний клапан (6-3).

Для контролю рівня суміші у ферментері розроблено контур 7. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: радарний рівнемір (7-1), автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний прилад (7-2), сигнальна лампочка (HL1).

Для контроль та сигналізації перепаду тиску у ферментері розроблено контур 8. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: вимірювальний тензоперетворювач різниці тисків (8-1), автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад (8-2), сигнальна лампочка (HL2). Задля регулювання тиску в апараті передбачено штуцер аварійного скидання.

Контур для дистанційного керування роботою електромотору М1 забезпечує дистанційне вмикання і вимикання живлення. Вмикання виконується за допомогою кнопки SB2, яка має назву «ПУСК». При натисканні загоряється сигнальна лампочка HL4 зеленим кольором. Вимикання виконується за допомогою кнопки SB1, яка мають назву «СТОП». При натисканні загоряється сигнальна лампочка HL3 червоним кольором. Також контур містить кнопку запобіжного вимикання SA1.

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Висновки до розділу 6

У даному розділі було розроблено та описано автоматизацію метантенку. Наведено необхідне обладнання для контролю витрати – дифранометр безшкальний, температури – термоперетворювач опору платиновий, рН – чутливий елемент рН метра заглибного використання, рівня суміші – радарний рівнемір, перепаду тиску – тензоперетворювач вимірювальний.

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ

Основний фокус дослідження в галузі охорони праці - це вивчення робочого процесу людини, умов праці та виробничого середовища, співвідношення між працівником та промисловим обладнанням, технологічними процесами, організацією праці та виробництвом.

Дотримання норм та вимог у сфері охорони праці та довкілля стоїть перед промисловими підприємствами, як одне з ключових завдань. Оскільки, дотримання цих вимог сприяє створенню безпечних умов праці для працівників на підприємстві.

У процесі планування комунікацій та архітектурного концепту виробництва варто звернути увагу на норми охорони довкілля та праці. Для того аби забезпечити персоналу відповідний рівень безпеки від промислових чинників, що загрожують здоров'ю, встановити правильні сигнальні системи та налагодити механізм переробки відходів, доставки прекурсорів та правил поведінки з обладнанням, матеріалами та реактивами.

Допуск до самостійної роботи отримують особи, що пройшли інструктаж з техніки безпеки, спеціалізоване навчання та склали іспит, мають підтвердження про належний стан здоров'я медичною комісією, а також є повнолітніми. Раз на півроку виробничий персонал має проходити повторний інструктаж з охорони праці та пожежної безпеки.

Вимоги безпеки, яким має відповідати технологічний процес на виробництві, викладені у ДСТУ ГОСТ 12.0.230:2008 Система стандартів безпеки праці. Системи управління охороною праці. Загальні вимоги.

					МД ББ21.10.000 ПЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ	Літ.	Арк.	Акронів
Розроб.		Кінаш М.В.					59	114
Перевір.								
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Голуб Н.Б.				"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		

ДСТУ 4516:2006. Енергоощадність. Поновлювані джерела енергії. Установки біогазові. Загальні технічні вимоги. Дана нормативна документація визначає норми та правила створення, та експлуатації біогазових установок, в яких відбувається основний технологічний процес на виробництві.

Біоводень, що виробляється в процесі ферментації сировини, є вибухонебезпечною речовиною, що вимагає певних норм поведінки на виробництві. Усі резервуари з біоводнем мають бути щільно закриті та зберігатись у певній зоні складського приміщення. Кожне виробниче приміщення має бути обладнано вогнегасником відповідного до середовища типу. Біля еваковиходів повинні бути пожежні рукави.

Виробничі приміщення повинні бути обладнані вентиляцію, для запобігання накопичення шкідливих речовин у повітрі, тип вентиляції припливно-витяжний. Також необхідний доступ до водопровідної системи та каналізації з дотриманням усіх норм будівництва.

До небезпечних чинників, яким піддається персонал виробництва, можна віднести:

- Фізичні (слизька підлога, гострі краї корпусів обладнання, підвищений рівень шуму, перепади тиску)
- Хімічні (робота з концентрованими лугами та речовинами для обробки поверхонь приміщення та обладнання)
- Психологічні (довгий робочий день, низька кількість природнього світла, високий рівень шуму)

7.1. Мікроклімат робочої зони

Оптимальний мікроклімат у приміщеннях, де працюють та перебувають люди, визначається наступними показниками: для побутових приміщень - температура від 20 до 22°C взимку і від 20 до 25°C влітку, вологість від 40 до 30% взимку і від 30 до 61% влітку, швидкість руху повітря від 0.1 до 0.15 м/с. Щодо

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

виробничих приміщень, тут оптимальні показники: температура від 16 до 25°C, вологість від 30 до 60%, швидкість руху повітря від 0.2 до 0.7 м/с.

7.2. Виробниче освітлення

Згідно з ДБН В.2.5-28-2006 на підприємстві по отриманню біогазу освітлення повинне бути штучно комбінованим. При цьому пропонується біля основного обладнання встановити освітлення в 400 лк, показник дискомфорту при цьому не має становити більше ніж 40%. В лабораторіях та інших приміщеннях, що не стосуються прямого процесу отримання продукту, пропонується використати природне бокове та штучне освітлення. Планується використовувати штучне освітлення для сигналізації, евакуації та у випадку аварійних ситуацій за допомогою розжарювальних ламп V-220-15.

Ефективні умови праці залежать від правильного освітлення робочих місць і зони. Якщо освітлення виробничих приміщень спроектоване та підібране належним чином, працівники можуть тривалий час працювати, зберігаючи ясне бачення предметів та інструментів. Такі умови сприяють зменшенню травматизму та захворювань очей.

Недостатнє освітлення робочих зон може вплинути на якість виконаної роботи. Недоліки, такі як тріщини, подряпини, витоки рідин та механічні забруднення у робочому середовищі, можуть залишитися непоміченими, що підвищує ризик нещасних випадків. Погане освітлення також може стати причиною серйозних і навіть смертельних подій.

7.3. Пожежна безпека

Згідно з Законом України «Про пожежну безпеку», відповідальність за забезпечення пожежної безпеки на підприємстві покладається на його керівництво та уповноважених осіб, якщо інше не передбачено у відповідних угодах.

Можливими причинами пожежі можуть бути різні фактори, такі як протікання обладнання, порушення ізоляції проводів, вплив вологості або

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

агресивних речовин, несправність сигналізації, відкрите полум'я або навіть пряме ураження блискавкою тощо.

На виробництві обов'язково мають бути евакуаційні виходи та плани. Усі сходові клітки мають бути відкритими, не захарашченими. Експлуатація виробничого обладнання має проходити виключно з дотриманням інструкцій, наявність маркування та регламенту до кожної одиниці є обов'язковою. Кожне приміщення повинне бути забезпечене приладами для гасіння пожежі та відповідним інвентарем. Також необхідна наявність сигналізуючого обладнання задля вчасної реакції на задимлення.

7.4. Електробезпека

Електричне обладнання приміщення отримує живлення від трьохфазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму частотою 50 Гц із напругою 380/220 В, де нейтральна точка заземлена без підключення до зовнішнього середовища.

У відповідності з законодавством України, що регулює пожежну безпеку, забезпечення безпеки від пожеж на підприємстві покладено на керівництво та уповноважених осіб, якщо інше не передбачено відповідними угодами.

Причини ураження електричним струмом можуть включати випадковий контакт з відкритими електропровідними частинами, елементами обладнання під напругою через порушення ізоляції, а також вплив струму через електричну дугу. Електричний струм може спричинити опіки, порушення балансу організму, опік шкіри, вивихи та переломи, викликаючи м'язові спазми.

Для забезпечення безпечних умов для працівників, які працюють з електроустаткуванням, передбачено використання спеціальних засобів захисту. Працівники, які отримали ці засоби захисту для особистого використання, несуть відповідальність за їх правильне використання, зберігання та вчасне вилучення з експлуатації у разі несправності.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Усі засоби електрозахисту можна поділити на дві групи: основні та додаткові. До основних засобів електрозахисту відносяться: ізолюючі вставки та кліщі; вимірювачі напруги; ізоляційні рукавички; інструмент з ізольованим покриттям. До додаткових засобів електрозахисту відносяться: ізолююче взуття; ізолюючі килими; ізолюючі підставки; ізоляційні накладки; ізолюючі чохла; сигналізатори напруги; захисні бар'єри (щити, паркани); переносні заземлення; плакати та знаки безпеки; та інші засоби захисту. Крім цих засобів, необхідно використовувати індивідуальний захист, такий як: захисні каски для захисту голови; захисні окуляри та щитки для захисту очей та обличчя; протигази та респіратори для захисту дихальних шляхів; рукавички для захисту рук; ремені безпеки та захисні канати тощо.

7.5. Охорона довкілля

На виробництві біоводню з целюлозовмісної сировини, норми охорони довкілля можуть включати в себе кілька аспектів:

1. Відходи та обробка сировини: Збереження норм охорони довкілля передбачає правильну обробку відходів виробництва та утилізацію залишків целюлози для зменшення викидів та впливу на навколишнє середовище.
2. Енергоефективність: Підтримка енергоефективних методів виробництва, використання альтернативних джерел енергії та зменшення викидів вуглецю під час процесу виробництва біоводню.
3. Водні ресурси: Забезпечення відповідних методів очищення води, яка використовується у процесі виробництва, та зменшення викидів забруднюючих речовин у водні джерела.
4. Викиди та гази: Контроль за викидами газів у атмосферу, в тому числі кількість вуглекислого газу та інших токсичних речовин, що виділяються під час процесу виробництва.
5. Безпека праці: Забезпечення безпечних умов для працівників, використання захисного обладнання та дотримання вимог безпеки для попередження травм та аварійних ситуацій.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Екологічні аудити та сертифікація: Проведення регулярних екологічних аудитів та відповідність нормам та стандартам екологічної безпеки, а також отримання сертифікатів на відповідність вимогам охорони довкілля.
7. Моніторинг та звітність: Ведення системи моніторингу за впливом виробництва на довкілля та регулярна звітність щодо викидів та заходів, які вживаються для їх зменшення.

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Висновки до розділу 7

У даному розділі наведено основні положення з охорони праці та навколишнього середовища. Описано основні вимоги щодо допуску до самостійної роботи, забезпечення електробезпеки, пожежної безпеки, мікроклімату робочого середовища, робочого освітлення. Також наведено норми щодо відходів та обробки сировини, енергоефективності, водних ресурсів, викидів газів, безпеки праці, моніторингу та звітності.

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

РОЗДІЛ 8. СТАРТАП ПРОЄКТ

Враховуючи постійну боротьбу за очищення екосистеми нашої планети, використання відходів інших виробництв задля отримання інших корисних речовин є дуже перспективним та прибутковим напрямом. Біоводень наразі широко використовується у хімічній промисловості. Звернувши увагу на новітні розробки двигунів внутрішнього згорання, що використовують водень як паливо, можна зрозуміти, що майбутнє за технологіями переробки відходів різноманітних виробництв. Джерелами сировини для обраної технології є пшенична солома, котру наша країна отримує в достатку при зборі врожаю.

Конкурентною перевагою є потенційне використання біоводню в якості палива, що значно зменшить потребу у бензині та дизелі.

Назва продукту: Отримання біоводню з целюлозовмісної сировини.

Мета проекту: Створення доступної технології переробки надлишкової пшеничної соломи у біоводень з подальшим комерційним використанням.

Об'єкт дослідження: технологія отримання біоводню з целюлозовмісної сировини.

Місце в інноваційному ланцюжку цінності розробки: Ідея-розробка. Клас 400068 переробляння відходів і сміття.

Цінність розробки: Переробка відходів сільськогосподарської діяльності та використанні отриманої продукції в якості відновлювального джерела енергії.

Суспільна цінність: Вирішення питання накопичення надлишкових відходів сільськогосподарської діяльності та отриманні прибутку з вироблених продуктів.

					МД ББ21.10.000 ПЗ			
Змн	Лис	№ докум.	Підпис	Дат	РОЗДІЛ 8 СТАРТАП ПРОЄКТ	Літ.	Арк.	Акровіє
Розроб.		Кінаш М.В.					66	114
Перевір.						"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Голуб Н.Б.						

