

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ І МЕХАНОТРОНІКИ

«На правах рукопису»
УДК 62.4

До захисту допущено:
В.о.завідувача кафедри ПГМ
Олег ЛЕВЧЕНКО
“ ” 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та роботизовані
механічні системи»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Дослідження робочих процесів в біполярному електролізері з
протонообмінною мембраною

Виконав : студент 2 курсу, групи МА-21мп
(шифр групи)

Шевчук Денис Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник Ст.викл., к.т.н. Костюк Д.В
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант тех.маш. к.т.н., доцент кафедри ТМ Кореньков В.М.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент доц. каф. ТВЛА, Борис Р.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2024 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ПГМ

_____ Олександр ЛУГОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Шевчук Денис Володимирович
_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Дослідження робочих процесів в біполярному електролізері з протонообмінною мембраною _____

науковий керівник дисертації Ст.викл., к.т.н. Костюк Д.В _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «03» листопада 2023 р. №5127-с

2. Термін подання студентом дисертації « 11 » січня 2024 _____

3. Об'єкт дослідження Біполярний електролізер з протонообмінною мембраною та фактори, що впливають на робочий процес _____

4. Вихідні дані Потужність джерела живлення 100КВт, кількість виділеного газу 0,4-0,6 гр/с, Насос Р – 0,01..0,05 МПа, Т – 0..+80°С _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Проаналізувати конструкції та особливості в роботі електролізерів з метою виявлення недоліків та переваг кожного з типів. Визначити основні параметри які впливають на процес електролізу. Створення електронної дослідницької моделі електролізеру. Тестування створеної системи. На основі проведених досліджень зробити висновки. _____

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу A1-3листи, A4-3листи, A3-3 листи

7. Орієнтовний перелік публікацій одна теза доповіді на міжнародній науково-технічній конференції

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологія машинобудування	Кореньков В.М., к.т.н., доцент кафедри ТМ		

9. Дата видачі завдання 26.10.2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Виконання аналізу існуючих методів виробництва водню та систем з високою енергоефективністю та продуктивністю та основних параметрів, що впливають на процес електролізу, шляхом проведення літературного пошуку.	10.11.2023	
2	Створення симуляційної моделі електролізера в середовищі Simscape Simulink для дослідження робочих процесів в електролізері без створення реального випробувального стенду	25.11.2023	
3	Проведення експериментальних досліджень зі зміною параметрів, що впливають на робочий процес	20.12.2023	
4	Написання розділу ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ	25.12.2023	
	Написання розділу БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ	1.01.2024	
5	Написання розділу РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	4.01.2024	

Студент

Денис ШЕВЧУК

Керівник

Дмитро КОСТЮК

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: Дослідження робочих процесів в біполярному електролізері з
протонообмінною мембраною

Київ – 2024 рік

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему : «Дослідження робочих процесів в біполярному електролізері з протонообмінною мембраною», складається з 5 розділів, обсяг пояснювальної записки 96 сторінок основного тексту, включає 42 рисунки і 21 таблицю.

Метою роботи було визначення переваг та недоліків електролізу та дослідження робочих процесів в біполярному електролізері, а саме факторів, що впливають на експлуатаційні параметри шляхом створення симуляційної моделі електролізера в середовищі Simscape Simulink без створення реального випробувального стенду

Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлені наступні задачі:

- Проаналізувати конструкції та особливості в роботі електролізерів з метою виявлення недоліків та переваг кожного з типів
- Визначити основні параметри які впливають на процес електролізу, щоб використати їх для проведення дослідів
- Створення електронної дослідницької моделі електролізера
- Тестування створеної системи
- На основі проведених досліджень зробити висновки

Перший розділ даної роботи присвячено аналізу способів одержання та зберігання водню та огляду існуючих конструкцій електролізера та їх особливостей.

Другий розділ даної роботи присвячено розробці симуляційної моделі електролізера та проведенню дослідів.

Ключові слова: електролізер, воднево-киснева суміш, симуляційна модель, робочі параметри.

Публікації. За темою магістерської дисертації була опублікована одна теза доповіді на міжнародній науково-технічній конференції «НОВІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РЕСУРСО - ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ».

ABSTRACT

The master's thesis on the topic: "Investigation of work processes in a bipolar electrolyzer with a proton exchange membrane", consists of 5 chapters, the volume of the explanatory note is 96 pages of the main text, includes 42 figures and 21 tables.

The purpose of the work was to determine the advantages and disadvantages of electrolysis and to study the work processes in a bipolar electrolyzer, namely the factors affecting operational parameters by creating a simulation model of the electrolyzer in the Simscape Simulink environment without creating a real test bench

To achieve this goal, the following tasks are set in the work:

- To analyze the designs and features in the operation of electrolyzers in order to identify the disadvantages and advantages of each type
- Determine the main parameters that affect the electrolysis process in order to use them for conducting experiments
- Creation of an electronic research model of an electrolyzer
- Testing of the created system
- Draw conclusions based on the conducted research

The first section of this work is devoted to the analysis of methods of obtaining and storing hydrogen and a review of existing electrolyzer designs and their features.

The second section of this work is devoted to the development of a simulation model of the electrolyzer and conducting experiments.

Key words: electrolyzer, hydrogen-oxygen mixture, simulation model, operating parameters.

Publications. On the topic of the master's thesis, one thesis of the report was published at the international scientific and technical conference "NEW AND UNTRADITIONAL TECHNOLOGIES IN RESOURCE AND ENERGY SAVING

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ABSTRACT	6
ВСТУП	10
1. ВОДЕНЬ – ЗЕЛЕНА ЕНЕРГІЯ МАЙБУТНЬОГО.....	11
1.1.Екологічні проблеми, які виникають при використанні органічного пального	11
1.2.Воднева технологія – шлях до екологічної рівноваги.....	14
1.3.Способи одержання водню	15
1.4.Способи зберігання та транспортування водню	19
1.5 Схемні рішення електролізерів та принцип дії.....	22
1.6. Нові напрямлення в водневій енергетиці	31
1.7 Енергетичні переваги електролізу води.....	33
1.8 Експлуатаційні параметри електролізерів.....	34
1.9 Фактори що впливають на експлуатаційні параметри електролізерів	36
1.10 Енергетичний баланс елктролізера	38
Цілі та задачі:.....	39
Висновки до розділу	40
2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ В БІПОЛЯРНОМУ ЕЛЕКТРОЛІЗЕРІ З ПРОТОНООБМІННОЮ МЕМБРАНОЮ	41
2.1. Розробка принципової схеми установки для електролізу.....	41
2.2 Розробка принципової гідравлічної схеми для електролізера.....	42
2.2.1.Гідравлічний розрахунок і вибір трубопроводів та апаратури	45
2.2.2.Розрахунок числа Рейнольдса.....	47
2.2.3.Визначення втрат на місцевих опорах	47
2.2.5. Розрахунок різьбових з'єднань	48

МА21мп.20.МД.000.00.ПЗ								
Зм	Апк	№ док.им	Підпис	Пом	Дослідження робочих процесів в біполярному електролізері з протонообмінною мембраною	Лист	Аркцш	Аркцшів
		Шевчук Д.В.				7	102	
		Костюк Д.В.				КПІ ім. І. Сікорського ММІ МА-21мп		

2.3 Розробка принципової пневматичної схеми водневої магістралі	49
2.3.1. Розрахунок магістралі для виведення водню	50
2.4 Процес електролізу за хімічним законами Фарадея.....	50
2.5 Вибір матеріалу пластин електролізера.....	52
2.6 Розробка електронної моделі біполярного електролізера з ПОМ в середовищі Simscape Sinulink	53
2.7 Будова схеми електролізера в системі Simscape Sinulink	54
2.7.1 Будова електродного вузла	58
2.8 Вибір джерела живлення	59
2.9 Проведення дослідів	61
2.9.1 Дослід 1. Електролізер з 50 електродами	61
2.9.2 Дослід 2. Електролізер з 30 електродами	64
2.9.3 Дослід 3. Електролізер з 30 електродами (менша потужність).....	67
Висновки до розділу	68
3. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ	70
3.1. Аналіз призначення деталі у вузлі	70
3.2 Проектування технології виготовлення.....	70
3.3 Вибір обладнання та оснастки	74
Висновки до розділу	76
4. БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА.....	78
ПРОЕКТУВАННЯ	78
4.1. Мікроклімат	78
4.2. Освітлення.....	80
4.3. Пожежна безпека.....	81
4.4. Електробезпека.....	83
4.5 Техніка безпеки при роботі з Електролізером	85
Висновки до розділу	86
5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	87
5.1 Зміст ідеї.....	87
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	88

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	89
5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	93
5.5 Маркетингова програма стартап проекту.....	95
Висновки до розділу	96
ВИСНОВОК ДО РОБОТИ	97
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	99

ВСТУП

Водень - найпростіший хімічний елемент, який має безліч унікальних властивостей, що роблять його перспективним енергоносієм майбутнього.

У промисловості водень використовується вже давно, в основному як сировина для виробництва аміаку, метанолу та інших хімічних речовин. Однак останнім часом він все частіше розглядається як перспективний енергоносіє.

Потреби суспільства в енергії постійно зростають, а запаси традиційних джерел енергії, таких як нафта, газ та вугілля, обмежені. Водень, на відміну від них, є відновлюваним джерелом енергії, яке можна отримувати з різних джерел, включаючи воду, відновлювані джерела енергії та навіть органічні відходи [4].

Водень має ряд переваг перед традиційними джерелами енергії. По-перше, він має високу теплоту згоряння, що означає, що з нього можна отримати більше енергії, ніж з інших видів палива. По-друге, водень не утворює шкідливих викидів при згорянні, що робить його екологічно чистим джерелом енергії.

Водень можна використовувати в різних галузях, включаючи транспорт, енергетику та промисловість. У транспорті водень можна використовувати як паливо для автомобілів, автобусів, поїздів та в літако-аерокосмічній галузі [1]. Як можемо бачити водень є універсальним енергоносієм, а саме тому являє собою перспективний об'єкт для досліджень. У енергетиці водень можна використовувати для виробництва електроенергії, а в промисловості - для отримання тепла, пари та інших видів енергії. Розвиток технологій виробництва та зберігання водню сприяє його все більш широкому використанню. У найближчі роки водень має всі шанси стати одним з основних джерел енергії в світі.