Таблиця 8.1 – Резюме стартап-проекту

Показник	Характеристика
1. Сутність ідеї	Розробка технології отримання біоводню з целюлозовмісної сировини з подальшим збутом на ринку.
2. Наявність аналогів або прототипів ідеї	Аналогів в Україні немає.
3. Основна потреба, яку задовольнить реалізований стартап	Переробка відходів сільськогосподарської діяльності та насичення ринку доступним воднем для різних промисловостей.
4. Ступінь розробленості технології реалізації	Технологія розроблена та готова до реалізації.
5. Класифікація продукту стартапу за міжнародною класифікацією товарів	Хімікати, призначені для використання в промисловості. Паливо.
6. КВЕД, до якого може належати виробництво	КВЕД 35.21 Виробництво газу.
7. Очікувана потужність стартапу	Середнє підприємство
8. За масштабом виробництва	Масове
9. За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільне
10. За ресурсами, що споживатимуться	Працемістке, матеріаломістке, капіталомістке
11. За чисельністю персоналу	Середнє
12. Органи управління при реалізації стартапу	Національні

Продовження таблиці 8.1

Показник	Характеристика
<p>13.Бажане географічне розташування</p> <ul style="list-style-type: none"> -потужностей стартапу; -офісу стартапу; -збутової мережі; -постачальників комплектуючих. 	<p>Розташування потужностей: Хмельницька область.</p> <p>Розташування офісу: м.Хмельницький.</p> <p>Збутова мережа: Україна.</p> <p>Постачальники комплектуючих: Україна, країни-члени ЄС.</p>
<p>14.Місце ідеї у ланцюжку цінностей інноваційного процесу</p>	<p>Переробка.</p>
<p>15.Гранична корисність ідеї стартапу</p>	<p>Отримання відновлювального джерела енергії та покращення навколишнього середовища.</p>
<p>16.Бізнес-модель стартапу</p>	<p>B2B</p>
<p>17.Конкуренти вітчизняні</p>	<p>На етапі реалізації.</p>
<p>18.Конкуренти іноземні</p>	<p>HyPOWER.</p> <p>Ціна: 2\$/м³.</p> <p>Етап: реалізований на ринку продукт.</p> <p>Конкурентні переваги: швидший доступ до новітнього устаткування та технологій.</p> <p>Фактори успіху: підвищена дотація національними органами влади на виробництво відновлювальних джерел енергії, швидший розвиток матеріальної бази за рахунок фінансування.</p>

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Продовження таблиці 8.1

Показник	Характеристика
19.Ключові фактори успіху стартапу	Легкий доступ до сировини, залученість інвесторів різноманітних еко-проектів, рециркуляція відходів сільськогосподарської промисловості.
20.Споживачі	Хімічні підприємства, компанії по збуту топлива.
21.Планова кількість продукту розробки для першого етапу реалізації	1 095 000 м ³
22.Мінімальна кількість виробництва за методом точки беззбитковості	100 м ³ біоводню за добу з однієї установки.
23. Споживачі на етапі розвитку	Хімічні підприємства та лабораторії
24.Споживачі на етапі зрілості	Компанії по збуту топлива
25.Конкурентна ціна на продукт стартапу	10,2 (грн/м ³ з ПДВ)
26.Плановий рівень рентабельності при реалізації продукту	102,13%
27.Капіталовкладень в проект	18 млн грн
28.Період повернення капіталовкладень у проект	1-3 роки
29.Джерела фінансування	Зовнішнє, внутрішнє, іноземне, національне.
30.Основні компоненти продукції стартапу	Пшенична солома, активний річковий мул, гній ВРХ

Продовження таблиці 8.1

Показник	Характеристика
31.Потенційні постачальники складових компонентів розробки	Потенційними постачальниками складових компонентів є вітчизняні виробники.
32.Планове місце реалізації результату розробки	Міста з високою долею виробництва пшениці.
33.Наявність посередників при реалізації	Відсутня
34.Методи просування результатів розробки на ринок	Особистий продаж

Таблиця 8.2 – Аналіз загроз і можливостей зовнішнього середовища

Загрози	Можливості
Економіка	
1. Процес інфляції 2. Низьке фінансування	1. Здешевшення ціни на зарубіжні компоненти устаткування 2. Залучення більшої кількості іноземних інвесторів
Політика	
1. Загроза обстрілів та погіршення військового положення країни 2. Неприятлива політика щодо відновлювальних джерел енергії та переробки сировини	1. Можливі замовлення від військово-промислового комплексу. 2. Продаж продукції або технології закордон

Продовження таблиці 8.2

Загрози	Можливості
Науково-технічний прогрес	
1. Відсутність вітчизняної технічної бази 2. Недостатня кваліфікація персоналу 3. Конкуренція з країнами Європи за технології	1. Можливість заключення договорів про співпрацю з зарубіжними виробниками 2. Проведення всеукраїнських семінарів задля підвищення кваліфікації та залучення нового персоналу 3. Розвиток нових технологічних рішень

Таблиця 8.3 – Аналіз факторів зовнішнього оперативного середовища

Фактор	Переваги	Недоліки
Виробник, постачальник	Легкий доступ до сировини Наявність місцевих постачальників Невисокий рівень кваліфікації	Наявність схожих чи аналогічних продуктів Високі затрати капіталу Високий контроль за обладнанням та ціна його обслуговування
Споживачі	Можливість переходу з викопних палив на альтернативні Екологічність та очистка середовища	Недостатня проінформованість суспільства Дороговизна транспортних засобів на водні

Продовження таблиці 8.3

Фактор	Переваги	Недоліки
Посередники	Розширення ринку альтернативної енергії Доступ до вітчизняного водню для хімічної промисловості	Залежність від політичної ситуації в країні
Конкуренти	Доступна технологія та сировина	Боротьба за сировину Витрати на рекламні кампанії

Таблиця 8.4 – Аналіз зацікавлених сторін

Зацікавлена сторона	Вплив на реалізацію проекту	Цікавість до проекту	Загальний коефіцієнт впливу на проект
Суб'єкти зовнішнього оперативного середовища			
Виробник	10	10	1
Постачальник	10	8	0,8
Споживачі	10	7	0,7
Посередники	7	7	1
Зовнішнє середовище			
Політичні структури	8	7	0,56
Суб'єкти економічного середовища	7	6	0,42

Продовження таблиці 8.4

Зацікавлена сторона	Вплив на реалізацію проекту	Цікавість до проекту	Загальний коефіцієнт впливу на проект
Власники географічних об'єктів	10	6	0,6
Суб'єкти НТП	10	8	0,8

Таблиця 8.5 – Переваги та недоліки внутрішнього середовища

Фактор	Переваги	Недоліки
Організаційна структура	-Чіткий організаційний поділ -Готовність до дій та ризиків	-Відсутність досвіду у організації проектів даного типу -Недостатня кваліфікація у методах організації такого бізнесу
Маркетинг	-Можливість реклами через екоактивізм -Часткова монополія на внутрішньому ринку	-Незадоволення компаній по нафтопереробці чи збуту нафтопродуктів -Нестача коштів на рекламу

Продовження таблиці 8.5

Фактор	Переваги	Недоліки
Виробництво	-Наявність легкодоступної сировини -Можливість розширення виробничих потужностей -Можливість експорту	-Дефіцит коштів -Проблеми з закупівлею обладнання -Виснаження матеріальної бази -Боротьба європейськими виробниками
Персонал	Наявність кваліфікованих людей на ринку	-Проблеми урегулюванням зарплатні

Таблиця 8.6 – Переваги та недоліки внутрішнього середовища

Фактор	Переваги	Недоліки
Організаційна структура	Побудова структури виробництва за новітніми стандартами та методами	Відсутність достатнього досвіду та кваліфікації у певних учасників керівної ланки
Маркетинг	Монополія на внутрішньому ринку	Труднощі створення іміджу компанії Дороговизна реклами
Виробництво	Легкодоступність матеріалів Створення більшої кількості виробництв	Можливе виснаження матеріальної бази Боротьба за ресурси

Продовження таблиці 8.6

Фактор	Переваги	Недоліки
Персонал	Чіткість дій та готовність до нестандартних екстрених ситуацій	Нестача персоналу певної кваліфікації на ринку

Визначення ключових факторів успіху проекту

Аналізуючи фактори зовнішнього та внутрішнього середовища, було визначено ключові фактори виробництва біоводню з целюлозовмісної сировини. До розгляду було прийнято ті фактори, котрі безпосередньо знаходяться під впливом компанії під час виробництва.

Таблиця 8.7 – Оцінка характеристики за методом Шонфільда

Характеристика	Коефіцієнт вагомості характеристики	Бальна оцінка характеристик		
		Наша продукція	Конкурент А	Конкурент Б
Ефективність підприємства	0.2	5	5	5
Доступність сировини	0.2	5	3	3
Обслуговування	0.3	4	2	3
Можливість реалізації	0.3	5	3	5

З урахування коефіцієнту вагомості характеристики визначаємо бальну оцінку кожної характеристики для продукції нашої та конкурентів:

Характеристика	Бальна оцінка характеристик		
	Наша продукція	Конкурент А	Конкурент Б
Ефективність підприємства	$0.2*5=1$	$0.2*5=1$	$0.2*5=1$
Доступність сировини	$0.2*5=1$	$0.2*3=0.6$	$0.2*3=0.6$
Обслуговування	$0.3*4=1.2$	$0.3*2=0.6$	$0.3*3=0.9$
Можливість реалізації	$0.3*5=1.5$	$0.3*3=0.9$	$0.3*5=1.5$

На підставі отриманих бальних оцінок будемо графік порівняння конкурентних переваг нашого підприємства з конкурентами.

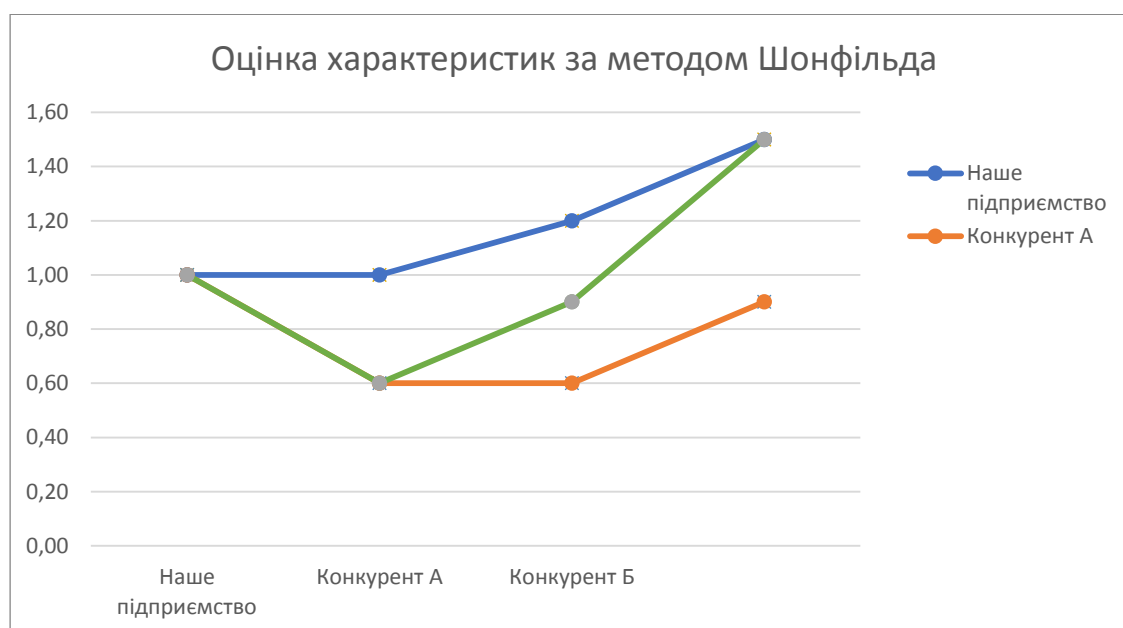


Рисунок 8.1 – Порівняння конкурентних переваг підприємства з конкурентами.

Завдяки даному графіку визначено, що обрана технологія та стратегія виробництва є більш привабливою та успішною, аніж технології конкурентів.

Враховуючи отримані дані по ключовим факторам, зформуємо можливі варіанти розвитку.

Таблиця 8.8 – Можливі варіанти розвитку стартапу

Варіант	Стислий опис можливого розвитку
1. Продаж технології або стартапу	Можливе отримання прибутку від продажу технології зарубіжним підприємствам з подальшою спільною роботою над покращенням механізму отримання біоводню.
2. Реалізація стартапу	Розробка та реалізація технології, що дозволяє зайняти перше місце на ринку виготовлення біоводню з целюлозовмісної сировини та створення монополії.

Таблиця 8.9 – Класифікація потенційних споживачів

Критерій	Значення
1. Юридична особа	
1. Форма власності	Приватне, змішане
2. КВЕД	С-переробна промисловість D-Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря 35.21 Виробництво газу
3. За потужністю	Середні
4. За масштабом	Масове
5. За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільні
6. За ресурсами	Працемістки

Продовження таблиці 8.9

Критерій	Значення
7. За чисельністю персоналу	Середні
8. За сферою діяльності	Виробничі
9. За приналежністю капіталу і контролю	Національні
10. За географічним розташуванням	На території України
11. За віддаленістю органів управління	Національні
12. За характером господарської діяльності	Промисловості
13. За рівнем технологічної цілісності	Філії
14. За долею іноземного капіталу	<45%
15. За формуванням статутного капіталу	Корпоративні
16. За організацією виробничих процесів	Безперервні
17. За роботою протягом року	Позасезонні
18. За географічним розташуванням на території України	Україна
19. За наявністю вільних ОБЗ	
20. За динамікою розвитку регіону розташування юридичної особи: - Регіон - Чисельність населення - Динаміка росту регіону - Структура регіону - Правові обмеження торгівлі	Розташування лише у великих містах

Продовження таблиці 8.9

Критерій	Значення
2. Фізична особа	
1. Вік	Особи, котрі досягли повноліття
2. За платоспроможністю	Всі
3. За соціальним рівнем споживачів	Будь-який
4. За способом життя <ul style="list-style-type: none"> - Фізичні - Психологічні - Емоційні - Духовні - Соціальні - Інтелектуальні 	Всі
5. Тип особистості споживачів	Всі
6. За ставленням до товару <ul style="list-style-type: none"> - Мотивація придбання - Пошук вигоди - Ставлення до товару - Інформованість про товар - Інтенсивність споживання товару 	-Зменшення використання нафтопродуктів у виді топлива -Зменшення відходів -Розуміюче та позитивне -Інформованість середня -Зростаюча інтенсивність
7. За сімейними цінностями	Будь-який
8. За співвідношенням бажання придбати і цінової межі	10,2 грн/м ³
9. За інтенсивністю споживання товару <ul style="list-style-type: none"> - Разове придбання - Періодичне придбання - Систематичне придбання 	Систематичне придбання
10. За інформованістю	Середній рівень інформованості про тип продукту

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ББ21.10.000 ПЗ

Арк.

79

Таблиця 8.10 – Паспорт потенційного клієнта

Характеристика	Значення	Примітка
Організаційно-правова форма	-	
Класифікація -за потужністю -за чисельністю персоналу -за обсягом виробництва -за сезонністю виробництва -інше	Середнє Середнє Масове Позасезонне	
Розташування -місто -сміт -село -інше	Великі міста з населенням більше 80 тис.	
Вид продукту, який потрібен споживачеві	Біоводень	
Призначення придбаної розробки -за призначенням -інше	За призначенням	
Класифікація персоналу підприємства -робочі -службовці -керівники	-робочі -службовці -керівники -спеціалісти	
Потенційний обсяг споживання розробки -одиниця -1 – 5 -інше	М ³	
Хто приймає рішення про придбання розробки (узагальнена характеристика працівника)	Директор виробництва	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ББ21.10.000 ПЗ

Арк.

80

Таблиця 8.11 – Запланований обсяг реалізації стартап-продукту (товарів, послуг)

Запланований обсяг	30 500 м ³ січень 2024	30 500 м ³ лютий 2024	30 500 м ³ березень 2024	30 500 м ³ квітень 2024	30 500 м ³ травень 2024	30 500 м ³ червень 2024	30 500 м ³ липень 2024	30 500 м ³ серпень 2024	30 500 м ³ вересень 2024	30 500 м ³ жовтень 2024	30 500 м ³ листопад 2024	30 500 м ³ грудень 2024
--------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

Таблиця 8.12 – Проектні ціни продажу ідеї, технології, методики, програми

Найменування товару	Планові обсяги продажу		Аналоги, прототипи	
	Кількість, од	Ціна, грн/од	Кількість, од	Ціна, грн/од
Біоводень	м ³	10, 2	Природний газ за м ³	7.99

Основні методи ціноутворення:

1. Метод, орієнтований на витрати:

$$Ц = С + \text{фіксований відсоток прибутку (від собівартості)} \text{ [грн/од]}$$

(або середня норма прибутку до даному виду товару),

де Ц – прогнозована ціна товару, грн/од,

С – розрахована автором ідеї, технології, методики очікувана собівартість товару, грн/од.

$$Ц = 10.2 + 10.2 * 0.4 = 8.16 \text{ грн/м}^3$$

2. Параметричний метод

$$C_{\text{нovoї моделі}} = C_{\text{базової моделі}} \times \frac{\text{Балова оцінка нової моделі}}{\text{Балова оцінка базової моделі}} \text{ (грн/од)}$$

Таблиця 8.13 – Розрахунок ціни

Продукт	Параметри								Балова оцінка
	Обслуговування обладнання		Ефективність підприємства		Доступність сировини		Можливість реалізації		
	бали	коефіцієнти	бали	коефіцієнти	бали	коефіцієнти	бали	коефіцієнти	
Аналог	45	0.3	57	0.2	37	0.2	39	0.3	44
Новий	55	0.3	63	0.2	40	0.2	43	0.3	50

$$C_{\text{нovoї моделі}} = 10.2 \times \frac{50}{44} = 11.6 \text{ (грн/од)}$$

Виходячи з отриманих розрахунків встановлюємо ціну 11,6 грн/од., котра покриє ПДВ, надасть мінімальний прибуток і є конкурентною на ринку.

3. Точка беззбитковості

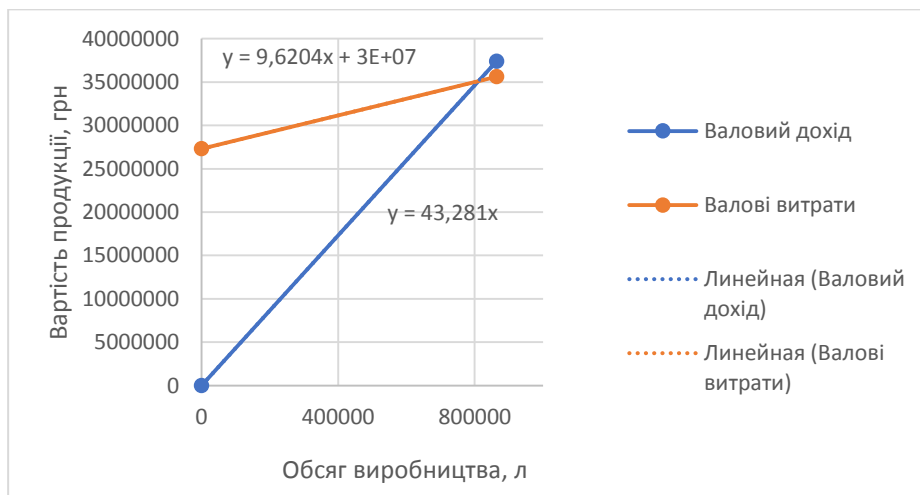


Рисунок 8.2 – Графік точки беззбитковості

При ціні в 10.2 грн/м³ біоводню точка безбитковості наступає при виготовленні 81250 м³.

Таблиця 8.14 – Калькуляція собівартості стартап-продукту

№ п/п	Етап розробки/елемент собівартості	Кількісний показник	Вартісний показник
1	Етап розробки ідеї -сировина, матеріали -амортизація -заробітна плата і нарахування ЄСВ -електроенергія, паливо Собівартість з 1 м ³		-8700 грн/доба -3451,23 грн/доба -60000 грн/рік -22000 грн/міс -2,64 Квт*год -8,2 грн/м ³
2	Етап ринкового дослідження -сировина, матеріали -амортизація -заробітна плата і нарахування ЄСВ -електроенергія, паливо		-8700 грн/доба -3451,23 грн/доба -60000 грн/рік -22000 грн/міс -2,64 Квт*год -8,2 грн/м ³
3	Етап впровадження -сировина, матеріали -амортизація -заробітна плата і нарахування ЄСВ -електроенергія, паливо		-8700 грн/доба -3451,23 грн/доба -60000 грн/рік -22000 грн/міс -2,64 Квт*год -8,2 грн/м ³
4	Етап виходу на планову потужність -сировина, матеріали -амортизація -заробітна плата і нарахування ЄСВ -електроенергія, паливо		-8700 грн/доба -3451,23 грн/доба -260000 грн/рік -22000 грн/міс -2,64 Квт*год -8,2 грн/м ³

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ББ21.10.000 ПЗ

Арк.

83

Таблиця 8.15 – Забезпеченість проекту основними засобами

Місце ОЗ у технологічному процесі	Назва ОЗ	Повна початкова вартість ОЗ	Плановий період експлуатації ОЗ	Очікуваний постачальник	Джерело фінансування, придбання
Комунікації	Трубопроводи	300000	10 років	Kofulso	Кредит
Виробництво	Обладнання	1,2 млн.грн.	10 років	ПБГ «Ковальська»	Кредит

Таблиця 8.16 – Забезпеченість проекту оборотними фондами

Група ОбФ	Назва	Норма витрати на рік	Ціна, грн/од	Очікувальний постачальник	Джерело фінансування
Сировина і матеріали	Сировина	6 т	4200 за 100 кг	Сільськогосподарські підприємства	Держава

Таблиця 8.17 – Забезпеченість проекту трудовими ресурсами

Категорія кадрів	Назва посади	Чисельність за списком на посаді	Кваліфікаційні вимоги	Плановий рівень заробітної плати	Джерело фінансування ФОП
Робочі основні	Апаратник	6	Професійна освіта за фахом	ЗП: 13570 ЄСВ: 5330 Загалом: 18900	За кошт підприємства

									Арк.
									84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД ББ21.10.000 ПЗ				

Продовження таблиці 8.17

Категорія кадрів	Назва посади	Чисельність за списком на посаді	Кваліфікаційні вимоги	Плановий рівень заробітної плати	Джерело фінансування ФОП
Робочі допоміжні	Прибиральник	3	Середня спеціальна освіта	ЗП: 11700 ЄСВ: 3300 Загалом: 15000	За кошт підприємства
	Слюсар-ремонтник	2	Професійна освіта за фахом	ЗП: 13 884 ЄСВ: 3916 Загалом: 17800	За кошт підприємства
	Слюсар-електронщик	2	Професійна освіта за фахом	ЗП: 13 884 ЄСВ: 3916 Загалом: 17800	За кошт підприємства
Спеціалісти	Інженер-технолог	3	Повна вища освіта за відповідною кваліфікацією	ЗП: 17550 ЄСВ: 4950 Загалом: 22500	За кошт підприємства
	Технік-технолог	3	Повна вища освіта за відповідною кваліфікацією	ЗП: 15600 ЄСВ: 4400 Загалом: 20000	За кошт підприємства
Керівники	Начальник дільниці	3	Повна вища освіта за відповідною кваліфікацією	ЗП: 27300 ЄСВ: 7700 Загалом: 35000	За кошт підприємства

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ББ21.10.000 ПЗ

Арк.

85

Продовження таблиці 8.17

Категорія кадрів	Назва посади	Чисельність за списком на посаді	Кваліфікаційні вимоги	Плановий рівень заробітної плати	Джерело фінансування ФОП
	Начальник виробництва	1	Повна вища освіта за відповідною кваліфікацією	ЗП:29640 ЄСВ:8360 Загалом: 38000	За кошт підприємства
Сума				185000	

Розрахунок фонду оплати праці на рік:

$$\text{ФОП} = 12 * \text{ЗП} = 12 * 185000 = 2\,220\,000 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 8.18 – Техніко-економічні показники проекту

Показники	Одиниця виміру	Умовне позначення, формула розрахунку
1. Річний обсяг реалізації ідеї, технології, методики	м ³	366 000
2. Середньорічна чисельність персоналу за списком	Осіб	25
3. У тому числі	Осіб	6
- основних		7
- допоміжних		6
- інженерно-технічного персоналу		4
- керівники		

Продовження таблиці 8.18

Показники	Одиниця виміру	Умовне позначення, формула розрахунку
4. Середньорічний виробіток робітника	м ³ /добу	14 640
5. Капіталовкладення у проект	грн	6012300
6. Повна собівартість	грн/м ³	8614400
7. Відносний прибуток	грн	7395120
8. Рентабельність	%	102, 13
9. Період повернення капіталовкладень	років	2 роки
10. Фондовіддача виробничих фондів	грн./грн	1,243
11. Фондоємкість	грн/грн	0,75
12. Продуктивність праці	$\frac{\text{м}^3}{\text{люд.} \times \text{год}}$	1,694
13. Коефіцієнт економічної ефективності	-	1,23

Таблиця 8.19 – Карта бізнес процесів виконання стартап-проекту

Стадія реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Характеристики		
		Задіяні ресурси	Орієнтовна тривалість процесу	Верхня межа фінансових витрат
Розробка ідеї стартапу	Розробка стартап-проекту	Робота розробників	1.5 місяці	15000

Продовження таблиці 8.19

Стадія реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Характеристики		
		Задіяні ресурси	Орієнтовна тривалість процесу	Верхня межа фінансових витрат
Реалізація ідеї	-Підписання юридичних угод, контрактів -Закупівля матеріалів та обладнання -Підведення комунікацій -Будівництво основних виробничих споруд -Тестування та введення в експлуатацію	Робота керівної ланки, основного персоналу та компаній по будівництву	6 місяців	750000
Впровадження у виробництво	Продаж біоводню Продаж добрив Придбання запасних частин та додаткових матеріалів	Робота персоналу виробництва та керівників	1 рік	6 млн
Масова реалізація	Продаж біоводню Продаж добрив Придбання запасних частин та додаткових матеріалів	Робота персоналу виробництва та керівників	1 рік	550000

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ББ21.10.000 ПЗ

Арк.

88

Таблиця 8.20 – Системний аналіз бізнес процесів стартапу

Функції	Елементи						
	Розробник	Начальник станції	Заступник начальника станції	Начальник зміни	Спеціалісти	Робочі основні	Робочі допоміжні
Підписання юридичних угод	+	-	-	-	-	-	-
Закупівля матеріалів та обладнання	+	+	+	+	-	-	-
Підведення комунікацій	-	-	-	-	+		+
Будівництво основних виробничих споруд	-	-	-	-	+		+
Тестування та введення в експлуатацію	-	+	+	+	+	+	+
Придбання запасних частин та додаткових матеріалів	-	+	+	+	-	-	-
Продаж біоводню	-	+	-	-	-	-	-
Продаж добрив	-	+	-	-	-	-	-

Таблиця 8.21 – Ризики інноваційної розробки

Назва процесу/стадії реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Зовнішні ризики	Внутрішні ризики
Розробка стартапу	Розробка плану та ідеї стартапу	Погіршення попиту на продукцію	Низький рівень зацікавленості у створенні виробництва

Продовження таблиці 8.21

Назва процесу/стадії реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Зовнішні ризики	Внутрішні ризики
Реалізація плану	Підписання юридичних документів	Ускладнення з закупівлею землі, отриманням дозволів на виробництво. Ускладнення з пошуком інвесторів та отриманням фінансування від держави	Негативні настрої персоналу
	Закупівля матеріалів та обладнання	Інфляція та ріст цін на ринку	Дефіцит бюджету компанії
	Підведення комунікацій	Зміна закупочної ціни Проблеми з комунальними підприємствами Труднощі через географічне розташування	Ризик зриву побудови підприємства Дефіцит бюджету компанії
	Будівництво основних виробничих споруд	Зміна ціни на матеріали Зрив контракту з забудовником	Ризик зриву побудови підприємства Дефіцит бюджету компанії

Продовження таблиці 8.21

Назва процесу/стадії реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Зовнішні ризики	Внутрішні ризики
Впровадження у виробництво	Продаж біоводню	Зміна пріоритетів зацікавлених сторін Відсутність попиту	Низький рівень мотивації праці
	Продаж добрив	Відсутність попиту	Відсутність коштів
	Придбання запасних частин та додаткових матеріалів	Інфляція	Нестача бюджету
Масова реалізація	Продаж біоводню	Відсутність попиту	Низький рівень мотивації праці
	Продаж добрив	Відсутність попиту	Відсутність коштів
	Придбання запасних частин та додаткових матеріалів	Інфляція	Нестача бюджету

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ББ21.10.000 ПЗ

Арк.