1. ВОДЕНЬ – ЗЕЛЕНА ЕНЕРГІЯ МАЙБУТНЬОГО

1.1. Екологічні проблеми, які виникають при використанні органічного пального

Навколишнє середовище - це складна система, що складається з чотирьох взаємопов'язаних сфер: біосфери, атмосфери, гідросфери та літосфери. У природі існує динамічна рівновага між цими сферами, яка забезпечує життєдіяльність усіх живих організмів. Однак, людська діяльність порушує цю рівновагу, що призводить до негативних екологічних наслідків.

Одним із основних джерел забруднення навколишнього середовища є спалювання органічних копалин. При цьому в атмосферу потрапляють шкідливі речовини, такі як діоксид вуглецю, оксиди азоту, оксиди сірки, вуглеводні. Ці речовини викликають кислотні дощі, парниковий ефект, забруднення повітря та води.

Автомобільний транспорт є одним із основних джерел забруднення навколишнього середовища. При роботі двигуна внутрішнього згорання утворюються такі речовини: CO - 1-9% насичені вуглеводні - 0,5-8%, ненасичені вуглеводні - 0,5%, CO₂ - 2-10%, H₂- 1-7, O₂ - 05-5, N₂ - 69-79% . Автомобіль при середньорічному пробігу 15 тис. км викидає в навколишній простір 3250 кг CO₂, 250 кг, 93 кг вуглеводнів і 27 кг оксидів азоту [1]. Як бачимо двигун внутрішнього згорання який працює на бензині або дизельному паливі створює велику кількість викидів які призводять до однієї з найбільшій проблем сучасного суспільства, а саме глобального потепління.

За даними досліджень, середньорічний пробіг легкового автомобіля в Україні становить близько 15 тис. км. За цей час автомобіль викидає в атмосферу близько 3250 кг діоксиду вуглецю, 250 кг оксидів азоту, 93 кг вуглеводнів. Слід зазначити, що викиди від автомобільного транспорту становлять близько 40% від загального обсягу забруднення атмосфери в Україні.

Табл. 1.1 Викиди автомобілів та промисловості включаючи електростанції в США [1. с.18].

Шкідливі речовини	Викиди, млн. т/рік		Шкідливі речовини	Викиди, млн. т/рік	
	автомобілі	Промисловість + електростанції		автомо-білі	Промисловість + електростанції
Оксид водню	59,7	5,2	Оксиди азоту, що містять	5,5	6,5
Вуглеводні та інші органічні сполуки	10,9	6,4	мікрочастки	1,1	22,4
				1,0	9,8

За даними ЮНЕСКО, в даний час на спалювання вугілля, нафти, газу та інших горючих копалин витрачається близько 2,1 мільярда тонн вільного кисню на рік. Це еквівалентно кількості кисню, яка необхідна для життя 43 мільярдів людей.

Таке споживання кисню значно перевищує всі природні статті балансу кисню в біосфері і не компенсується жодним іншим процесом. Наприклад, доросле дерево виділяє за день всього 180 літрів кисню, а реактивний літак з 4-ма двигунами за час польоту з Нью-Йорка до Парижа споживає 35 тонн кисню. Це така кількість, яку виділяє за день 3 тисячі гектарів лісу.

Автомобіль на 1000 км пробігу споживає стільки кисню, скільки доросла людина за рік. Це означає, що автомобіль, який щодня долає 20 км, споживає стільки кисню, скільки людина, яка дихає протягом 20 років.

Електростанція середньої потужності, що працює на органічному паливі, витрачає приблизно стільки ж кисню, скільки його виробляє лісовий масив площею 1,5-2 тис. км. [6]. Слід зазначити, що кількість «зелених» насаджень постійно зменшується, і не може створити рівноваги кисневого балансу. Це означає, що електростанція, яка виробляє електроенергію для міста з населенням 1 млн чоловік, споживає стільки ж кисню, скільки його виробляє лісовий масив площею, яка вдвічі перевищує площу міста.

Такий стан справ є серйозною проблемою, яка може мати катастрофічні наслідки для навколишнього середовища. Зростання споживання кисню призводить до його дефіциту, що може призвести до загибелі рослин і тварин. Крім того, спалювання горючих копалин викликає парниковий ефект, який призводить до глобального потепління.

Табл. 2.1 Основні джерела забруднення атмосфери планети [1, с.51]

Джерело забруднення	Викиди в атмосферу, млн т/рік				
	CO ₂	CO	SO ₂	вуглеводні	NO ₂
Використання вугілля	7000	15	100	Мало	30
Переробка нафти	-	50	10	10	Мало
Використання нафтопродуктів	7000	250	40	60	35
Втрати нафти при транспортуванні	-	-	-	10	-
Використання природнього газу	2400	-	-	-	5
Використання					

нестандартного пального(дрова, сільськогосподарські відходи та ін.)	2000	50	Мало	Мало	Мало
Відходи кольорової металургії	-	-	25	-	-
Випаровування розчинників	-	-	25	-	-
Спалювання відходів	600	35	Мало	15	Мало
Всього	19000	400	400	95	70

1.2.Воднева технологія – шлях до екологічної рівноваги

У сучасному світі зростає попит на енергію. При цьому традиційні джерела енергії, такі як вугілля, нафта та газ, є невідновлюваними та забруднюють навколишнє середовище. Водень є перспективним енергоносієм, який може вирішити ці проблеми, а також допомогти вирішити проблему глобального потепління [10]. Оскільки при спалюванні водню не виникає шкідливих відходів, а методи видобування водню використовують альтернативні джерела енергії.

Водень має ряд переваг перед традиційними джерелами енергії. Він:

- Універсальний: його можна використовувати в різних галузях, таких як транспорт, промисловість та енергетика.

- Ефективний: при згорянні водню виділяється більше енергії, ніж при згорянні інших видів палива [30]. Тому однією з перспективних галузей є водневе автомобілебудування, ДВС який працює на водневій суміші має значно вищий ККД в порівнянні з своїми аналогами які працюють на продуктах нафтопереробки, а продуктом згорання є водяний пар.
- Екологічно чистий: при спалюванні водню не виділяються шкідливі викиди, що сприяє зменшенню парникового ефекту.

Запаси сировини для отримання водню практично невичерпні. Він може бути отриманий із води, а також з відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова та геотермальна енергія.

Перехід на водневу економіку може мати ряд переваг для суспільства.

Він дозволить:

- Знизити залежність від невідновлюваних джерел енергії.
- Покращити екологію.
- Створити нові робочі місця.

Водень є перспективним енергоносієм, який може забезпечити енергетичну безпеку та екологічну чистоту майбутнього. Він також може допомогти вирішити проблему глобального потепління. Для успішного переходу на водневу економіку необхідно розробити ефективні технології виробництва, зберігання та транспортування водню [16]. Електролізери мембранного типу можуть майже повністю вирішити ці проблеми, а саме недорогим, локальним виробництвом водню.

1.3.Способи одержання водню

Існують різні способи отримання водню, які використовують різні технології. Деякі з них є промисловими, а інші - лабораторними. Способи виробництва

		Шевчук Д.В.			МА21мп.20.МД.000.00.ПЗ	15
		Костюк Д.В.				

водню можна поділити на три основні групи: електрохімічні, хімічні та фізичні [3]. Для нас найбільш цікавим є електрохімічний спосіб, а саме процес електролітичного розділу води на O_2 та H_2 .

Найбільш дослідженими є такі технології:

1. Видобування водню з вуглеводневих сполук – конверсія метанолу, природного газу, дизельного палива, бензину та ін; газифікація вугілля

Найраціональнішим з них є спосіб виділення водню з природного газу за допомогою пару

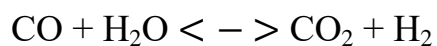
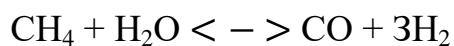


Рис. 1.3.1 Установа для одержання водню конверсією природного газу

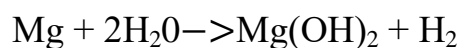
2. Виділення водню з води

2.1 Електроліз – суть цього процесу полягає в розкладі води електрохімічним методом в результаті якого утворюється газоподібний водень та кисень при пропусненні через воду електричного струму [32]. Електролізери в яких проходить процес розкладу можуть мати різні габарити, а завдяки сучасним технологіям можна створити потужні нерозбірні електролізери методом з'єднання пластин під високим тиском.

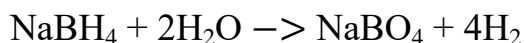


Рис. 1.3.2 Установа для одержання водню електролізом води

2.2 Метод розкладання води гідрореагуючими металами такими як: алюміній, магній, залізо



3. Одержання водню з гідридів та боргідридів металів Найбільш практично вживаний – боргідрид натрію, але вихідні продукти та продукти реакції вкрай токсичні



Слід чітко розуміти, що практично всі перераховані вище технології отримання водню можуть бути реалізовані [4]. Хоча ці способи не знайшли такого широкого поширення як локальний видобуток, адже транспортування водню досі лишається великою проблемою.

Але не дивлячись на переваги електролізу ці методи досі використовують:

1. У промислових масштабах на централізованих виробництвах.

У цьому випадку необхідно створити складну інфраструктуру, що включає проміжне зберігання водню на виробничому підприємстві, налагоджений парк спеціалізованого транспорту (автомобільного, залізничного) для транспортування водню до кінцевого споживача, а також системи зберігання водню на місцях його використання [9].

2. У місці безпосередньо поруч із станцією електроенергетики. У такому випадку немає потреби в проміжному зберіганні та транспортуванні водню.

3. В межах самого об'єкта використання, а саме електроенергетичної установки. Це найбільш вигідний та енергоефективний метод для задоволення потреб у водневій енергетиці.