91

Таблиця 8.22 – Ризики інноваційної розробки та ймовірність їх настання

Види ризиків	Назва ризику	Ймовірність настання	Вплив на очікуваний результат
Зовнішні ризики			
Економічні	Ріст цін на обладнання та матеріали	Висока	Високий
	Зміна попиту на продукт	Середня	Середній
Політичні	Відсутність зацікавленості у фінансуванні	Висока	Середня
Демографічні	Зменшення кількості споживачів та постачальників сировини	Середня	Середня
Науково-технічний прогрес	Підвищення витрат на працю	Середня	Висока
	Поява конкурентів на ринку	Низька	Низька
Внутрішні ризики			
Виробничі	Дефіцит бюджету	Висока	Висока
Персонал	Низька вмотивованість	Середній	Середня

Продовження таблиці 8.22

Види ризиків	Назва ризику	Ймовірність настання	Вплив на очікуваний результат
Організація виробництва	Спад рівня ефективності організації менеджменту	Середня	Низький

Таблиця 8.23 – Матриця оцінки ризиків

Критерій ризику	Числове значення	Низька ймовірність	Середня ймовірність	Висока ймовірність
		1	2	3
Високий рівень впливу	3	0	1	2
Середній рівень впливу	2	0	3	1
Низький рівень впливу	1	1	1	0

Таблиця 8.24 – План заходів з управління ризиками

Назва ризику	Назва методу управління	Відповідальні виконавці	Період виконання/ застосування методу	Очікувані результати від впровадження методів управління
Дефіцит бюджету	Пошук нових інвесторів	Керівна ланка	2-3 місяці	Збільшення фінансових надходжень
Низька вмотивованість персонал	Підняття заробітних плат, створення профспілок та надання соц.пакетів	Керівна ланка	1 місяць	Збільшення продуктивності виробництва
Зменшення кількості споживачів та постачальників сировини	Пошук нових ринків збуту та постачальників	Керівна ланка	5-6 місяців	Збільшення продажу та бюджету компанії

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ББ21.10.000 ПЗ

Арк.

94

Продовження таблиці 8.24

Назва ризику	Назва методу управління	Відповідальні виконавці	Період виконання/застосування методу	Очікувані результати від впровадження методів управління
Зміна попиту на продукт	Пошук альтернативних ринків збуту, використання вторинних продуктів виробництва	Керівна ланка	3 місяці	Збільшення продажу та бюджету компанії

Отже, собівартість 1 м³ біоводню, отриманого з целюлозовмісної сировини, становить 8, 2 грн/м³. Беручи до уваги, що закупівельна ціна отриманої продукції становить 11, 6 грн/м³ даний товар можна вважати конкурентоспроможним.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 8

У даному розділі було розроблено стартап-проект на тему дипломної роботи. Описано характеристику підприємства та його потенційних споживачів, розраховано фондоємність, рентабельність, ціну готової продукції, наведено порівняння з конкурентами.

Обраховані показники є досить високими та позитивними. Причиною для цього слугує відносна дешевизна матеріалів та обладнання для виробництва цільового продукту, а також доступність продуцентів.

Розраховано економічні показники, серед яких: рентабельність – 102.13%, капіталовкладення – 6012300 грн, фондоємність – 0.75, коефіцієнт економічної ефективності – 1.23.

					<i>МД ББ21.10.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

ВИСНОВКИ

1. Виходячи з аналізу літературних джерел обґрунтовано вибір анаеробного процесу отримання біоводню з сільськогосподарських відходів
2. Наведено характеристику родів *Clostridium* та *Bacillus* , що використовуються для отримання біоводню. Розглянуто основні біохімічні шляхи перетворення целюлози у цільовий продукт.
3. Розроблено апаратурну та технологічну схеми отримання біоводню методом темної анаеробної ферментації з целюлозовмісної сировини. Технологічний процес отримання біоводню з сільськогосподарських відходів містить в собі такі етапи: підготовка технологічного повітря, підготовка целюлозної сировини, підготовка посівного матеріалу, ферментація целюлозовмісної сировини, збір та очищення біоводню, видалення та декантація залишків ферментації.
4. Спроектовано метантенк на основі проведених розрахунків. Робочий об'єм реактору становить 21 м³, коефіцієнт заповнення реактору 0.9, продуктивність 100 м³/добу.
5. Розроблено схему автоматизації процесу ферментації у метантенку. Визначено основні прилади, що забезпечують контроль та сигналізацію. Спроектовано контури захисту.
6. Розроблено стартап-проект. Надано повну характеристику підприємства та його потенційних споживачів. Враховуючи отримані дані, підприємство можна вважати конкурентноспроможним та прибутковим.
7. Визначено основні положення з охорони праці та навколишнього середовища. Наведено правила та вказівки запобіганню небезпечним ситуаціям на виробництві. Описано основні ризики та методи боротьби з ними.

					МД ББ21.10.000 ПЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	ВИСНОВКИ	Літ.	Арк.	Акронів
Розроб.		Кінаш М.В.					97	114
Перевір.						"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Голуб Н.Б.						

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] S. A. Benner і A. M. Sismour, «Synthetic biology», *Nature Reviews Genetics*, вип. 6, вип. 7, с. 533–543, Лип 2005, doi: 10.1038/nrg1637.
- [2] Y.-H. P. Zhang, B. R. Evans, J. R. Mielenz, R. C. Hopkins, і M. W. W. Adams, «High-Yield Hydrogen Production from Starch and Water by a Synthetic Enzymatic Pathway», *PLoS ONE*, вип. 2, вип. 5, с. e456, Трав 2007, doi: 10.1371/journal.pone.0000456.
- [3] B. YILDIZ і M. KAZIMI, «Efficiency of hydrogen production systems using alternative nuclear energy technologies», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 31, вип. 1, с. 77–92, Січ 2006, doi: 10.1016/j.ijhydene.2005.02.009.
- [4] K. Chandrasekhar, Y.-J. Lee, і D.-W. Lee, «Biohydrogen Production: Strategies to Improve Process Efficiency through Microbial Routes», *International Journal of Molecular Sciences*, вип. 16, вип. 12, с. 8266–8293, Квіт 2015, doi: 10.3390/ijms16048266.
- [5] H. Nagakawa *et al.*, «Efficient hydrogen production using photosystem I enhanced by artificial light harvesting dye», *Photochemical & Photobiological Sciences*, вип. 18, вип. 2, с. 309–313, 2019, doi: 10.1039/C8PP00426A.
- [6] N. Fakhimi, A. Dubini, O. Tavakoli, і D. González-Ballester, «Acetic acid is key for synergetic hydrogen production in Chlamydomonas-bacteria co-cultures», *Bioresource Technology*, вип. 289, с. 121648, Жов 2019, doi: 10.1016/j.biortech.2019.121648.
- [7] I. Monroy і G. Buitrón, «Production of polyhydroxybutyrate by pure and mixed cultures of purple non-sulfur bacteria: A review», *Journal of Biotechnology*, вип. 317, с. 39–47, Чер 2020, doi: 10.1016/j.jbiotec.2020.04.012.

					МД ББ21.10.000 ПЗ			
Змн	Лис	№ докум.	Підпис	Дат	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Літ.	Арк.	Акроніів
Розроб.	Кінаш М.В.						98	114
Перевір.						"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.	Голуб Н.Б.							

- [8] D. Das, «Advances in biohydrogen production processes: An approach towards commercialization», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 34, вип. 17, с. 7349–7357, Бер 2009, doi: 10.1016/j.ijhydene.2008.12.013.
- [9] P. Mishra, S. Krishnan, S. Rana, L. Singh, M. Sakinah, i Z. Ab Wahid, «Outlook of fermentative hydrogen production techniques: An overview of dark, photo and integrated dark-photo fermentative approach to biomass», *Energy Strategy Reviews*, вип. 24, с. 27–37, Квіт 2019, doi: 10.1016/j.esr.2019.01.001.
- [10] H. Tian, J. Li, M. Yan, Y. W. Tong, C.-H. Wang, i X. Wang, «Organic waste to biohydrogen: A critical review from technological development and environmental impact analysis perspective», *Applied Energy*, вип. 256, с. 113961, Груд 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113961.
- [11] M. Ni, D. Y. C. Leung, M. K. H. Leung, i K. Sumathy, «An overview of hydrogen production from biomass», *Fuel Processing Technology*, вип. 87, вип. 5, с. 461–472, Трав 2006, doi: 10.1016/j.fuproc.2005.11.003.
- [12] J. Cai *et al.*, «Photosynthetic bacteria improved hydrogen yield of combined dark- and photo-fermentation», *Journal of Biotechnology*, вип. 302, с. 18–25, Сер 2019, doi: 10.1016/j.jbiotec.2019.06.298.
- [13] M. Y. Azwar, M. A. Hussain, i A. K. Abdul-Wahab, «Development of biohydrogen production by photobiological, fermentation and electrochemical processes: A review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, вип. 31, с. 158–173, Бер 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.11.022.
- [14] J. de J. Franco-León, E. Arriola-Guevara, L. A. Suárez-Hernández, G. Toriz, G. Guatemala-Morales, i R. I. Corona-González, «Influence of supplemented nutrients in tequila vinasses for hydrogen and polyhydroxybutyrate production by photofermentation with *Rhodospseudomonas pseudopalustris*», *Bioresource Technology*, вип. 329, с. 124865, Чер 2021, doi: 10.1016/j.biortech.2021.124865.

- [15] T. Keskin i P. C. Hallenbeck, «Hydrogen production from sugar industry wastes using single-stage photofermentation», *Bioresource Technology*, вип. 112, с. 131–136, Трав 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2012.02.077.
- [16] S. Ghosh, U. K. Dairkee, R. Chowdhury, i P. Bhattacharya, «Hydrogen from food processing wastes via photofermentation using Purple Non-sulfur Bacteria (PNSB) – A review», *Energy Conversion and Management*, вип. 141, с. 299–314, Чер 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2016.09.001.
- [17] A. Kadier, Y. Simayi, P. Abdeshahian, N. F. Azman, K. Chandrasekhar, i M. S. Kalil, «A comprehensive review of microbial electrolysis cells (MEC) reactor designs and configurations for sustainable hydrogen gas production», *Alexandria Engineering Journal*, вип. 55, вип. 1, с. 427–443, Бер 2016, doi: 10.1016/j.aej.2015.10.008.
- [18] S. Yossan, L. Xiao, P. Prasertsan, i Z. He, «Hydrogen production in microbial electrolysis cells: Choice of catholyte», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 38, вип. 23, с. 9619–9624, Сер 2013, doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.05.094.
- [19] S. Luo, A. Jain, A. Aguilera, i Z. He, «Effective control of biohythane composition through operational strategies in an innovative microbial electrolysis cell», *Applied Energy*, вип. 206, с. 879–886, Лис 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.241.
- [20] K. Chandrasekhar i S. Venkata Mohan, «Bio-electrohydrolysis as a pretreatment strategy to catabolize complex food waste in closed circuitry: Function of electron flux to enhance acidogenic biohydrogen production», *Int J Hydrogen Energy*, вип. 39, вип. 22, с. 11411–11422, Лип 2014, doi: 10.1016/j.ijhydene.2014.05.035.
- [21] S. Cheng i B. E. Logan, «Sustainable and efficient biohydrogen production via electrohydrogenesis», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, вип. 104, вип. 47, с. 18871–18873, Лис 2007, doi: 10.1073/pnas.0706379104.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

- [22] Y. Zhang i I. Angelidaki, «Microbial electrolysis cells turning to be versatile technology: Recent advances and future challenges», *Water Research*, вип. 56, с. 11–25, Чер 2014, doi: 10.1016/j.watres.2014.02.031.
- [23] A. Wang *et al.*, «Integrated hydrogen production process from cellulose by combining dark fermentation, microbial fuel cells, and a microbial electrolysis cell», *Bioresource Technology*, вип. 102, вип. 5, с. 4137–4143, Бер 2011, doi: 10.1016/j.biortech.2010.10.137.
- [24] R. Shen *et al.*, «Microbial electrolysis treatment of post-hydrothermal liquefaction wastewater with hydrogen generation», *Applied Energy*, вип. 212, с. 509–515, Лют 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.12.065.
- [25] R. C. Wagner, J. M. Regan, S.-E. Oh, Y. Zuo, i B. E. Logan, «Hydrogen and methane production from swine wastewater using microbial electrolysis cells», *Water Research*, вип. 43, вип. 5, с. 1480–1488, Бер 2009, doi: 10.1016/j.watres.2008.12.037.
- [26] E. S. Heidrich, J. Dolfing, K. Scott, S. R. Edwards, C. Jones, i T. P. Curtis, «Production of hydrogen from domestic wastewater in a pilot-scale microbial electrolysis cell», *Applied Microbiology and Biotechnology*, вип. 97, вип. 15, с. 6979–6989, Сер 2013, doi: 10.1007/s00253-012-4456-7.
- [27] A. Escapa, L. Gil-Carrera, V. García, i A. Morán, «Performance of a continuous flow microbial electrolysis cell (MEC) fed with domestic wastewater», *Bioresource Technology*, вип. 117, с. 55–62, Сер 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2012.04.060.
- [28] R. D. Cusick, P. D. Kiely, i B. E. Logan, «A monetary comparison of energy recovered from microbial fuel cells and microbial electrolysis cells fed winery or domestic wastewaters», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 35, вип. 17, с. 8855–8861, Бер 2010, doi: 10.1016/j.ijhydene.2010.06.077.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

- [29] W. Liu *et al.*, «Hydrogen generation in microbial electrolysis cell feeding with fermentation liquid of waste activated sludge», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 37, вип. 18, с. 13859–13864, Бер 2012, doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.04.090.
- [30] Y. Feng, Y. Liu, і Y. Zhang, «Enhancement of sludge decomposition and hydrogen production from waste activated sludge in a microbial electrolysis cell with cheap electrodes», *Environmental Science: Water Research & Technology*, вип. 1, вип. 6, с. 761–768, 2015, doi: 10.1039/C5EW00112A.
- [31] L. Lu, D. Xing, B. Liu, і N. Ren, «Enhanced hydrogen production from waste activated sludge by cascade utilization of organic matter in microbial electrolysis cells», *Water Research*, вип. 46, вип. 4, с. 1015–1026, Бер 2012, doi: 10.1016/j.watres.2011.11.073.
- [32] B. R. Dhar, E. Elbeshbishy, H. Hafez, і H.-S. Lee, «Hydrogen production from sugar beet juice using an integrated biohydrogen process of dark fermentation and microbial electrolysis cell», *Bioresource Technology*, вип. 198, с. 223–230, Груд 2015, doi: 10.1016/j.biortech.2015.08.048.
- [33] A. Tenca, R. D. Cusick, A. Schievano, R. Oberti, і B. E. Logan, «Evaluation of low cost cathode materials for treatment of industrial and food processing wastewater using microbial electrolysis cells», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 38, вип. 4, с. 1859–1865, Лют 2013, doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.11.103.
- [34] J. Huang *et al.*, «Continuous hydrogen production from food waste by anaerobic digestion (AD) coupled single-chamber microbial electrolysis cell (MEC) under negative pressure», *Waste Management*, вип. 103, с. 61–66, Лют 2020, doi: 10.1016/j.wasman.2019.12.015.

- [35] X.-H. Li, D.-W. Liang, Y.-X. Bai, Y.-T. Fan, i H.-W. Hou, «Enhanced H₂ production from corn stalk by integrating dark fermentation and single chamber microbial electrolysis cells with double anode arrangement», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 39, вип. 17, с. 8977–8982, Чер 2014, doi: 10.1016/j.ijhydene.2014.03.065.
- [36] R. Kumar, L. Singh, i A. W. Zularisam, «Exoelectrogens: Recent advances in molecular drivers involved in extracellular electron transfer and strategies used to improve it for microbial fuel cell applications», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, вип. 56, с. 1322–1336, Квіт 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.029.
- [37] G. Zhen, X. Lu, G. Kumar, P. Bakonyi, K. Xu, i Y. Zhao, «Microbial electrolysis cell platform for simultaneous waste biorefinery and clean electrofuels generation: Current situation, challenges and future perspectives», *Progress in Energy and Combustion Science*, вип. 63, с. 119–145, Лис 2017, doi: 10.1016/j.pecs.2017.07.003.
- [38] R. Karthikeyan, K. Y. Cheng, A. Selvam, A. Bose, i J. W. C. Wong, «Bioelectrohydrogenesis and inhibition of methanogenic activity in microbial electrolysis cells - A review», *Biotechnology Advances*, вип. 35, вип. 6, с. 758–771, Лис 2017, doi: 10.1016/j.biotechadv.2017.07.004.
- [39] A. Ghimire *et al.*, «A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products», *Applied Energy*, вип. 144, с. 73–95, Квіт 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.045.
- [40] P. C. Hallenbeck, «Fermentative hydrogen production: Principles, progress, and prognosis», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 34, вип. 17, с. 7379–7389, Вер 2009, doi: 10.1016/j.ijhydene.2008.12.080.

- [41] S. Zhou *et al.*, «Microstructure and dielectric properties of high entropy Ba(Zr_{0.2}Ti_{0.2}Sn_{0.2}Hf_{0.2}Me_{0.2})O₃ perovskite oxides», *Ceramics International*, вип. 46, вип. 6, с. 7430–7437, Квіт 2020, doi: 10.1016/j.ceramint.2019.11.239.
- [42] L. Alibardi і R. Cossu, «Effects of carbohydrate, protein and lipid content of organic waste on hydrogen production and fermentation products», *Waste Management*, вип. 47, с. 69–77, Січ 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2015.07.049.
- [43] R. Łukajtis *et al.*, «Hydrogen production from biomass using dark fermentation», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, вип. 91, с. 665–694, Сер 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.04.043.
- [44] C. Eskicioglu *et al.*, «Assessment of hydrothermal pretreatment of various lignocellulosic biomass with CO₂ catalyst for enhanced methane and hydrogen production», *Water Research*, вип. 120, с. 32–42, Бер 2017, doi: 10.1016/j.watres.2017.04.068.
- [45] Y. Yin і J. Wang, «Biohydrogen production using waste activated sludge disintegrated by gamma irradiation», *Applied Energy*, вип. 155, с. 434–439, Жов 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.05.105.
- [46] N. Srivastava *et al.*, «Efficient dark fermentative hydrogen production from enzyme hydrolyzed rice straw by *Clostridium pasteurianum* (MTCC116)», *Bioresource Technology*, вип. 238, с. 552–558, Сер 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2017.04.077.
- [47] T. Laurinavichene, D. Tekucheva, K. Laurinavichius, і A. Tsygankov, «Utilization of distillery wastewater for hydrogen production in one-stage and two-stage processes involving photofermentation», *Enzyme and Microbial Technology*, вип. 110, с. 1–7, Бер 2018, doi: 10.1016/j.enzmictec.2017.11.009.
- [48] W. Han, M. Ye, A. J. Zhu, H. T. Zhao, і Y. F. Li, «Batch dark fermentation from enzymatic hydrolyzed food waste for hydrogen production», *Bioresource Technology*, вип. 191, с. 24–29, Бер 2015, doi: 10.1016/j.biortech.2015.04.120.

- [49] F. M. S. Silva, L. B. Oliveira, C. F. Mahler, i J. P. Bassin, «Hydrogen production through anaerobic co-digestion of food waste and crude glycerol at mesophilic conditions», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 42, вип. 36, с. 22720–22729, Вер 2017, doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.07.159.
- [50] E. P. Leañó i S. Babel, «The influence of enzyme and surfactant on biohydrogen production and electricity generation using Palm Oil Mill Effluent», *Journal of Cleaner Production*, вип. 31, с. 91–99, Сер 2012, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.02.026.
- [51] P. Guo *et al.*, «Effects of different pretreatment strategies on corn stalk acidogenic fermentation using a microbial consortium», *Bioresource Technology*, вип. 102, вип. 16, с. 7526–7531, Сер 2011, doi: 10.1016/j.biortech.2011.04.083.
- [52] R. R. Gonzales i S.-H. Kim, «Dark fermentative hydrogen production following the sequential dilute acid pretreatment and enzymatic saccharification of rice husk», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 42, вип. 45, с. 27577–27583, Лис 2017, doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.08.185.
- [53] G.-L. Cao *et al.*, «Enhanced cellulosic hydrogen production from lime-treated cornstalk wastes using thermophilic anaerobic microflora», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 37, вип. 17, с. 13161–13166, Вер 2012, doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.03.137.
- [54] W. Song, L. Ding, M. Liu, J. Cheng, J. Zhou, i Y.-Y. Li, «Improving biohydrogen production through dark fermentation of steam-heated acid pretreated *Alternanthera philoxeroides* by mutant *Enterobacter aerogenes* ZJU1», *Science of The Total Environment*, вип. 716, с. 134695, Трав 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134695.
- [55] W. Shao *et al.*, «Biohydrogen production via thermophilic fermentation: A prospective application of *Thermotoga* species», *Energy*, вип. 197, с. 117199, Квіт 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117199.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

- [56] C. Li i H. H. P. Fang, «Fermentative Hydrogen Production From Wastewater and Solid Wastes by Mixed Cultures», *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, вип. 37, вип. 1, с. 1–39, Січ 2007, doi: 10.1080/10643380600729071.
- [57] N. Azbar *et al.*, «Comparative Evaluation of Bio-Hydrogen Production From Cheese Whey Wastewater Under Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Conditions», *International Journal of Green Energy*, вип. 6, вип. 2, с. 192–200, Квіт 2009, doi: 10.1080/15435070902785027.
- [58] X. M. Guo, E. Trably, E. Latrille, H. Carrère, i J.-P. Steyer, «Hydrogen production from agricultural waste by dark fermentation: A review», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 35, вип. 19, с. 10660–10673, Жов 2010, doi: 10.1016/j.ijhydene.2010.03.008.
- [59] Y. Xing, Z. Li, Y. Fan, i H. Hou, «Biohydrogen production from dairy manures with acidification pretreatment by anaerobic fermentation», *Environmental Science and Pollution Research*, вип. 17, вип. 2, с. 392–399, Лют 2010, doi: 10.1007/s11356-009-0187-4.
- [60] R. Rafieenia, M. C. Lavagnolo, i A. Pivato, «Pre-treatment technologies for dark fermentative hydrogen production: Current advances and future directions», *Waste Management*, вип. 71, с. 734–748, Січ 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2017.05.024.
- [61] G. Kumar *et al.*, «Biogenic H₂ production from mixed microalgae biomass: impact of pH control and methanogenic inhibitor (BESA) addition», *Biofuel Research Journal*, вип. 3, вип. 3, с. 470–474, Вер 2016, doi: 10.18331/BRJ2016.3.3.6.
- [62] K. Chandrasekhar i S. Venkata Mohan, «Bio-electrohydrolysis as a pretreatment strategy to catabolize complex food waste in closed circuitry: Function of electron flux to enhance acidogenic biohydrogen production», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 39, вип. 22, с. 11411–11422, Лип 2014, doi: 10.1016/j.ijhydene.2014.05.035.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

- [63] A. A. Tsygankov i D. N. Tekucheва, Ред., «Integration of Biological H₂ Producing Processes», в *State of the Art and Progress in Production of Biohydrogen*, BENTHAM SCIENCE PUBLISHERS, 2012, с. 78–93. doi: 10.2174/978160805224011201010078.
- [64] S. G. Santiago, E. Trably, E. Latrille, G. Buitrón, i I. Moreno- Andrade, «The hydraulic retention time influences the abundance of Enterobacter, Clostridium and Lactobacillus during the hydrogen production from food waste», *Letters in Applied Microbiology*, с. lam.13191, Лип 2019, doi: 10.1111/lam.13191.
- [65] B. Colombo *et al.*, «Biohydrogen and polyhydroxyalkanoates (PHA) as products of a two-steps bioprocess from deproteinized dairy wastes», *Waste Management*, вип. 95, с. 22–31, Лип 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2019.05.052.
- [66] G. Yang i J. Wang, «Enhanced Hydrogen Production from Sewage Sludge by Co-fermentation with Forestry Wastes», *Energy & Fuels*, вип. 31, вип. 9, с. 9633–9641, Вер 2017, doi: 10.1021/acs.energyfuels.7b02135.
- [67] N. Alemahdi, H. Che Man, N. Abd Rahman, N. Nasirian, i Y. Yang, «Enhanced mesophilic bio-hydrogen production of raw rice straw and activated sewage sludge by co-digestion», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 40, вип. 46, с. 16033–16044, Груд 2015, doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.08.106.
- [68] F. M. S. Silva, C. F. Mahler, L. B. Oliveira, i J. P. Bassin, «Hydrogen and methane production in a two-stage anaerobic digestion system by co-digestion of food waste, sewage sludge and glycerol», *Waste Management*, вип. 76, с. 339–349, Чер 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2018.02.039.
- [69] P. Intanoo, P. Chaimongkol, i S. Chavadej, «Hydrogen and methane production from cassava wastewater using two-stage upflow anaerobic sludge blanket reactors (UASB) with an emphasis on maximum hydrogen production», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 41, вип. 14, с. 6107–6114, Квіт 2016, doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.10.125.

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

- [70] S. Kim, K. Choi, J.-O. Kim, i J. Chung, «Biological hydrogen production by anaerobic digestion of food waste and sewage sludge treated using various pretreatment technologies», *Biodegradation*, вип. 24, вип. 6, с. 753–764, Лис 2013, doi: 10.1007/s10532-013-9623-8.
- [71] P. K. Rai, S. P. Singh, R. K. Asthana, i S. Singh, «Biohydrogen production from sugarcane bagasse by integrating dark- and photo-fermentation», *Bioresource Technology*, вип. 152, с. 140–146, Січ 2014, doi: 10.1016/j.biortech.2013.10.117.
- [72] A. Estevam, M. K. Arantes, C. Andrigheto, A. Fiorini, E. A. da Silva, i H. J. Alves, «Production of biohydrogen from brewery wastewater using *Klebsiella pneumoniae* isolated from the environment», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 43, вип. 9, с. 4276–4283, Бер 2018, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.01.052.
- [73] O. Okonkwo, S. Papirio, E. Trably, R. Escudie, A.-M. Lakaniemi, i G. Esposito, «Enhancing thermophilic dark fermentative hydrogen production at high glucose concentrations via bioaugmentation with *Thermotoga neapolitana*», *International Journal of Hydrogen Energy*, вип. 45, вип. 35, с. 17241–17249, Лип 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.04.231.
- [74] L. R. Soto, E. Byrne, E. W. J. van Niel, M. Sayed, C. C. Villanueva, i R. Hatti-Kaul, «Hydrogen and polyhydroxybutyrate production from wheat straw hydrolysate using *Caldicellulosiruptor* species and *Ralstonia eutropha* in a coupled process», *Bioresource Technology*, вип. 272, с. 259–266, Січ 2019, doi: 10.1016/j.biortech.2018.09.142.
- [75] «MICROBE-Canvas». URL:
<https://microbe-canvas.com/Bacteria.php?p=12199>
- [76] S. Lee, M. Eom, J. D. Rae, S. Kim, «Ex situ product recovery for enhanced butanol production by *Clostridium beijerinckii*», *Bioprocess and Biosystems Engineering*, Трав 2016, doi: 10.1007/s00449-016-1550-8