Інші способи одержання водню:

- з використанням ядерної енергії;

- з використанням відновлюваних джерел енергії,

наприклад, електролізом води за рахунок енергії сонця, вітру, гідроенергії;



Рис. 1.3.3 Альтернативні методи одержання водню

1.4.Способи зберігання та транспортування водню

Розробка компактних, надійних і економічно доступних систем для зберігання та транспортування водню представляє собою одну з ключових викликів у водневій енергетиці. Складність цього завдання пояснюється тим, що в вільному стані водень є найлегший та один з найнижчих за температурою кипіння газів. Наочно це можна виразити тим, що в рідкому або твердому стані водень менший за воду та бензин [20]. До того ж водень має особливість просочуватись на молекулярному рівні, тому використовують тільки товстостінні контейнери для його зберігання.

Найвідоміший метод зберігання та транспортування водню - це використання газових балонів у стислому стані [9]. Але враховуючи їхні розміри та високу вибухопожежну небезпеку, цей метод не повністю відповідає умовам безпечної експлуатації в наземному транспорті та на морських об'єктах.



Рис. 1.4.1 Газобалонний метод

Інший відомий метод зберігання та транспортування водню, який також характеризується вибухонебезпекою, - це у кріогенній формі. Навіть при широкому використанні цього методу в космічній техніці, його значущі недоліки ускладнюють його застосування в інших видах транспорту та особливо в стаціонарних енергетичних установках.



Рис 1.4.2 Кріогенний метод

	Шевчук Д.В.			МА21мп.20.МД.000.00.ПЗ	20
	Костюк Д.В.				

З погляду безпеки найоптимальніший метод зберігання та транспортування водню - це пов'язане зберігання. Це може бути або "зберігання у хімічно пов'язаній формі (гідриди) [12], або зберігання, використовуючи керовані процеси сорбції-десорбції водню за допомогою певних інтерметалідних сполук". Але цей метод є дуже дорогим адже нам потрібні додаткові хімічні сполуки.

Перспективність такого способу визначається такими особливостями:

- використання гідридів для накопичення водню, які слугують проміжним продуктом під час транспортування та зберігання;
- генерація водню безпосередньо на місці його використання;
- застосування принципу акумулятора з можливістю багаторазового заряджання та розряджання без необхідності заміни сорбентів;
- можливість практично необмеженого в часі зберігання водню без втрати;
- робота під низьким тиском та температурою під час експлуатації.

Невеликі недоліки цього методу включають велику вагу системи зберігання та відносно високі витрати.

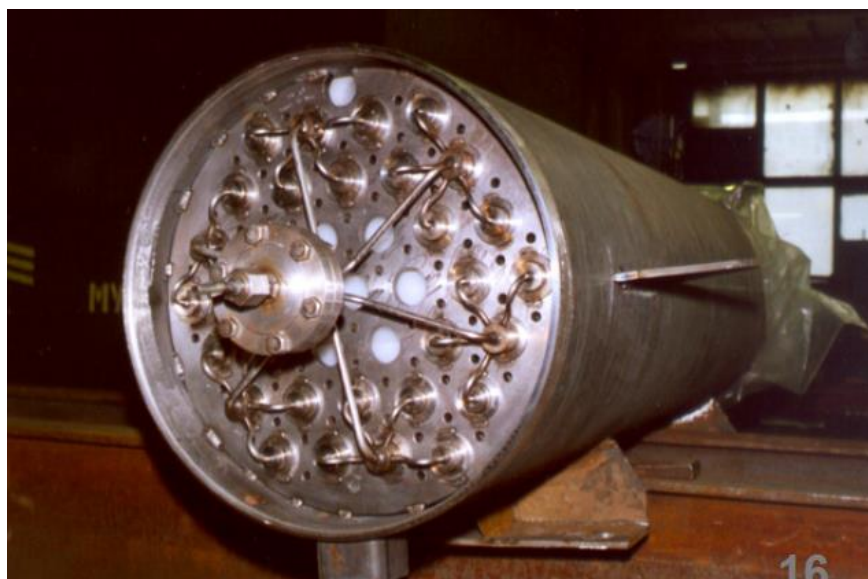


Рис 1.4.3 Установка для гібридного зберігання водню

1.5 Схемні рішення електролізерів та принцип дії

Широкий спектр методів виробництва водню становить одну з ключових переваг водневої енергетики, оскільки це сприяє підвищенню енергетичної безпеки та зменшенню залежності від конкретних видів сировини.

Основні способи отримання водню:

Водень можна отримати різними способами, існують як традиційні, так і нові технології. Ось деякі з основних способів отримання водню:

1.Стандартний електроліз води:

- Термічний електроліз: Вода нагрівається, і під впливом електричного струму відбувається розщеплення води на водень і кисень [7]. Цей метод надалі буде розглядатись в нашій системі (нагрівання води відбувається в процесі реакцій на електродах) .
- Холодний (або амбієнтний) електроліз: Відбувається без попереднього нагрівання води.

2. «Соларний» електроліз:

- Використовує сонячні панелі для генерації електроенергії, яку потім використовують для електролізу води.

3.Бактеріальна ферментація:

- Застосовує бактерії або мікроорганізми для виробництва водню, зазвичай за умови використання органічних речовин.

4.Парова реформа метану (SRM):

- Метан розщеплюється на водень і вуглекислоту за високої температури і тиску.

5. Термічна конверсія біомаси:

- Біомаса піддається термічному розкладанню або газифікації для виробництва газу, що містить водень.

6. Фотокаталіз:

- Використовує фотокаталізатори для прямого виділення водню з води за впливом сонячного світла.

7. Піроліз біомаси:

- Термічний розклад біомаси при відсутності кисню, що призводить до утворення газу, включаючи водень [16]. Є найбільш непоширеним методом через його складність, значні енергетичні витрати та створення необхідних умов для біомаси.

8. Екстракція водню з газових сумішей:

- Може включати очищення водню з різних газових джерел, таких як природний газ.

Найпоширеніший спосіб отримання водню на сьогодні - це електроліз води, але цей метод характеризується низькою ефективністю використання енергії. Електролітично отриманий водень є найбільш доступним, але його виробництво вважається дорогим. В промислових і науково-дослідницьких установках ефективність електролізера досягає приблизно 70-80%, при щільності струму менше 2 А/см², включаючи умови електролізу під тиском. [15]. Але дороговизну виробництва можна зменшити шляхом використання альтернативних джерел енергії в якості живлення.

Існує багато методів та рішень, щодо підключення електролізерів але розглянемо два найбільш ефективні:

		Шевчук Д.В.			МА21мп.20.МД.000.00.ПЗ	23
		Костюк Д.В.				

- Монополярна схема підключення
- Біполярна схема підключення

Монополярна схема підключення

Комірка монополярного електролізера складається з ємності, заповненої електролітом, закритої герметичною кришкою. В середині ємності розміщені електроди – анод та катод, які занурені в електроліт, що зазвичай є 10-30% розчином лугу [15]. Але монополярні схеми можуть сприяти розвитку побічних реакцій, таких як окиснення води на роздільному електроді, що може призводити до втрати ефективності та зниження якості продукції. Електродна система спроектована для оптимальної роботи при струмі від 10 до 300 А і напрузі між електродами в межах 1,8-3 В, що залежить від матеріалу електродів. Найбільш поширені матеріали для електродів це відносно недорогі - сталь, нержавіюча сталь або нікель. Продуктивність генерації у такому електролізері можна оцінити за емпіричною формулою:

$$V = 0.6 \times 10^{-3} \times jn \left(\frac{\text{м}^3}{\text{ГОД}} \right)$$

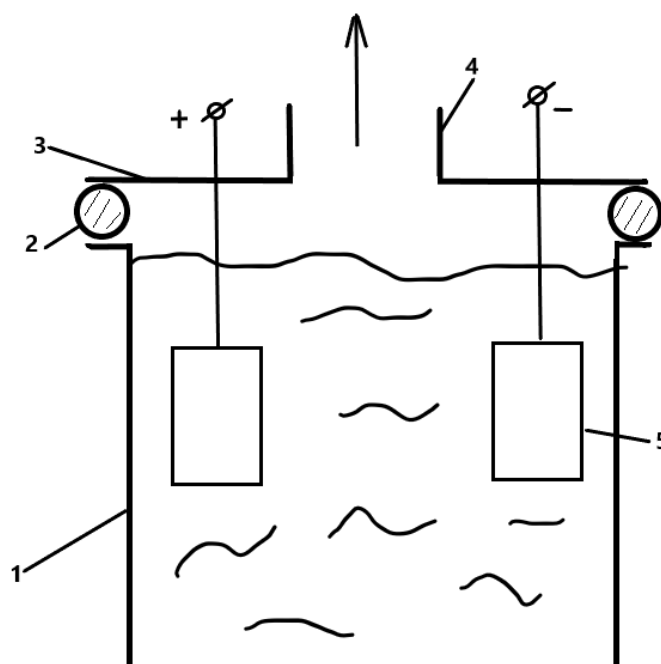


Рис. 1.5.1 Схема електролізерно-водневого генератора монополярного типу: 1 - корпус; 2 - прокладка; 3 - кришка; 4 - вихідний штуцер; 5 – електроди

На рис 1.5.2. зображена блок схема монополярного електролізера, в якій показано основні його складові

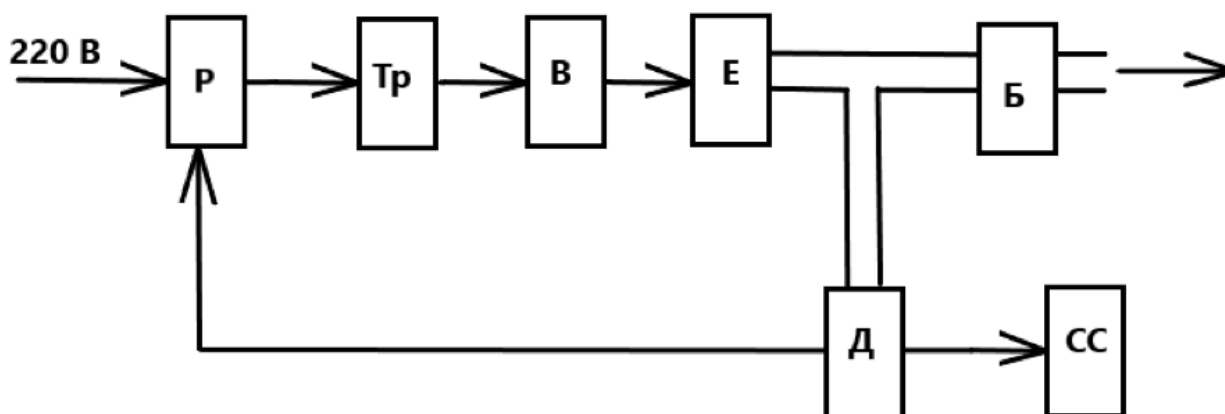


Рис. 1.5.2 Блок схема монополярного електролізера: Р - регулятор потужності; В – вирівнювач; Е – електролізер; Тр - трансформатор (понижуючий); Д – датчик тиску; СС – система сигналізації; Б – барботер;

Електролізерно-водневі генератори подібного типу можуть видавати максимальну продуктивність близько $0,36 \text{ м}^3 / \text{год}$, при з'єднанні двох комірок, або ж до $1,8 \text{ м}^3 / \text{год.}$, якщо декілька комірок з'єднані послідовно.

Біполярна схема підключення

Біполярний електролізер (рис.1.5.3) складається з окремих комірок, в яких розміщені пластинчасті електроди. Кожна комірка ізолювана від інших гумовими ущільнювачами. У верхній і нижній частині кожної комірки є отвори для заливки електроліту і відведення газів [5]. Однією з переваг є те, що створивши розбірну систему, ми можемо збільшувати, або ж зменшувати кількість пластин-електродів.

У біполярному електролізері анодні і катодні електроди чергуються. Це дозволяє зменшити загальну довжину електролізера, а також підвищити його продуктивність.

Схема підключення біполярного електролізера складається з наступних компонентів:

- Електролізерна комірка - це основний елемент електролізера, в якому відбувається розкладання води на водень і кисень.
- Джерело живлення - це пристрій, що забезпечує електроенергію для електролізера.
- Випрямляч - це пристрій, що перетворює змінний струм від джерела живлення в постійний струм, необхідний для роботи електролізера.

Особливості біполярної схеми підключення електролізера:

- Зменшення загальної довжини електролізера. Це дозволяє зменшити габаритні розміри електролізера і зробити його більш компактним.
- Підвищення продуктивності електролізера. Це пов'язано з тим, що в біполярному електролізері анодні і катодні електроди чергуються, що дозволяє збільшити площу поверхні електродів, що контактують з електролітом.
- Зменшення витрат електроенергії. Це пов'язано з тим, що в біполярному електролізері анодні і катодні електроди чергуються, що дозволяє зменшити опір електроліту.

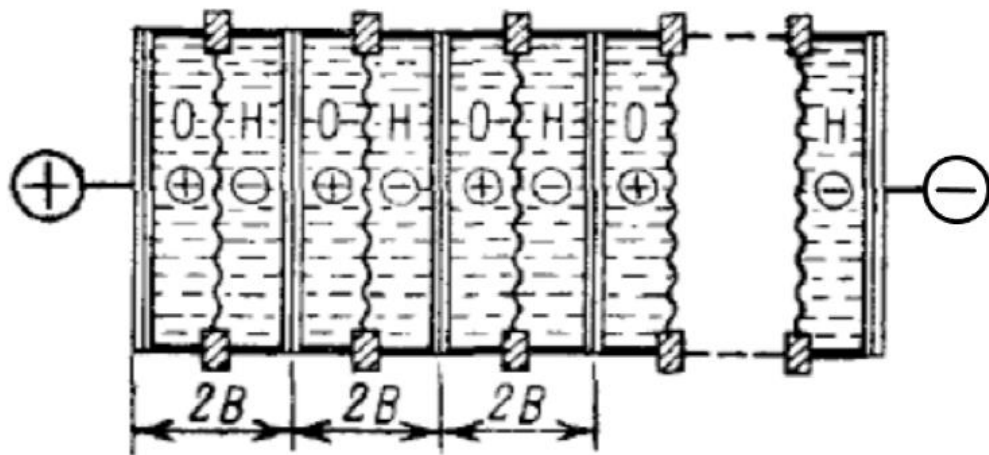


Рис.1.5.3 Схема комірок біполярного електролізера [8]

Недолік, що є характерним для біполярних електролізерів, полягає у можливості руйнування між електродними ущільненнями, що може призвести до витoku електроліту та розгерметизації електролізера. Тому важливим напрямком у вдосконаленні таких систем є підвищення рівня безпеки їх експлуатації.

Ось кілька можливих способів підвищення безпеки біполярних ЕВГ:

- Використання нових матеріалів для між електродних ущільнень, які будуть більш стійкими до руйнування.
- Впровадження додаткових систем захисту, які будуть попереджати розгерметизацію електролізера в разі руйнування ущільнень [13]. Сучасні електролізери зазвичай роблять нероз'ємними, оскільки пластини притискаються з дуже великим тиском щоб зберегти герметичність та зменшити розміри.
- Розробка нових методів ремонту електролізерів, які будуть дозволяти швидко і безпечно усунути пошкодження між електродних ущільнень.

Впровадження цих заходів дозволить зробити біполярні ЕВГ більш безпечними і надійними, що сприятиме їх широкому поширенню в промисловості.

Розглянувши основні схеми підключення електролізерів, розглянемо їх різновиди конструкцій:

- Мокрий електролізер
- Сухий електролізер

Мокрий електролізер складається з кількох комірок, заповнених електролітом. Кожна комірка розділена на два відсіки пористою мембраною. На одному боці мембрани знаходиться катод, на якому виділяється водень, а на другому - анод, на якому виділяється кисень [13].

У промисловому масштабі мокрі електролізери використовуються для виробництва великих обсягів водню. Цей водень використовується в різних галузях промисловості, включаючи виробництво нафтохімічних продуктів, металургію та виробництво енергії.

Для автомобільного транспорту електролізери можуть використовуватися для виробництва водню для використання в паливних елементах. Паливні елементи - це пристрої, які перетворюють хімічну енергію водню і кисню в електричну енергію.

Для локального застосування для власних побутових потреб електролізери можуть використовуватися для виробництва водню для використання в різних пристроях, таких як генератори, водонагрівачі та автомобілі.

Недоліки:

		Шевчук Д.В.			МА21мп.20.МД.000.00.ПЗ	28
		Костюк Д.В.				

- Великий розмір. Електролізер поєднує в собі функції виробництва газу і зберігання запасу води, тому займає багато місця в автомобілі. Це може ускладнити його розміщення.
- Необхідність електроізоляції. Для того щоб електроліт не потрапляв на металеві частини електролізера, їх необхідно ізолювати. Це ускладнює конструкцію і підвищує вартість.
- Механічні проблеми. Постійні вібрації в їдкому лужному середовищі можуть призвести до розкручування з'єднань електричних полюсів з пластинами електролізера.
- Для електролізерів не існує стандартних ємностей, які можна було б використовувати в автомобілях. Виготовлення спеціальних ємностей збільшує вартість електролізера.
- Герметизація. Герметизація ємностей для електролізера також є проблемою. Для пластикових ємностей необхідно використовувати спеціальні прокладки, які повинні бути стійкими до лугу. Нержавіюча сталь, хоча і дозволяє використовувати зварювання, але під час зварювання втрачає свої антикорозійні якості

Тип електролізера, в якому вода не присутня в рідкому стані називають «Сухим». Замість цього, вода наноситься на поверхню електродів у вигляді тонкої плівки або порошку. Це дозволяє підвищити ефективність електролізу, оскільки вода не розбризкується і не втрачається.

Існує кілька різних типів «сухих» електролізерів. Один з найпростіших типів - це електролізер із твердим електролітом [11]. Але хоч цей тип є простим, він доволі фінансово та енергоефективний. У цьому типі електролізера вода наноситься на поверхню електродів у вигляді тонкої

плівки твердого електроліту. Твердий електроліт може бути зроблений з різних матеріалів, таких як оксиди металів, полімери або солі.

Інший тип «сухого» електролізера - це електролізер із пористими електродами. У цьому типі електролізера вода наноситься на поверхню електродів у вигляді тонкого шару води, який заповнює пори електродів. Пористими електродами можуть бути металеві пластини, вугілля або інші матеріали з високою пористістю.

«Сухі» електролізери мають ряд переваг перед традиційними електролізерами, які працюють у рідкому середовищі. Вони більш ефективні, оскільки вода не розбризкується і не втрачається. Крім того, вони менш схильні до корозії і забруднення.

«Сухі» електролізери використовуються в різних галузях промисловості, таких як виробництво водню, електролізна обробка металів та виробництво хімічних речовин. Вони також мають потенціал для використання в нових технологіях, таких як зберігання енергії та виробництво відновлюваних джерел енергії.

Переваги сухих електролізерів:

- Більша ефективність. У сухих електролізерах вода не розбризкується і не втрачається, що підвищує їхню ефективність. Ефективність сухих електролізерів може досягати 90%, тоді як ефективність традиційних електролізерів, які працюють у рідкому середовищі, становить близько 70%.
- Менша схильність до корозії та забруднення. Сухі електролізери менше схильні до корозії та забруднення, ніж традиційні електролізери. Це

пов'язано з тим, що вода в сухих електролізерах не контактує безпосередньо з електродами.

Більш широкий діапазон робочих температур. Сухі електролізери можуть працювати в більш широкому діапазоні робочих температур, ніж традиційні електролізери. Це дозволяє використовувати їх у різних галузях промисловості.

Недоліки сухих електролізерів:

- Більш висока вартість. Сухі електролізери, як правило, дорожчі за традиційні електролізери. Це пов'язано з використанням більш дорогих матеріалів та технологій.
- Більш складна конструкція. Сухі електролізери мають більш складну конструкцію, ніж традиційні електролізери. Це ускладнює їхнє виробництво та обслуговування.