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

- [77] «ABIS Encyclopedia». URL:
<https://www.tgw1916.net/Clostridium/beijerinckii.html>
- [78] «MICROBE-Canvas». URL:
<https://microbe-canvas.com/Bacteria.php?p=1299>
- [79] «ABIS Encyclopedia». URL:
<https://www.tgw1916.net/Clostridium/butyricum.html>
- [80] «Joint Genome Institute». URL:
<https://genome.jgi.doe.gov/portal/cloth/cloth.home.html>
- [81] «Joint Genome Institute». URL:
<https://genome.jgi.doe.gov/portal/cloth/cloth.home.html>
- [82] «ABIS Encyclopedia». URL:
<https://www.tgw1916.net/Bacillus.html>
- [83] R. Sohail, N. Jamil, I. Ali, i S. Munir, «Animal fat and glycerol bioconversion to polyhydroxyalkanoate by produced water bacteria», *e-Polymers*, вип. 20, вип. 1, с. 92–102, Бер 2020, doi: 10.1515/epoly-2020-0011.
- [84] «MICROBE-Canvas». URL:
<https://microbe-canvas.com/Bacteria.php?p=398>
- [85] «ABIS Encyclopedia». URL:
<https://www.tgw1916.net/Bacillus/licheniformis.html>
- [86] «ABIS Encyclopedia». URL:
<https://www.tgw1916.net/Bacillus/firmus.html>

- [87] C.-A. Aceves-Lara, E. Latrille, N. Bernet, P. Buffière, i J.-P. Steyer, «A pseudo-stoichiometric dynamic model of anaerobic hydrogen production from molasses», *Water Research*, вип. 42, вип. 10–11, с. 2539–2550, Трав 2008, doi: 10.1016/j.watres.2008.02.018.
- [88] L. Zhang, Y. Li, X. Liu, N. Ren, i J. Ding, «Lignocellulosic hydrogen production using dark fermentation by *Clostridium lentocellum* strain Cel10 newly isolated from *Ailuropoda melanoleuca* excrement», *RSC Advances*, вип. 9, вип. 20, с. 11179–11185, 2019, doi: 10.1039/C9RA01158G.
- [89] «Latifundist». Головний сайт про агробізнес. URL: <https://latifundist.com/rating/top-10-krayin-virobnikiv-pshenitsi-v-2021-22-mr>
- [90] L. Fan, M. M. Gharpuray, i Y.-H. Lee, «Acid Hydrolysis of Cellulose», 1987, с. 121–148. doi: 10.1007/978-3-642-72575-3_4.
- [91] A. Tozluoğlu, Ö. Özyurek, Y. Çöpür, i H. Özdemir, «Integrated Production of Biofilm, Bioethanol, and Papermaking Pulp from Wheat Straw», *BioResources*, вип. 10, вип. 4, Жов 2015, doi: 10.15376/biores.10.4.7834-7853.
- [92] Б. Р. Б і В. Р. В, «ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СОЛОМИ ПІД ЧАС ЗБИРАННЯ RESEARCH TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF STRAW IN HARVEST».
- [93] Корчан Л.М., «СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ТВАРИННИЦТВО», 2019.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Специфікація обладнання

Позиція	Позначення, марка	Найменування	Кількість	Маса, кг	Примітка
ЗП		Забірник повітряний, висота труби 10 м, діаметр труби 300 мм	1		
Ф-2		Фільтр мембранний для попереднього очищення повітря запиленістю до 5 мг/дм ³ . Тип дії: неперервна. Коморковий тип фільтру, заповнений 12-ма металічними гофрованими сітками, що змащені маслом. Пилоємність фільтру 200 г/м ² . Ефективність очистки 80%. Питома продуктивність 3000 м ³ /м ² год. Гідравлічний опір – 40 Па. Цикл роботи до регенерації – 70 год	1		

					МД ББ21.10.000 ПЗ		
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат			
Розроб.		Кінаш М.В.			Літ.	Арк.	Акровієв
Перевір.						111	114
Реценз.					"КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФБТ, ББ-21мп		
Н. Контр.							
Затверд.		Голуб Н.Б.					
Додаток А							

Продовження таблиці А.1

Позиція	Позначення, марка	Найменування	Кількість	Маса, кг	Примітка
Ф-33		Фільтр з PDMS/PEI двовимірної мембрани, іонізованої. Для очистки газів від домішок CO ₂ , H ₂ S, N ₂ / Ефективність очистки – 80%. Тип дії: неперервний. Гідравлічний опір – 42 Па.	1		
К-3	Dnipro-M AC50 V	Компресор повітряний. Компресор повітряний. Продуктивність на вході – 420 м ³ /хв. Робочий тиск 0,8 МПа. Потужність електродвигуна 2200 кВт.	1		
К-33	БК SEVA 15 HS	Компресор гвинтовий. Тип установки стаціонарний, привід ремінний, продуктивність 1600 л/хв, робочий тиск 4 – 5 бар. Потужність електродвигуна – 11 кВт.	1		
36		Збірник для сировини чи відходів. Матеріал – сталь 12Х18Н10Т. Об'єм заповнення – 100 м ³ .	2		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ББ21.10.000 ПЗ

Арк.

112

Продовження таблиці А.1

Позиція	Позначення, марка	Найменування	Кількість	Маса, кг	Примітка
Ш	AgroHelix	Шнековий транспортер. Діаметр шнека 350 мм, крок 330 мм, максимальний кут 45 градусів, продуктивність – 60 т/год, частота обертання – 300 об/хв, потужність двигуна – 1.1 – 5.5 кВт	3		
Д		Дробарка валкова, двовальна. Частота обертання – 500 об/хв. Продуктивність 4 – 5 т/год. Розмір часток на виході – 2 – 5 мм.	1		
Р		Реактор об'ємом 15 м ³ , з мішалкою, призначений для підготовки субстрату.	1		Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т
Д		Дозатор об'ємний для сипких та рідких речовин	10		
І		Інокулятор об'ємом 15 м ³ забезпечений рубашкою для підтримки температури та мішалкою. Призначений для нарощування посівного матеріалу та його підготовки.	3		

					МД ББ21.10.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		113

Продовження таблиці А.1

ФВ		Метантенк об'ємом 21 м ³ . Обладнаний мішалкою та змішувиком задля забезпечення необхідної температури. Призначений для основного процесу ферментації та отримання біоводню.	1		
Н		Насос відцентровий	4		
Д-30	HAUS	Декантерна центрифуга для розділення залишків ферментації. Частота обертів 1500 – 2000 об/хв, продуктивність 5 м ³ /год. Потужність основного приводу 7.5 кВт.	1		
СТ		Система труб для осушення біоводню	1		
ГГ		Газгольдер PVC об'ємом 100 м ³ , робочий тиск – 5-35 Мбар, робоча температура – від 5 до 50 °С.	1		

ДОДАТОК А

Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Код	Завод-виробник	Кількість	Маса одиниці, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Устаткування та прилади										
1-1	Витрата	Трубопр., асоціація продуцентів з активного мулу з І-11 до ферментеру-25	-	Трубопровід	Діафрагма камерна; $P_y = 0,6$ МПа; $D_{тр} = 70$ мм	ДКС 0,6-70	-	ВАТ «Промприлад» м. Івано- Франківськ	4 од.	11,2
2-1	Витрата	Трубопр., продуцент роду Clostridium з І-15 до Ф-25	-	Трубопровід						

3-1	Витрата	Трубопр., продуцент роду Vasilus з І - 19 до Ф- 25	-	Трубопро від						
4-1	Витрата	Трубопр., субстрат через Дозатор- 24 до Ф-25	-	Трубопро від						
1-2 2-2 3-2 4-2	-	-	-	Місцевий	Дифманометр; $\Delta P_{\max}=40$ кПа, клас точності 1, $P_{\text{вих}}=20\dots 100$ кПа	DSDU 106F0 21	-	Sauter AG м. Базель Швейцарія	4 од.	0,62
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1-3 2-3 3-3 4-3	-	-	-	Щит керування	Прилад вторинний пневматичний показувальний реєструвальний, граничнодопустима осн. звед. похибка 0,5 %; $P_{\text{жив}}=0,2$ МПа, витрата повітря живлення – 10,5 л/хв, $P_{\text{вх}}=20\dots 100$ кПа	БД- 30Ех	-	НВК «Укрцветмет- автоматика», м. Запоріжжя	4 од.	5,5

1-4 2-4 3-4 4-4	-	-	-	Щит керування	Регулятор пневматичний пропорціонально; витрата повітря живлення – 4,5 л/хв, $P_{жив} = 0,14$ МПа, $P_{вих} = 20 \dots 100$ кПа	ПР3.3 4-М1	-	ВАТ «Підприємство «МІКРОЛ»», м. Івано-Франківськ	4 од.	2.8
1-5 2-5 3-5 4-5	-	-	-	Трубопровід	Механізм виконавчий пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і боковим дублером; $P_{живл} = 0,25$ МПа	МИМ П ППХ 05	-	ВАТ «Прикарпат-промарматура», м. Івано-Франківськ	4 од.	33
1-6 2-6 3-6 4-6	-	-	-	Місцевий	Перетворювач пневмоелектричний, $P_{вх} = 20 \dots 100$ кПа; $I_{вих} = 0 \dots 5$ (4...20) мА	ПЕП-11	-	ВАТ «Підприємство «МІКРОЛ»», м.Івано-Франківськ	4 од.	0,4
1-7 2-7 3-7 4-7	-	-	-	Місцевий	Перетворювач електропневматичний, $I_{вх} = 0 \dots 5$ мА; $P_{вих} = 20 \dots 100$ кПа	МТМ 810	-	НВП «Мікротерм», м. Сіверодонецьк	4 од.	1,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7-1	Рівень	Ферментер, суміш	10 м	Збірник	Радарний рівнемір, частота електромагнітного сигналу – 94 ГГц, ширина вимірювального променя 4 град.; максимальний діапазон вимірювання рівня 0,6...30 м,	УЛМ-11	-	НВП «Мікротерм», м. Сіверодонецьк	1 од.	2

					абсолютна похибка ± 1 мм, температура контрольованого продукту – не обмежена, робоча температура навколишнього середовища в місці встановлення датчика (- 60)...50 °C; $I_{\text{вих}} = 4...20$ mA; цифровий інтерфейс RS-485, Modbus					
7-2	-	-	-	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: 0...5 mA, 4...20 mA; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М, доп. осн. похибка показань 0,5 %, реєстрації 1 %	ДИСК -250	-	ВАТ «Промприлад», м. Івано- Франківськ	1 од.	10.5
8-1	Перепад тиску	-	-	Місцевий	Вимірювальний тензоперетворювач різниці тисків, $\Delta P_{\text{max}} = 1,6$ МПа, температура 5...50 °C, матеріал мембрани – сплав 06ХН28МДТ; клас точності 0,25; $I_{\text{вих}} = 4...20$ mA	«САФІР -М, МОД. 2460	-	ЗАТ «Манометр», м. Харків	1 од.	6.3
8-2	-	-	-	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: 0...5	ДИСК- 250	-	ВАТ «Промприлад», м. Івано-	1 од.	10.5