1.6. Нові напрямлення в водневій енергетиці

Розвиток водневої енергетики є одним з пріоритетних напрямків у світі. Уряди багатьох країн світу, а також міжнародні організації активно підтримують розвиток цієї галузі [24]. Водневу енергетику можна використати в різних галузях, наприклад в Польщі уже їздять водневі автобуси «NESO», а США уже випробовує пасажирський літак на водневому паливі.

Одним з основних напрямків розвитку водневої енергетики є зниження собівартості виробництва водню. На сьогоднішній день основною технологією виробництва водню є електроліз води. Однак ця технологія має ряд недоліків, в тому числі високу вартість електроенергії, необхідну для електролізу.

У зв'язку з цим ведеться активна розробка нових технологій виробництва водню, які можуть бути більш економічно ефективними. Зокрема, розробляються технології виробництва водню з відновлюваних джерел енергії,

таких як сонячна і вітрова енергія [6]. Оскільки основною перевагою водню видобутого методом електролізу є його екологічність. Тому використання «зелених» технологій дозволить виробляти водень без використання традиційних джерел енергії, що в свою чергу призведе ще й до зниження собівартості виробництва водню.

Іншим важливим напрямком розвитку водневої енергетики є підвищення ефективності використання водню. На сьогоднішній день водень використовується в основному в паливних елементах. Однак паливні елементи мають ряд недоліків, в тому числі низьку ефективність і високу вартість.

У зв'язку з цим ведеться активна розробка нових матеріалів і технологій для паливних елементів. Ці розробки спрямовані на підвищення ефективності паливних елементів і зниження їх вартості.

Розвиток водневої енергетики також передбачає розвиток інфраструктури для зберігання і транспортування водню. На сьогоднішній день для зберігання і транспортування водню використовуються різні технології, в тому числі компресія, конденсація і криоконденсатія.

Однак жоден з цих методів не є ідеальним. Компресія водню вимагає значних витрат енергії, конденсація і криоконденсатія вимагають низьких температур, що ускладнює їх використання.

У зв'язку з цим ведеться активна розробка нових технологій зберігання і транспортування водню. Ці розробки спрямовані на пошук більш ефективних і економічно доступних методів зберігання і транспортування водню.

У цілому, розвиток водневої енергетики є перспективним напрямком, який має потенціал для вирішення ряду енергетичних проблем. Розвиток водневої енергетики дозволить зменшити викиди парникових газів, зменшити залежність від викопного палива і забезпечити більш стійке енергетичне майбутнє.

1.7 Енергетичні переваги електролізу води

Електроліз води - це процес розкладання молекул води на компоненти, а саме водень і кисень, під впливом електричного струму. Цю реакцію можна здійснити за допомогою альтернативних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова або гідроенергія.

Збереження енергії

Одна з основних переваг електролізу води полягає в тому, що він може бути використаний для зберігання енергії. Коли надлишок електроенергії виробляється в періоди пікового попиту або з відновлюваних джерел, його можна використовувати для виробництва водню. Цей водень можна зберігати в газоподібному, рідкому або твердому вигляді протягом тривалого часу. Коли енергія знову потрібна, водень можна використовувати для генерації електроенергії через паливні елементи або інші методи.

Стабільність енергетичних систем

Використання електролізерів може бути інтегроване з вітряними турбінами чи сонячними батареями, дозволяючи використовувати випадкову або непередбачувану енергію для виробництва водню. Це сприяє стабільності в енергетичних системах.

Децентралізовані системи виробництва та зберігання енергії

Впровадження електролізерів дозволяє створювати децентралізовані системи виробництва та зберігання енергії [8]. Це підвищує стійкість енергетичних мереж та зменшує вразливість до відмов або аварій.

Додаткові енергетичні переваги електролізу води

Окрім перерахованих вище переваг, електроліз води також має ряд інших енергетичних переваг:

- Зменшення викидів парникових газів. Водень може використовуватися як джерело чистої енергії, що не виділяє парникових газів.
- Зменшення залежності від викопного палива. Електроліз води може використовуватися для виробництва водню з відновлюваних джерел енергії, що зменшує нашу залежність від викопного палива.
- Створення нових робочих місць. Розвиток галузі електролізу води може створити нові робочі місця в таких сферах, як виробництво, інженерія та обслуговування.

1.8 Експлуатаційні параметри електролізерів

Електролізери є складними технічними пристроями, які працюють у складних умовах. Для їх ефективного функціонування та забезпечення безпеки експлуатації необхідно контролювати ряд експлуатаційних параметрів.

Основні експлуатаційні параметри електролізерів:

- Сила струму. Сила струму є одним з найважливіших параметрів електролізу. Вона визначає продуктивність електролізера, тобто кількість водню, що виробляється за одиницю часу. Сила струму регулюється виходячи з технічних можливостей перетворювальної підстанції, розмірів і конструкції електролізера, а також технологічних вимог до процесу електролізу.
- Робоча напруга. Робоча напруга електролізера - це напруга, при якій відбувається процес електролізу. Вона залежить від типу електролізера, складу електроліту, температури і інших факторів. Робоча напруга електролізера повинна бути постійною для забезпечення стабільної роботи процесу.

- Рівень електроліту. Рівень електроліту в електролізері повинен підтримуватися на постійному рівні. Це запобігає перегріванню електролізера і пошкодженню електродів. Рівень електроліту контролюється за допомогою датчиків рівня.
- Температура електроліту. Температура електроліту є одним з найважливіших параметрів, що впливає на продуктивність електролізера. Вона повинна підтримуватися на оптимальному рівні, який забезпечує максимальну продуктивність електролізера. Температура електроліту контролюється датчиками температури.
- Вміст добавок в електроліті. Добавки в електроліті, такі як каталізатори, стабілізатори і ін., впливають на техніко-економічні показники процесу електролізу. Вміст добавок в електроліті контролюється лабораторними методами.
- Падіння напруги. Падіння напруги - це різниця між робочою напругою електролізера і напругою на електродах. Воно викликається опором електроліту, електродів і інших елементів електролізера. Падіння напруги залежить від багатьох факторів, таких як сила струму, температура електроліту, склад електроліту і ін. Падіння напруги контролюється за допомогою вольтметрів.

Додаткові експлуатаційні параметри електролізерів:

- Концентрація електроліту. Концентрація електроліту впливає на продуктивність електролізера і витрати електроенергії. Концентрація електроліту контролюється лабораторними методами.
- Вміст кисню в електроліті. Вміст кисню в електроліті впливає на якість виробленого водню. Вміст кисню в електроліті контролюється лабораторними методами.

		Шевчук Д.В.			МА21мп.20.МД.000.00.ПЗ	35
		Костюк Д.В.				

- Вміст інших домішок в електроліті. Вміст інших домішок в електроліті може впливати на продуктивність електролізера і якість виробленого водню. [21]. Ця проблема виникає в більшості через окислення електродів в процесі електролізу, оскільки оксидна плівка потрапляє в електроліт. А проводити очищення електроліту в промислових масштабах є економічно неефективним.

Контроль експлуатаційних параметрів електролізерів

Контроль експлуатаційних параметрів електролізерів здійснюється за допомогою спеціальної контрольно-виміральної апаратури. Ця апаратура включає в себе датчики, які вимірюють необхідні параметри, і реєстратори, які записують результати вимірювань.

Контроль експлуатаційних параметрів електролізерів є важливим завданням, яке забезпечує ефективну роботу електролізерів і їх безпеку експлуатації.

Крім основних і додаткових експлуатаційних параметрів, електролізери можуть мати і інші параметри, які контролюються в залежності від типу електролізера, його конструкції і технології. Наприклад, для електролізерів з мембраною контролюється опір мембрани, для електролізерів з газовими анодами контролюється тиск газу в анодах і ін.

Контроль експлуатаційних параметрів електролізерів здійснюється операторами електролізних установок. Оператори повинні бути кваліфікованими фахівцями, які мають знання про електроліз води і його технологію.

1.9 Фактори що впливають на експлуатаційні параметри електролізерів

Ефективність електролізу - це міра того, наскільки добре електролізер перетворює електроенергію в бажаний продукт. На неї впливають багато факторів, зокрема:

		Шевчук Д.В.			МА21мп.20.МД.000.00.ПЗ	36
		Костюк Д.В.				

- Сила струму - це кількість електронів, що протікають через електролізер за секунду. Чим більша сила струму, тим більша кількість продукту утворюється.
- Напруга - це різниця потенціалів між електродами електролізера. Вона необхідна для запуску електрохімічної реакції.
- Щільність струму - це сила струму, розділена на площу електрода. Вона впливає на ефективність електролізу, оскільки надмірно висока щільність струму може призвести до корозії електродів.
- Джерело струму - це пристрій, який забезпечує електроенергію для електролізера. Різні джерела струму можуть мати різний вплив на ефективність електролізу.
- Вихід по току - це кількість продукту, що утворюється на одиницю струму. Він залежить від хімічного складу електроліту та інших факторів.
- Температура - впливає на швидкість електрохімічної реакції. Чим вища температура, тим швидше відбувається реакція, і тим більша кількість продукту утворюється [21]. Але потрібно враховувати робочі діапазони робочої рідини в гідравлічній системі, в нашому випадку це вода.
- Вихід по електроліту - це кількість продукту, що утворюється на одиницю електроліту. Він залежить від хімічного складу електроліту та інших факторів.
- Тиск у системі - впливає на швидкість електрохімічної реакції. Чим вищий тиск, тим швидше відбувається реакція, і тим більша кількість продукту утворюється.
- Коефіцієнт корисної дії електроенергії (ККД) - це відношення теоретичної кількості електроенергії, необхідної для виробництва певної кількості продукту, до фактично витраченої електроенергії. Він залежить

від багатьох факторів, зокрема від ефективності електролізера та джерела струму.

- Витрати електроенергії на одиницю отриманого продукту - це кількість електроенергії, що витрачається на виробництво одиниці продукту. Він залежить від ККД електролізера та інших факторів.

1.10 Енергетичний баланс електролізера

Напруга розкладу - це мінімальна напруга, необхідна для того, щоб відбувся процес електролізу з виділенням водню і кисню. Вона залежить від трьох факторів:

- Матеріал електродів. Електроди з активними металами, такими як цинк або магній, вимагають меншої напруги для розкладу електроліту, ніж електроди з неактивними металами, такими як золото або срібло.
- Концентрація електроліту. Більш концентрований електроліт вимагає меншої напруги для розкладу, ніж менш концентрований електроліт.
- Температура електроліту. Зі збільшенням температури електроліту напруга розкладу зменшується.

Таким чином, для зменшення напруги розкладу можна використовувати електроди з активними металами, концентрувати електроліт або підвищувати температуру електроліту [23]. Найкращим варіантом є використання платинових електродів, але через рідкість та дороговизну цього металу, в більшості електролізерів використовують нікель в якості матеріалу електродів.

Теоретична напруга розкладання води - це напруга, необхідна для того, щоб відбувся процес розкладання води на водень і кисень, без урахування додаткових факторів, які можуть впливати на цей процес. При кімнатній температурі вона становить 1,23 В, а при 80 градусах Цельсія - 1,18 В.

Перенапруження виділення водню і кисню - це надмірна напруга, яка використовується для того, щоб процес розкладання води відбувався швидше. Воно залежить від багатьох факторів, таких як:

- Матеріал електродів. На гладких електродах перенапруження вище, ніж на шорсткуватих [25]. Для обробки електродів теж можна використати водень для методу обробки металу воднево-кисневим полум'ям.
- Стан поверхні електродів. Формування металевого губчастого осаду може знижувати перенапруження.
- Щільність струму. З підвищенням щільності струму перенапруження збільшується.
- Температура. З підвищенням температури перенапруження знижується.
- Склад і концентрація електроліту. Перенапруження може збільшуватися або зменшуватися в залежності від складу і концентрації електроліту.
- Наявність домішок. Домішки можуть підвищувати перенапруження.
- Тривалість ведення електролізу. Перенапруження може збільшуватися з часом.

Цілі та задачі:

Метою проєкту є визначення переваг та недоліків електролізу та дослідження робочих процесів в біполярному електролізері з протонообмінною мембраною, а саме факторів, що впливають на експлуатаційні параметри шляхом створення електронної робочої моделі електролізера в прикладній програмі для числового аналізу MATLAB

Для досягнення визначеної мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- Визначити переваги та недоліки електролізу
- Проаналізувати конструкції та особливості в роботі електролізерів

- Визначити основні параметри які впливають на процес електролізу
- Створення електронної дослідницької моделі електролізера
- Тестування створеної системи
- На основі проведених досліджень зробити висновки та рекомендації щодо експлуатації електролізера

Висновки до розділу

Електроліз не може повністю витіснити основні промислові методи отримання водню, такі як паровий реформінг метану чи термічне розкладання вуглеводнів. Оскільки це дорогий та енергоємкий процес. Тим не менше, електроліз має ряд переваг, які дозволяють використовувати його в конкретних галузях промисловості та для локального застосування, тому саме електролізер був обраний як тема для дослідження.

Електролізери за своїм типом поділяються на 2 види; з біполярною схемою підключення та монополярною схемою підключення, які в свою чергу за своєю конструкцією поділяються на сухі та мокрі. В процесі огляду було виявлено, що мокрий біполярний електролізер має ряд переваг, що і слугувало вибором даного електролізера для теми досліджень.

Основними параметрами, що впливають на процес електролізу є такі параметри як сила струму, напруга, температура електроліту, склад електроліту, матеріал та кількість електродів та потужність джерела струму.

		Шевчук Д.В.			МА21мп.20.МД.000.00.ПЗ	40
		Костюк Д.В.				

2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ В БІПОЛЯРНОМУ ЕЛЕКТРОЛІЗЕРІ З ПРОТОНООБМІННОЮ МЕМБРАНОЮ

2.1. Розробка принципової схеми установки для електролізу

Основною проблемою електрохімічного методу отримання водню є те, що він вимагає багато енергії. Тому для розвитку водневої енергетики важливо розробити електрохімічні технології, які будуть використовувати меншу кількість енергії або альтернативні джерела енергії. Такі альтернативні джерела, як вітер, сонце або вода, можуть повністю забезпечити роботу таких технологій.

Для отримання водню шляхом електролізу води система повинна складатись з таких елементів як: електролізер, джерело електричного живлення(в подальшому можливо замінити на сонячну панель з акумулятором), гідравлічна система для постійного постачання води та пневматична магістраль для виведення водню Для початку було створено принципову блок схему яка відповідає нашим вимогам (рис. 2.1)

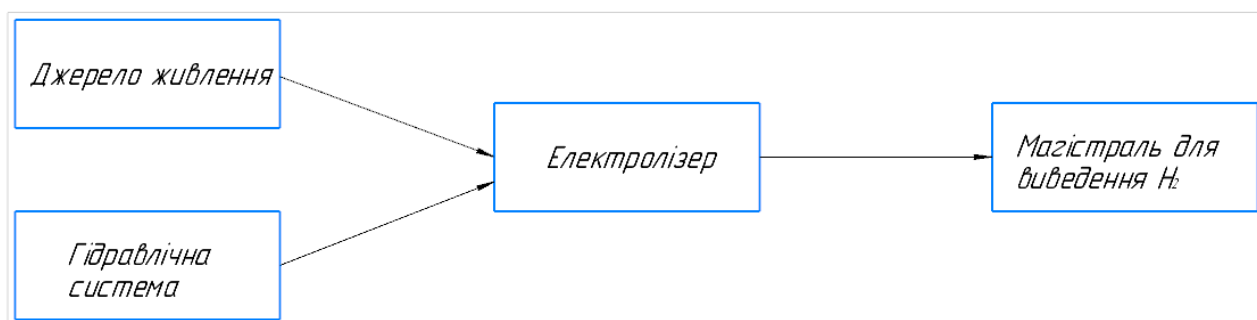


Рис 2.1.1 принципова блок-схема установки

2.2 Розробка принципової гідравлічної схеми для електролізера

Для роботи електролізера потрібно налагодити постійне постачання води, для цього було розроблено принципову гідравлічну схему рис.2.2.1

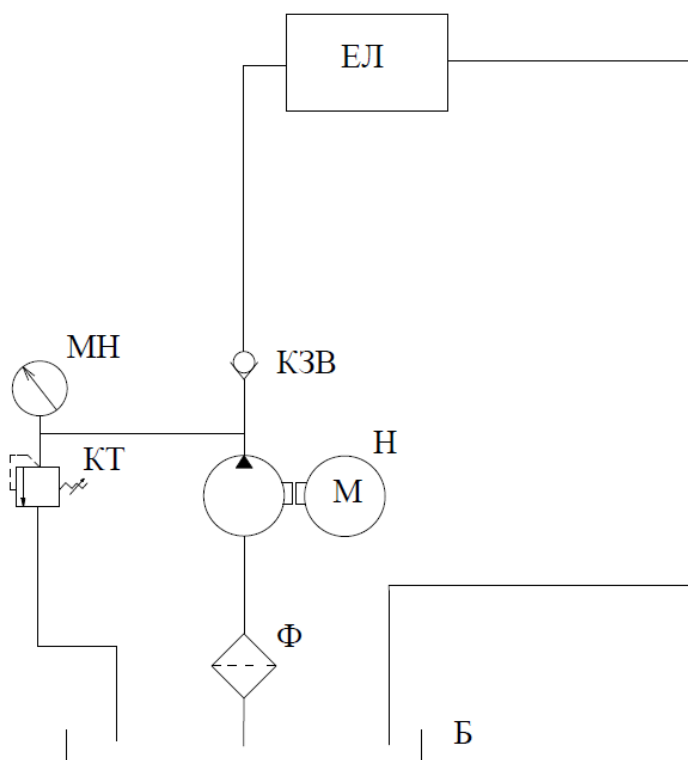


Рис. 2.2.1 Схема гідравлічна принципова №1.

У цілому, ця схема відповідає базовим вимогам. Однак, щоб підтримувати задану витрату незалежно від перепаду тисків, було вирішено додати до схеми регулятор витрати.

Регулятор витрати (РВ) являє собою пристрій, який контролює витрату рідини або газу. Він працює, змінюючи розмір отвору, через який проходить рідина або газ.

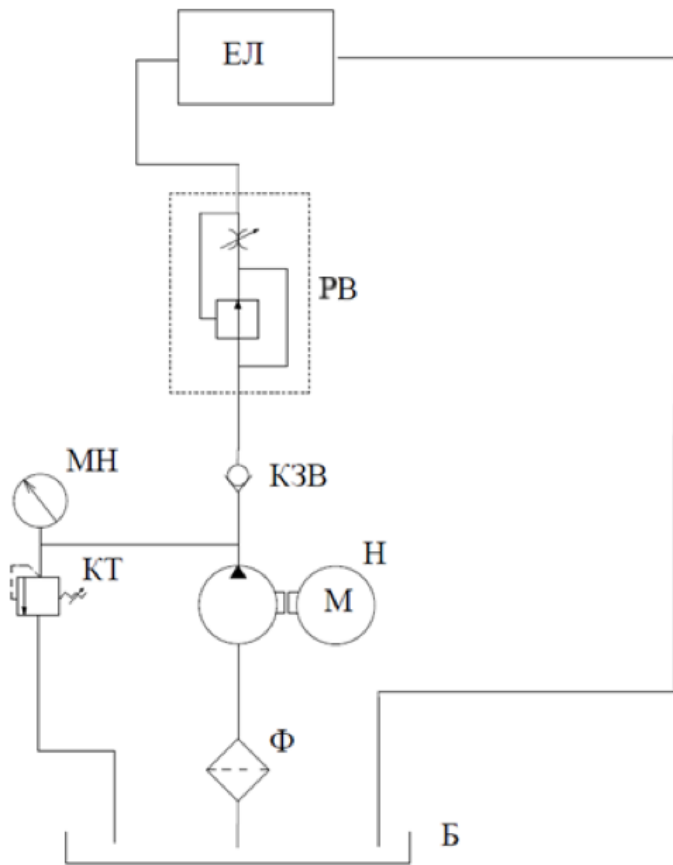


Рис. 2.2.2 Схема гідравлічна принципова №2.