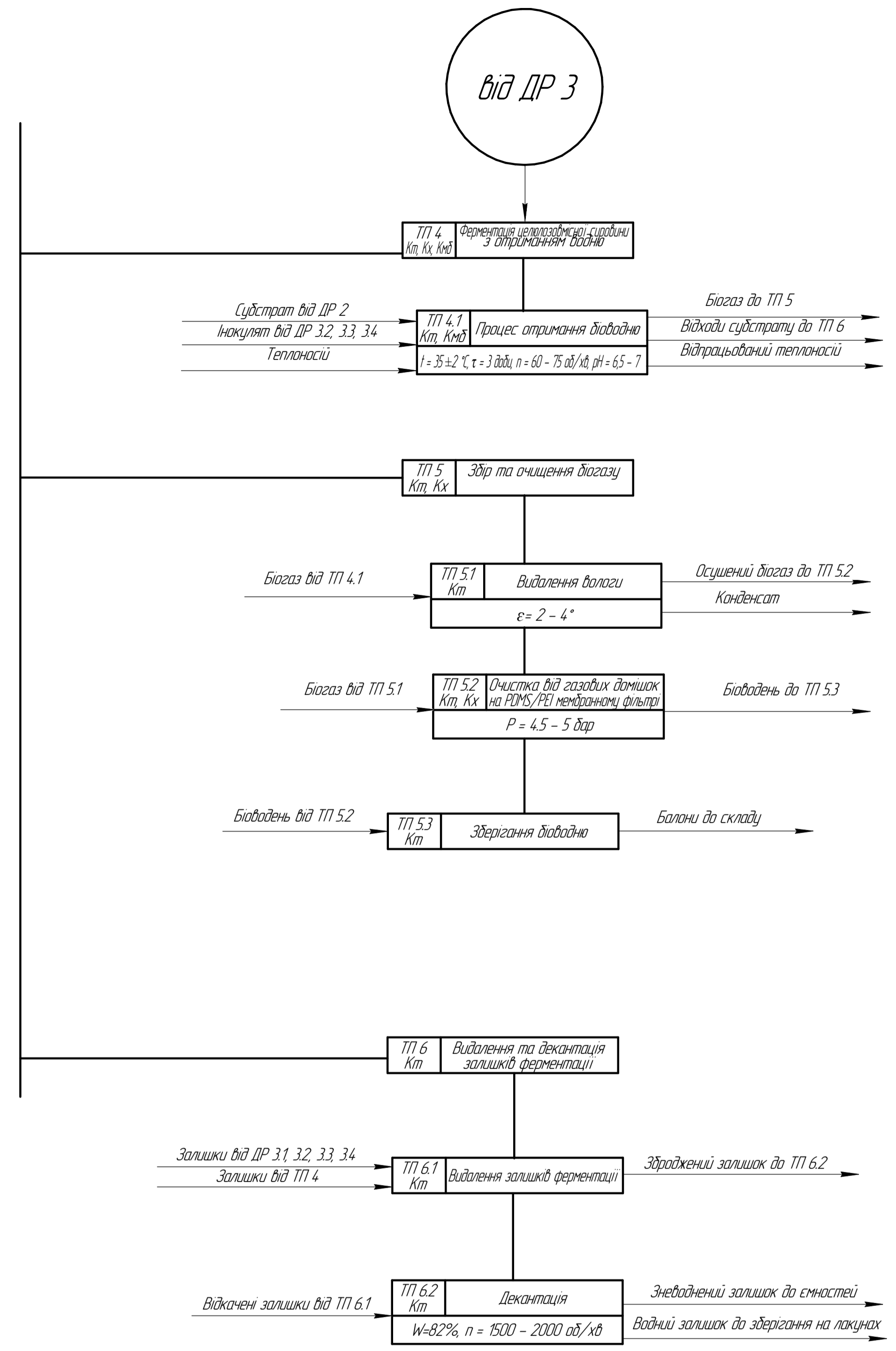
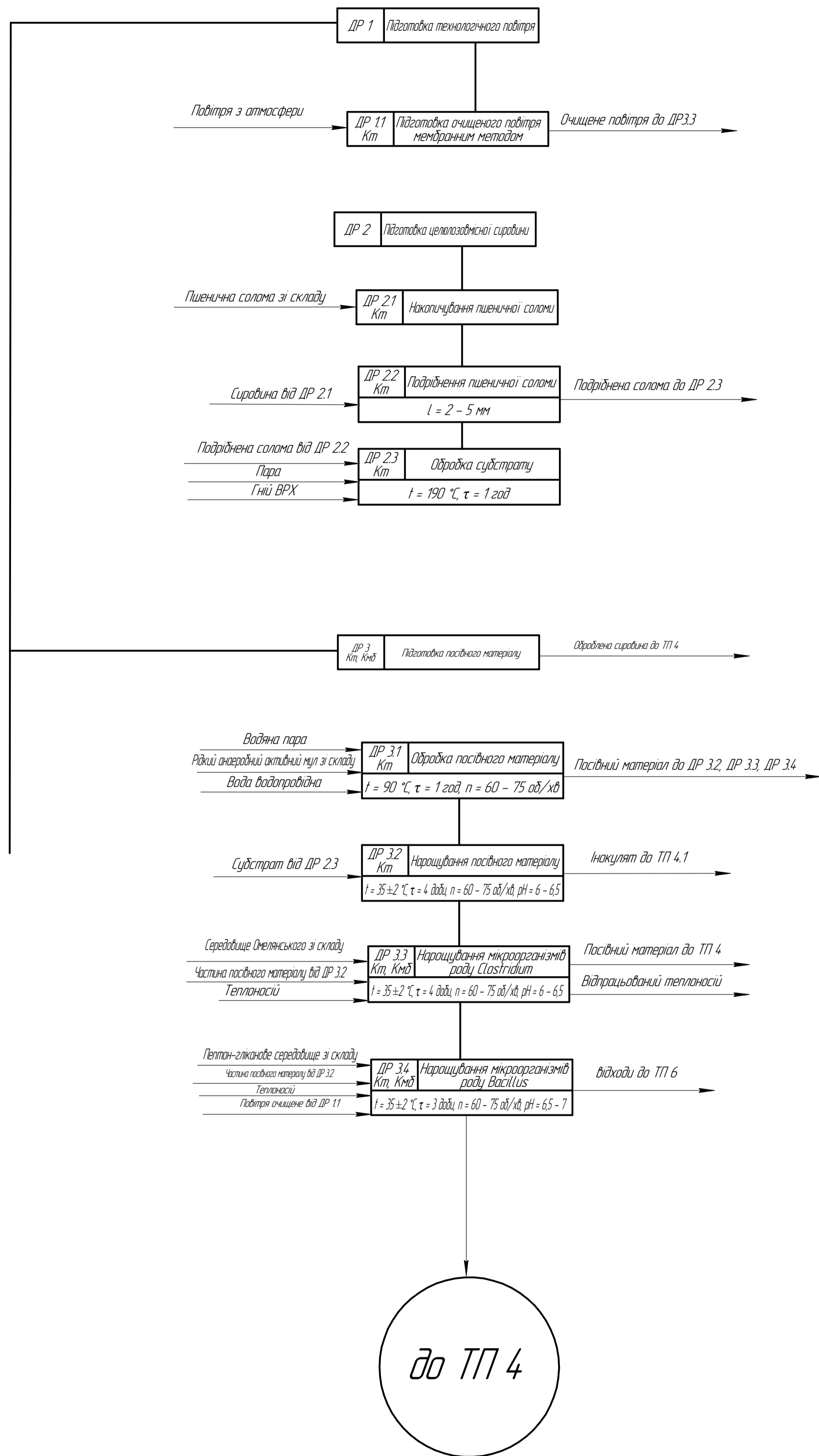
					мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М, доп. осн. похибка показань 0,5 %, реєстрації 1 %			Франківськ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5-1	Температура	Ферментер, суміш	33...37 °С	Котел-холодильник	Термоперетворювач опору платиновий, НСХ 50П, діапазон вимірювання (-50)...60 °С, $P_{\max} = 25$ МПа, довжина монтажної частини 200...3150 мм, захисна арматура – сталь 8Н10Т; інерційність 30 с, клас допуску 2	ТСП-1288	-	НВО «Електротермія», Приладобудівний з-д, м. Луцьк	1 од.	0.35
5-2	-	-	-	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вбудованим ПД-регулятором; входні сигнали: 0...10 мВ, 0...100 мВ, 0...1 В, 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, А-1; опору – 50П, 100П ($W_{100}=1,385; 1,391$), 50М, 100М; 0-10 мГн, ± 10 мГн (в комплекті	ДИСК-250М	-	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ	1 од.	13

					з НП-П10); вихідні сигнали: $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА, $P_{\text{вих}} = 20...100$ кПа					
5-3	-	-	-	Трубопровід	Регулювальні сідельні клапани з 2-ходовим виконанням. Температура регульованого середовища: GV2: +2...+94 °С, тиск – до 16 бар; корпус литий латунний, характеристика рівнопропорційна. Електроприводи EVA2. Ступінь захисту: IP 40. Температура довкілля: +2 ... + 55 °С, гранична вологість 90 %. Керувальний сигнал: 0...10 В або 4...20 мА	GV2	-	Компанія «Dwyer Instruments Inc.», м. Детройт, США	1 од.	9
6-1	pH	Ферментер, суміш	5.5...6 pH	Адсорбер	Чутливий елемент pH-метра заглибного виконання з електродами скляними ЭСП-31-06 і регулятором тиску	ДПг-4 М	-	«Гомельський завод измерительных приборов», м. Гомель	1 од.	4.2

					РДС-1; глибина занурення 1600 мм					
6-2	-	-	-	По місцю	Перетворювач високоомний (для $R_n > 200 \text{ Ом}$); клас точності 1; $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5 \text{ мА}$; цифрова індикація результатів; інтерфейс RS-232, RS-485	П-201	-	«Гомельський завод измерительных приборов», м. Гомель	1 од.	4.2
6-3	-	-	-	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесор- ний вторинний прилад з вбудованим ПД-регулятором; вхідні сигнали: 0...10 мВ, 0...100 мВ, 0...1 В, 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, А-1; опору – 50П, 100П ($W_{100}=1,385; 1,391$), 50М, 100М; 0-10 мГн, $\pm 10 \text{ мГн}$ (в комплекті з НП-П10); вихідні сигнали: $I_{\text{вих}}$ $= 4 \dots 20 \text{ мА}$, $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100 \text{ кПа}$	ДИСК -250М	-	ВАТ «Промприлад», м. Івано- Франківськ	1 од.	13

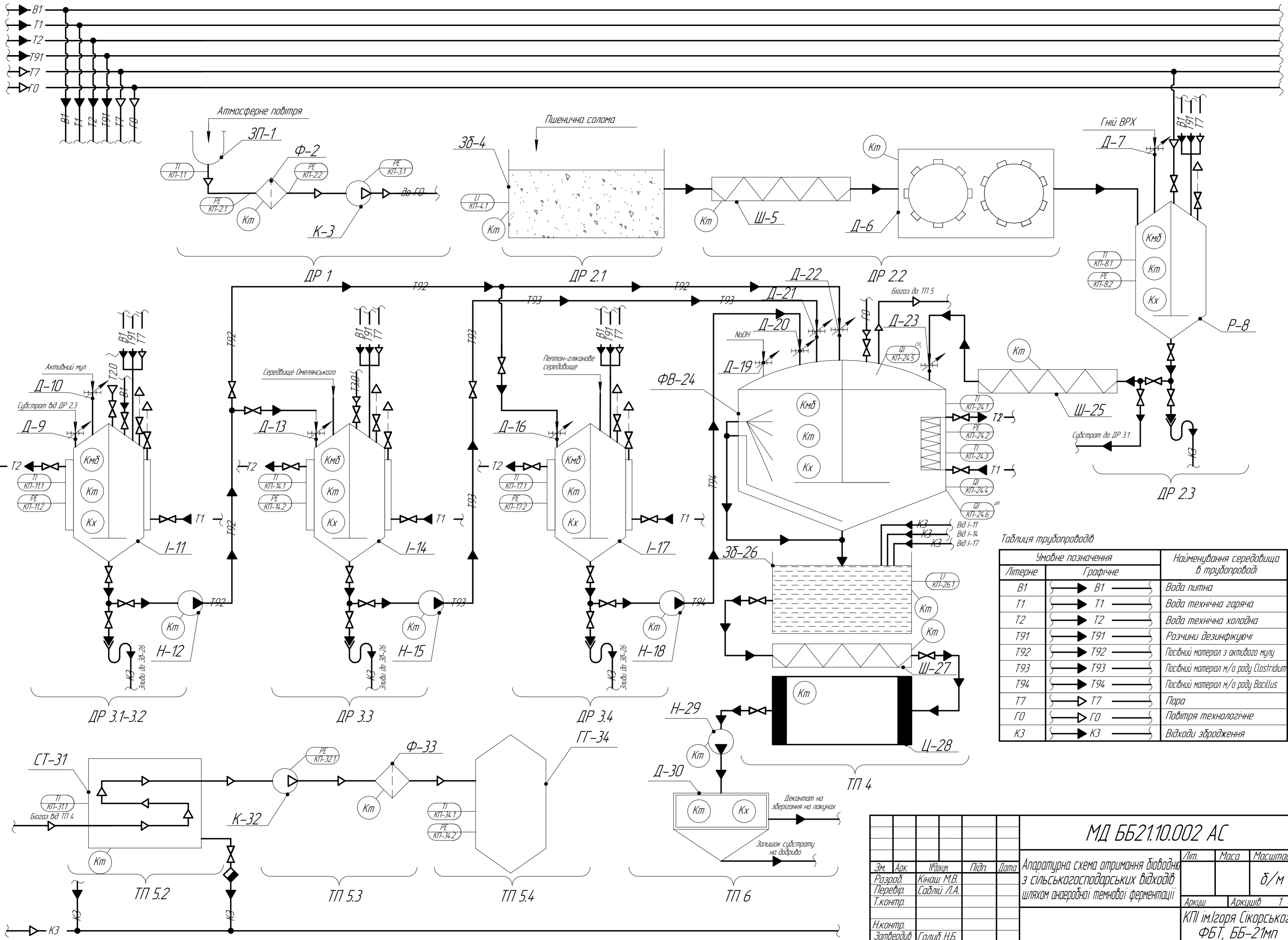
6-4	-	-	-	Трубопро від	Регулювальні сідельні клапани з 2-ходовим виконанням. Температура регульованого середовища: GV2: +2...+94 °С, тиск – до 16 бар; корпус литий латунний, характеристика рівнопропорційна. Електроприводи EVA2. Ступінь захисту: IP 40. Температура довкілля: +2 ... + 55 °С, гранична вологість 90 %. Керувальний сигнал: 0...10 В або 4...20 мА	GV2	-	Компанія «Dwyer Instruments Inc.», м. Детройт, США	1 од.	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Електроапарати та пускачі										
HL1 HL2	-	-	-	Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна з жовтим індикатором («УВАГА»), $U_{жив}=220$ В, 50/60 Гц, $d = 27$ мм, сила світла 20 мКд	ЛС 47-3	-	«ІЕК Україна», м. Київ	2 од.	0,12
HL3	-	-	-	Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна з червоним індикатором («СТОП»), $U_{жив}=220$ В, 50/60 Гц, $d = 27$ мм, сила світла 20 мКд	ЛС 47-2	-	«ІЕК Україна», м. Київ	1 од.	0,12

HL4	-	-	-	Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна з зеленим індикатором («ПУСК»), $U_{жив} = 220$ В, 50/60 Гц, $d = 27$ мм, сила світла 20 мКд	ЛС 47-1	-	«ІЕК Україна», м. Київ	1 од.	0,12
МП1	-	-	-	Місцевий	Магнітний пускач безконтактний (на семісторах), реверсивний, для керування електричними виконавчими механізмами, у приводі яких використано однофазні електродвигуни; температура довкілля $(-10) \dots 50$ °С, відносна вологість до 80 %; керувальний сигнал $U_{вх} = 24 \pm 6$ В, $U_{жив} = 220$ В, 50/60 Гц, $I_{жив} = 10$ В·А	ПКУ 15-21-131 УЗ	-	ЗАТ «Променергоавтоматика», м. Київ	1 од.	1,2
SA1	-	-	-	Місцевий	Кнопка запобіжного вимикання; номінальна робоча напруга: змінна (частота 50/60 Гц) 660 В, постійна – 440 В, номінальний тепловий струм – 10 А	КМЕ -5111 УЗ	-	ТОВ «Кам'янець-Подільський електромеханічний завод», м. Кам'янець-Подільський	1 од.	0,06
SB1 SB2	-	-	-	Щит керування	Пост керування кнопковий, кількість елементів управління – 2; номінальна напруга ізо-ляції (за змінного струму частотою 50/60 Гц) 660 В, номінальний тепловий струм 10 А; температура довкілля від $(-40 \dots 40)$ °С	ПКУ 15-21-131-УЗ	-	ЗАТ «Променергоавтоматика», м. Київ	1 од.	0,07



КОМПАС-3D 121 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.
 Лист № 01
 Дата: 10.01.2024
 Проект: МД ББ2110.001 ТС

МД ББ2110.001 ТС			
Зм.	Арх.	№ док.	Підп.
Разр.	Кінш.	МВ.	Дата
Перевір.	Свідч.	Л/А.	
Т.контр.			
Інконтр.			
Затверд.	Голов.	Н.Б.	
Технологічна схема виробництва біогаду з сільськогосподарських відходів			
Лист	Маса	Масштаб	
		д/м	
Архив	Архив	1	
КПІ ім. Ігоря Сікорського			
ФБТ, ББ-21мп			
Копія			
Формат А1			



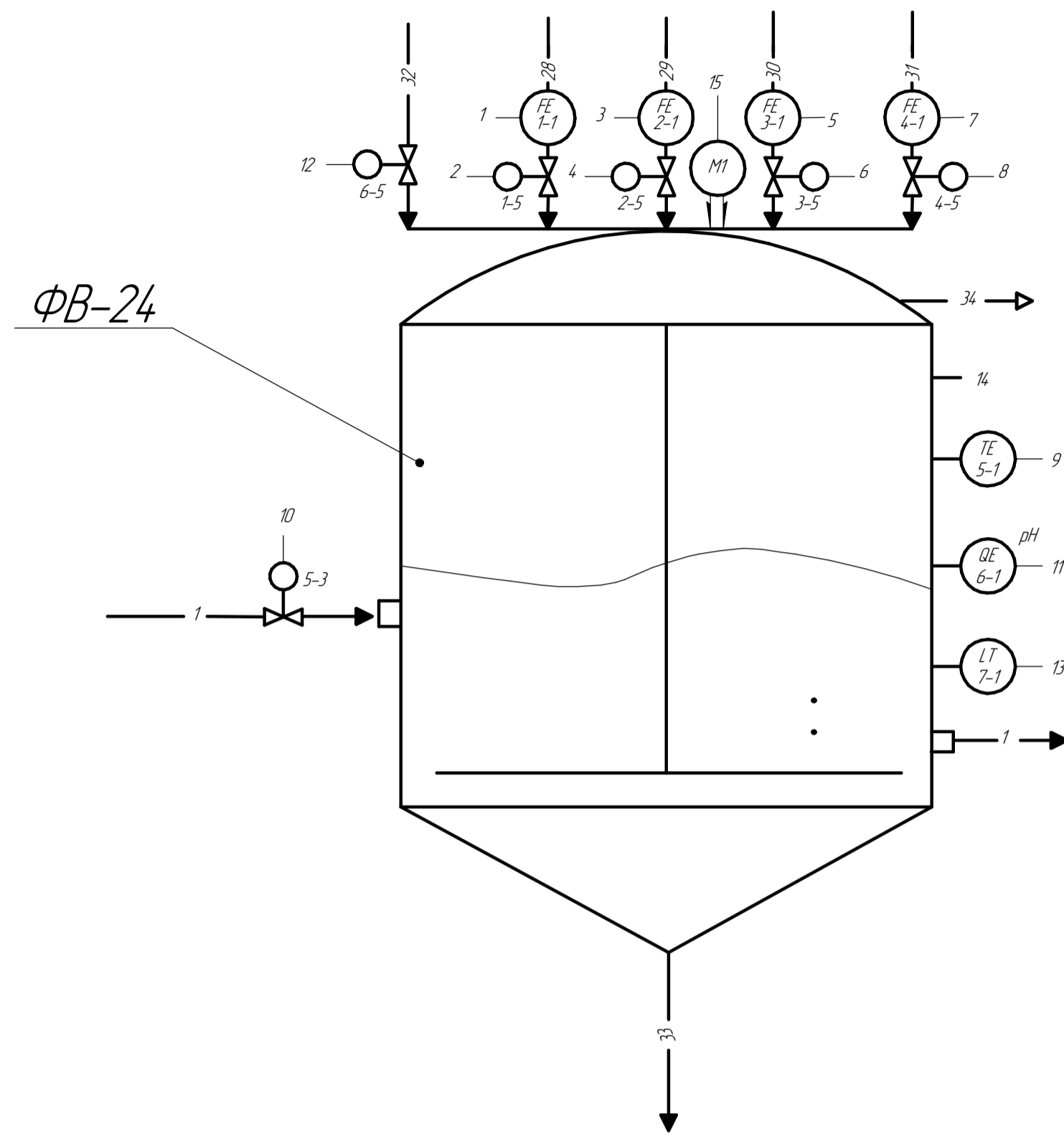
Таблиця трубопроводів

Умовне позначення	Графічне	Найменування середовища в трубопроводі
Літерне	Графічне	
В1		Вода питна
Т1		Вода технічна гаряча
Т2		Вода технічна холодна
Т91		Розчини дезінфікуючі
Т92		Посівний матеріал з активного мулу
Т93		Посівний матеріал м/о роду Clostridium
Т94		Посівний матеріал м/о роду Bacillus
Т7		Пара
ГО		Повітря технологічне
К3		Відходи зброєння

					МД ББ21.10.002 АС			
Зм.	Арх.	№докум.	Підп.	Дата	Апаратурна схема отримання біоводу з сільськогосподарських відходів шляхом анаеробної темної ферментації	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Кіншак М.В.							δ/м
Перевір.	Садліш І.А.					Аркш.	Аркшів	1
Т.контр.						КПІ ім.Горького Сікорського ФБТ, ББ-21мп		
Н.контр.								
Затвердив	Голуб Н.Б.							

КОМПАС-3D v21. Чеслова Вересня © 2022.000 "АКООН-Системи проєктування", Росія. Все права захищено.
 №в. № підл. Півд. т. дата. Взам. інв. №

Не для комерційного використання



Позиція	Назва технологічного устаткування	Кількість
1	Ферментер	1

Нумерація трубопроводів

- 28 - асоціація продуцентів з активного мушу з 1-11 до ферментеру-25
- 29 - продуцент роду Clostridium з 1-15 до Ф-25
- 30 - продуцент роду Bacillus з 1 - 19 до Ф-25
- 31 - субстрат через Дозатор-24 до Ф-25
- 32 - пилу кальцію
- 33 - відходи
- 34 - дренаж

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Прилади місцеві	FT 1-2	FT 2-2	FT 3-2	FT 4-2					DT 6-2					PI 8-1	PI 541	PI 101
Прилади на пульт керування	FR 1-3	FR 1-4	FR 2-3	FR 2-4	FR 3-3	FR 3-4	FR 4-3	FR 4-4	TR 5-2	DT 6-1			LI 7-2	PI 8-2	PI SBI	PI SBI2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Технічні засоби автоматизації місцеві	FT 1-2 FY 1-6	E/P FY 1-7 FY 2-6	FT 2-2 FY 2-7	E/P FY 2-7 FY 3-6	FT 3-2 FY 3-6	E/P FY 3-7	FT 4-2 FY 4-6	E/P FY 4-7		DT 6-2				PI 8-1	PI 541	PI 101	
Система SIMATIC S7	Вироблення	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Регулювання	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Керування	Технологічна															•
		Адварійна															
	Захист і блокування	Неперервна	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		За викликом															
	Рестрація	Неперервна	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		За викликом															
	Індикація	Неперервна	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		За викликом															
Ручне дистанційне керування																•	
Архівування																	

				МД ББ21.10.003 СА			
Зм.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Кіншич МВ						δ/м
Перевір.	Шидецький В.В.						
Т.контр.							
Н.контр.							
Затверд.	Голуб Н.Б.						
Автоматизація реактору					Аркцих	Аркцих	1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Копія					Формат		А1

Резюме стартп-проєкту

Показник	Характеристика
1. Сутність ідеї	Розробка технології отримання біоводню з целюлозовмісної сировини з подальшим збутом на ринку.
2. Наявність аналогів або прототипів ідеї	Аналогів в Україні немає.
3. Основна потреба, яку задовольнить реалізований стартап	Переробка відходів сільськогосподарської діяльності та насичення ринку доступним видом для різних промисловостей.
4. Ступінь розробленості технології реалізації	Технологія розроблена та готова до реалізації.
5. Класифікація продукту стартапу за міжнародною класифікацією товарів	Хімікати, призначені для використання в промисловості. Паливо.
6. КВЕД, до якого може належати виробництво	КВЕД 35.21 Виробництво газу
7. Очікувана потужність стартапу	Середнє підприємство
8. За масштабом виробництва	Масове
9. За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільне
10. За ресурсами, що споживатимуться	Працемістке, матеріаломістке, капіталомістке
11. За чисельністю персоналу	Середнє
12. Органи управління при реалізації стартапу	Національні
13. Бажане географічне розташування -потужностей стартапу; -офісу стартапу; -збутової мережі; -постачальників комплектуючих.	Розташування потужностей: Хмельницька область. Розташування офісу: м.Хмельницький. Збутова мережа: Україна. Постачальники комплектуючих: Україна, країни-члени ЄС.
14. Місце ідеї у ланцюжку цінностей інноваційного процесу	Переробка
15. Гранична корисність ідеї стартапу	Отримання відновлювального джерела енергії та покращення навколишнього середовища.
16. Бізнес-модель стартапу	B2B
17. Конкуренти вітчизняні	На етапі реалізації.
18. Конкуренти іноземні	HyPOWER. Ціна: 2\$/м³. Етап: реалізований на ринку продукт. Конкурентні переваги: швидкий доступ до новітнього устаткування та технологій. Фактори успіху: підвищена дотація національними органами влади на виробництво відновлювальних джерел енергії, швидкий розвиток матеріальної бази за рахунок фінансування.
19. Ключові фактори успіху стартапу	Легкий доступ до сировини, залученість інвесторів різноманітних еко-проєктів, рециркуляція відходів сільськогосподарської промисловості.
20. Споживачі	Хімічні підприємства, компанії по збуту палива.
21. Планова кількість продукту розробки для першого етапу реалізації	1 095 000 м³
22. Мінімальна кількість виробництва за методом точки беззбитковості	100 м³ біоводню за добу з однієї установки.
23. Споживачі на етапі розвитку	Хімічні підприємства та лабораторії
24. Споживачі на етапі зрілості	Компанії по збуту палива
25. Конкурентна ціна на продукт стартапу	10,2 (грн/м³ з ПДВ)
26. Плановий рівень рентабельності при реалізації продукту	102,13%
27. Капіталовкладень в проєкт	18 млн грн
28. Період повернення капіталовкладень у проєкт	1-3 роки
29. Джерела фінансування	Зовнішнє, внутрішнє, іноземне, національне
30. Основні компоненти продукції стартапу	Пшенична солома, активний річковий мул, гній ВРХ
31. Потенційні постачальники складових компонентів розробки	Потенційними постачальниками складових компонентів є вітчизняні виробники.
32. Планове місце реалізації результату розробки	Міста з високою долею виробництва пшениці.
33. Наявність посередників при реалізації	Відсутня
34. Методи просування результатів розробки на ринок	Особистий продаж

Техніко-економічні показники проєкту

Показники	Одиниця виміру	Умовне позначення, формула розрахунку
1. Річний обсяг реалізації ідеї, технології, методики	м³	366 000
2. Середньорічна чисельність персоналу за списком	Осіб	25
3. У тому числі - основних - допоміжних - інженерно-технічного персоналу - керівники	Осіб	6 7 6 4
4. Середньорічний виробіток робітника	м³/добу	14 640
5. Капіталовкладення у проєкт	грн	6012300
6. Повна собівартість	грн/м³	8614400
7. Відносний прибуток	грн	7395120
8. Рентабельність	%	102,13
9. Період повернення капіталовкладень	років	2 роки
10. Фондовіддача виробничих фондів	грн./грн	1,243
11. Фондоємкість	грн./грн	0,75
12. Продуктивність праці	$\frac{м^3}{\text{люд.} \times \text{год}}$	1,694
13. Коефіцієнт економічної ефективності	-	1,23

Ризики стартап-проєкту

Назва процесу/стадії проєкту	Бізнес-процеси	Зовнішні ризики	Внутрішні ризики
Розробка стартапу	Розробка плану та ідеї стартапу	Погіршення попиту на продукцію	Низький рівень зацікавленості у створенні виробництва
Реалізація плану	Підписання юридичних документів	Ускладнення з закупівлею землі, отриманням дозволів на виробництво. Ускладнення з пошуком інвесторів та отриманням фінансування від держави	Негативні настрої персоналу
	Закупівля матеріалів та обладнання	Інфляція та ріст цін на ринку	Дефіцит бюджету компанії
	Підведення комунікацій	Зміна закупочної ціни Проблеми з комунальними підприємствами Труднощі через географічне розташування	Ризик зриву побудови підприємства Дефіцит бюджету компанії
	Будівництво основних виробничих споруд	Зміна ціни на матеріали Зрив контракту з забудовником	Ризик зриву побудови підприємства Дефіцит бюджету компанії
Впровадження виробництва	Продаж біоводню	Зміна пріоритетів зацікавлених сторін Відсутність попиту	Низький рівень мотивації праці
	Продаж добрив	Відсутність попиту	Відсутність коштів
	Придбання запасних частин та додаткових матеріалів	Інфляція	Нестача бюджету
Масова реалізація	Продаж біоводню	Відсутність попиту	Низький рівень мотивації праці
	Продаж добрив	Відсутність попиту	Відсутність коштів
	Придбання запасних частин та додаткових матеріалів	Інфляція	Нестача бюджету

МД ББ21.10.004 СР

Розробка стартап проєкту на тему: «Біотехнологія отримання біоводню з сільськогосподарських відходів»

Розроб. Кінаш М.В.

Консульт. Погребняк А.Ю.