При подальшій роботі з схемою було вирішено додати такі датчики: температури тиску та витратомір, які підключені до АЦП який в свою чергу підключений до персонального комп'ютера (рис. 2.2.3)

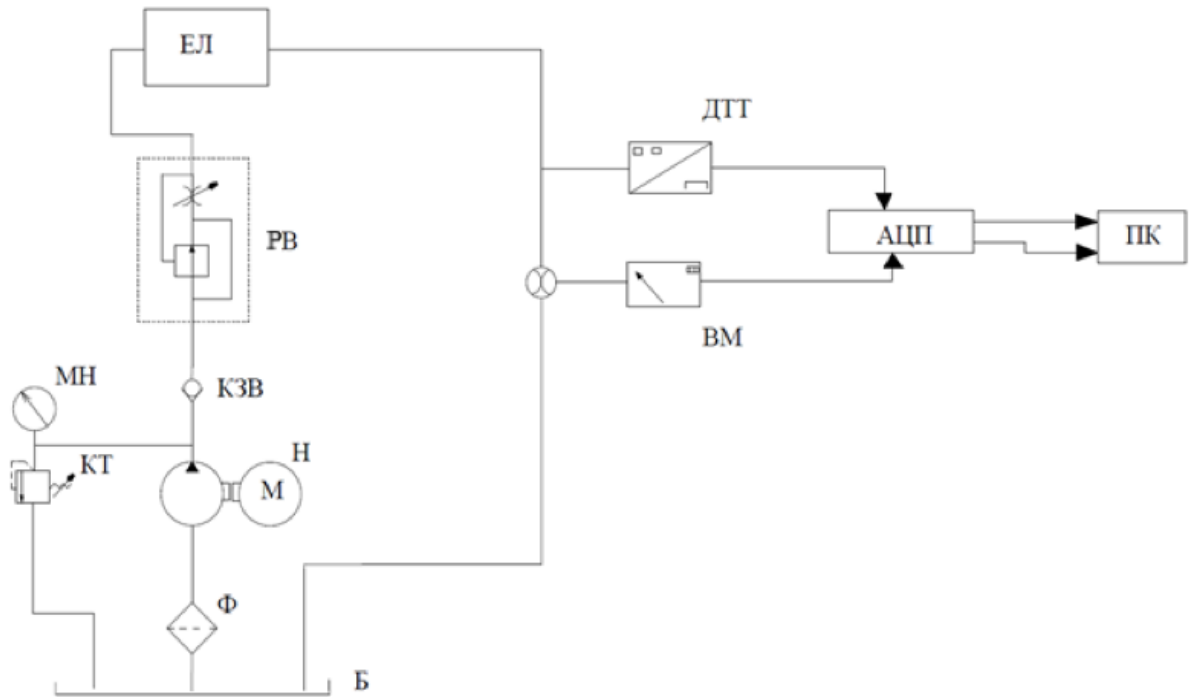


Рис. 2.2.3 Схема гідравлічна принципова № 3

У цій схемі регулятор витрати (РВ) розташований між електролізером (ЕЛ) і колектором (Б). РВ отримує сигнал від датчика витрати (ВМ), який вимірює поточну витрату рідини. РВ використовує цей сигнал для регулювання розміру отвору, через який проходить рідина.

Таким чином, регулятор витрати забезпечує підтримку заданої витрати рідини, незалежно від перепаду тисків. Це важливо для забезпечення стабільної роботи електролізера.

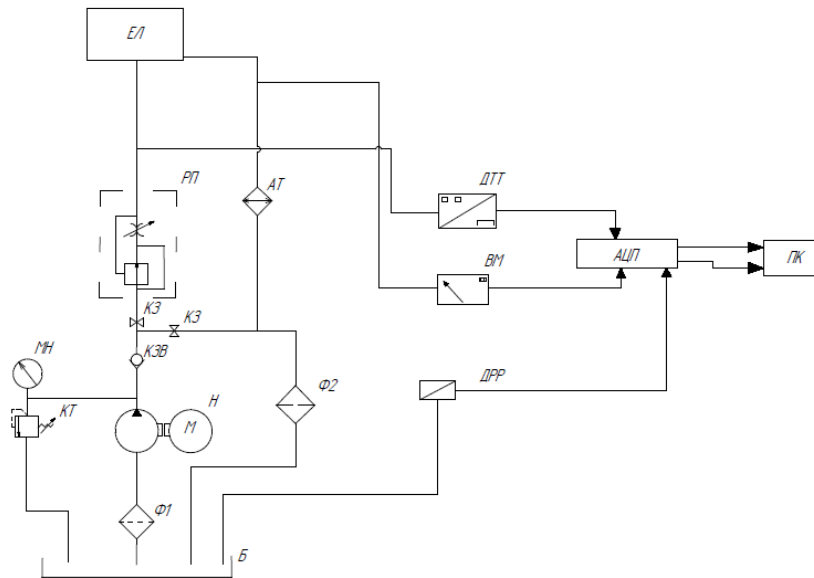


Рис. 2.2.4 Схема гідравлічна принципова № 4

На (рис. 2.2.4) гідравлічна схема принципова з застосуванням електролізера з використанням охолодження за допомогою якого збільшиться час безперервної роботи пристрою в автономному режимі.

2.2.1. Гідравлічний розрахунок і вибір трубопроводів та апаратури

Початкові дані

$$P = 0,01 \dots 0,05 \text{ МПа};$$

$$Q = 0,07 \dots 2 \text{ л/хв};$$

$$T = 5 \dots +80^{\circ}\text{C};$$

$$I = 0,05 \dots 10 \text{ А};$$

$$U = 1,6 \dots 60 \text{ V}.$$

Цілями гідравлічного розрахунку є визначення таких параметрів як:

- діаметрів трубопроводів
- втрати тиску

Внутрішній діаметр труби: $d_T = \sqrt{4Q_T / \pi v_{cp}}$,

- Q_T – витрата рідини, м³/с;
- v_{cp} – середня швидкість рідини, м/с.

Отримане значення діаметру підбираємо з ДЕРЖСТАНДАРТУ 8732-78 і ДЕРЖСТАНДАРТУ 8734-75 (6, 8, 10, 13, 16, 20, 25 мм) [5, с 40-42] та округлюємо в більшу сторону

Отримавши розміри діаметру можемо визначити дійсну швидкість рідини на ділянці:

$$v = \frac{4Q_T}{\pi d_T^2} .$$

Середню швидкість рідини підбираємо з таблиць спираючись на тип трубопроводу.

для напірних $v_n = 5$ м/с

Оскільки, система є досить простою, а довжина трубопроводів незначною, розглянемо напірну лінію

Розрахуємо діаметр трубопроводу:

$$d_{bc} = \sqrt{4 \cdot \frac{3,3 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 5}} = 0,0028 \text{ м} = 2,8 \text{ мм}$$

приймаємо найближче більше значення $d_{bc} = 6$ мм.

Знайдемо дійсну швидкість рідини

$$v_{bc} = \frac{4Q_T}{\pi d_{bc}^2} = \frac{4 \cdot 3,3 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 0,006^2} = 1,1 \text{ м/с}$$

2.2.2. Розрахунок числа Рейнольдса

$$Re = \nu d_T / \nu$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

де: ν – кінематична в'язкість, μ – динамічна в'язкість, ρ – густина рідини.

При температурі 25 °С:

$$\nu = \frac{8,94 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}}{997 \text{ кг/м}^3} = 8,97 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = 0,89 \frac{\text{мм}^2}{\text{с}}$$

$$Re = \frac{1100 \cdot 6}{0,89} = 7415$$

При турбулентній течії ($Re > 2300$) коефіцієнт тертя λ залежить від числа Рейнольдса і від відносної шорсткості стінок каналу [5].

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{7415}} = 0,034$$

Розрахуємо втрати тиску на тертя:

$$\Delta P = \frac{\lambda \cdot l \cdot \rho \cdot v^2}{2d_{cm}} = \frac{0,034 \cdot 1 \cdot 997 \cdot 1,1^2}{2 \cdot 0,006} = 3418 \text{ Па.}$$

2.2.3. Визначення втрат на місцевих опорах

Визначити які втрати виникають на місцевих опорах можна за формулою [5]:

$$\Delta p_M = 0,5 \rho (\xi + \xi + \dots + \xi) v^2$$

- ξ – коефіцієнт місцевого опору

Враховуючи раптове звуження та клапан зворотній

$$\Delta p_M = 0,5 \cdot 997 \cdot (0,6 + 2,2) \cdot 1,1^2 = 1688 \text{ Па.}$$

Значення коефіцієнтів місцевих опорів візьмемо з таблиці 2.1.

Вид опору	ξ
Раптове звуження	0,5...0,7
Раптове розширення	0,8...0,9
Штуцер, перехідник	0,1...0,15
Коліно закруглене	0,12...0,15
Трійник	2...2,5
Трикутник	1...1,5
Обернений і захисний клапан	2...2,5
Дросель	2...3
Редукційний клапан	2...2,5

2.2.5. Розрахунок різьбових з'єднань

Напруги, що розтягують, для різьбового стрижня [5]:

$$\sigma = \frac{4 * p_p}{\pi * d_b^2 * z} = \frac{4 * 2340}{3,14 * 36 * 4} = 20,7 \text{ МПа}$$

- p_p – розрахункове навантаження, $p_p = k_3 * p = 2,5 * 936 = 2340 \text{ Н}$
- d_b - внутрішній діаметр різьби, $d_b = d_0 - S = 7 - 1 = 6 \text{ мм}$;
- d_0 – зовнішній діаметр різьби;

- S – крок;
- z – кількість з'єднань, що є під навантаженням;

k_3 – коефіцієнт затягування (для постійного навантаження $k_3=1,25\dots1,5$; для перемінного навантаження $k_3=2,5\dots4$);

p – зусилля, що діє на різьбове з'єднання.

Дотичні напруги в різьбленні:

$$\tau = \frac{p_p * d_0 k_1}{0.2 * d_b^3} = \frac{2340 * 7 * 0,12}{0,2 * 6^3} = 45,5 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 83 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу по пластичних деформаціях:

$$n = \frac{\sigma_m}{\sigma_{пр}} = \frac{355}{83} = 4,2 > 1,2.$$

Вибрані болти $d=6$ мм, нас задовольняють (матеріал сталь 45).

2.3 Розробка принципової пневматичної схеми водневої магістралі

В процесі роботи створюємо пневматичну магістраль для виведення водню (рис. 2.3.1)

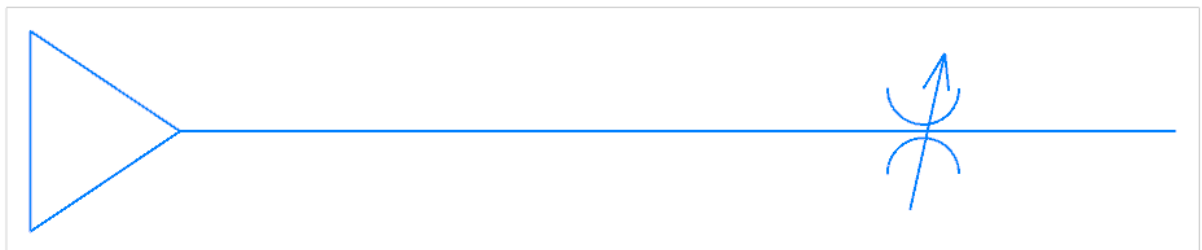


Рис. 2.3.1 Пневматична схема

2.3.1. Розрахунок магістралі для виведення водню

Розрахунок магістралі для виведення водню (Рис.2.3.1) виконаємо за формулою: Можна оцінити газодинамічний стан газового струменю за допомогою значення числа Рейнольдса.

$$Re = U_m \times d \div \nu$$

- ν - кінематична в'язкість газу, $\frac{м}{с^2}$
- d – діаметр поперечного перерізу, м;
- U_m – середня швидкість газового потоку, $\frac{м}{с}$

Інформацію щодо витрат та діапазону середньої швидкості виліву струменю воднево-кисневої суміші можна знайти у таблиці.

- $d = 3,5$ мм;
- $\nu = 36,93 \times 10^{-6} \frac{м^2}{с}$ - кінематична в'язкість для газу Брауна;
- $U_m = 123...205 \frac{м}{с}$

Підставимо дані в формулу Рейнольдса:

$$Re = 123 \times 0.0035 \div (36,93 \times 10^{-6}) = 14350$$

2.4 Процес електролізу за хімічним законами Фарадея

Маса речовини, що відокремилася на електроді під час проходження електричного струму через розчин електроліту, прямо залежить від кількості переданої електричної енергії.

$$\Delta m = kQ$$

- Δm – кількість речовини;
- Q – кількість електрики;
- k – (електрохімічний еквівалент) коефіцієнт пропорційності,

$$k = M / (Na \times z \times |e|)$$

- z – валентність іона;
- M – молярна маса
- Na - Постійна Авогадро

$$|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Відповідно до другого закону Фарадея, за фіксованої кількості переданої електричної енергії співвідношення мас речовини, що реагує на електроді, дорівнює відношенню їх хімічних еквівалентів.

$$\frac{\Delta m_1}{A_1} = \frac{\Delta m_2}{A_2} = \frac{\Delta m_3}{A_3} = const$$

Хімічний еквівалент - це умовна величина, яка показує, яку кількість речовини бере участь у хімічній реакції як один моль атомів водню або півмоля атомів кисню.

Хімічний еквівалент елемента дорівнює відношенню кількості речовини елемента, яка приєднується або заміщується в хімічних сполуках, до 1/12 маси атома Карбону-12.

Хімічний еквівалент з'єднання дорівнює відношенню молярної маси з'єднання до його кислотності або основності.

Наприклад, хімічний еквівалент кислоти, яка містить один іон водню, дорівнює її молярній масі. Хімічний еквівалент основи, яка містить одну гідроксильну групу, також дорівнює її молярній масі. Хімічний еквівалент солі, яка складається з катіона і аніона з однаковим зарядом, дорівнює половині її молярної маси.

Це поняття використовується для розрахунків у хімії, зокрема для визначення молярності розчинів та кількості речовини, що бере участь у реакції.

2.5 Вибір матеріалу пластин електролізера

Графік зображений на рис. 2.5.1 ілюструє вплив радіуса атома металу на перенапруження водню на різних електродах. Метали з атомами, радіус яких перевищує 1.38 Å, призначені для найменш високого перенапруження при виділенні водню, подібного до радіусу молекули води. Навіть при збільшенні та зменшенні атомного радіусу спостерігається зростання перенапруження водню на металах [18]. При перших спробах виготовлення електролізерів використовували платину, але через її дороговизну та розвиток технологій найбільш масштабного застосування набули нікелеві пластини.

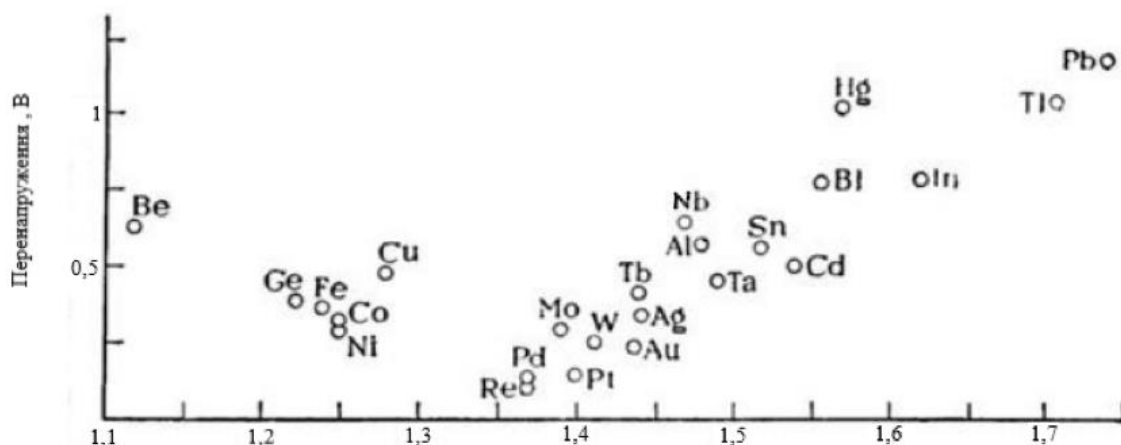


Рис.2.5.1 Графік залежності перенапруження водню на електродах від величини радіуса атома металу [18]

З графіку можемо визначити 4 метали з найменшим перенапруженням виділення водню:

- Ренійський (1,37)
- Моібден (1,39)

- Паладій (1,38)
- Платина (1,39)

Але ці метали є, або рідкісними, або дуже дорогими

Тому якщо переміститись по графіку лівіше можна визначити більш підходящу групу металів

- Нікель (1,24)
- Кобальт (1,25)
- Залізо (1,26)

З цих металів вибираємо Нікель, адже він найбільше задовольняє наші потреби

2.6 Розробка електронної моделі біполярного електролізера з ПОМ в середовищі Simscape Simulink

Електролізер ПОМ (ПОМ скор. протонно-обмінна мембрана) споживає електричну енергію для розщеплення води на водень і кисень. Спеціальний блок являє собою мембранний електродний блок (надалі МЕБ) і підключений до мережі теплоносія і двох окремих мереж вологого повітря:

- мережа теплоносія моделює подачу води
- анодна мережа вологого повітря моделює потік кисню
- катодна мережа вологого повітря моделює потік водню

Циркуляційний насос забезпечує безперервну подачу води на анодну сторону електролізера. Спожита вода видаляється з системи теплоносія, а надлишок води рециркулює. Кисень, що утворюється на аноді, виноситься потоком надлишкової води; він моделюється окремо мережею анодного вологого повітря. Бак-сепаратор моделює баланс води і кисню в зворотному потоці перед тим, як кисень виводиться назовні. Живильний насос поповнює систему свіжою водою.

Водень, що утворюється на катоді, разом з водою, яка транспортується через МЕБ, моделюється мережею катодного вологого повітря. Осушувач видаляє небажану водяну пару з водню. Різниця тисків через МЕБ призводить до переміщення води під дією гідравлічного тиску, що допомагає протидіяти електроосмотичному опору і зменшує кількість води на катоді.

На відміну від паливних комірок, окрема мережа охолодження не потрібна. Тепло, що розсіюється електролізером, забирається надлишком води, а потім відводиться в навколишнє середовище через теплообмінник. Рециркуляційна вода контролюється для підтримання температури в електролізері на рівні не більше 70 °С.

Спеціальний блок МЕБ реалізовано через код. Порт термальної рідини H₂O використовується для видалення води з мережі. Вироблені H₂ і O₂ і транспортована H₂O додаються до двох мереж вологого повітря за допомогою блоків:

- Контрольоване джерело газів
- Контрольоване джерело вологи

Надлишкове тепло направляється через тепловий порт до підключеного блоку «Thermal Mass».

2.7 Будова схеми електролізера в системі Simscape Simulink

Враховуючи попередні дані і розрахунки було створено симуляційну модель електролізера яку буде використано для подальших дослідів.

Симуляційна модель складається з таких елементів які відповідають заданим номерам на рис 2.7.1:

		Шевчук Д.В.			МА21мп.20.МД.000.00.ПЗ	54
		Костюк Д.В.				

Дана схема складається:

- Гідравлічна система - 1
- Анод з каналами рідини - 2
- Катод з пневматичними каналами - 3
- Система рециркуляції - 4
- Теплообмінник - 5
- Електрод з мембраною - 6
- Елемент живлення - 7
- Осушувач повітря - 8
- Система виведення водню - 9
- Датчики вимірювань - 10

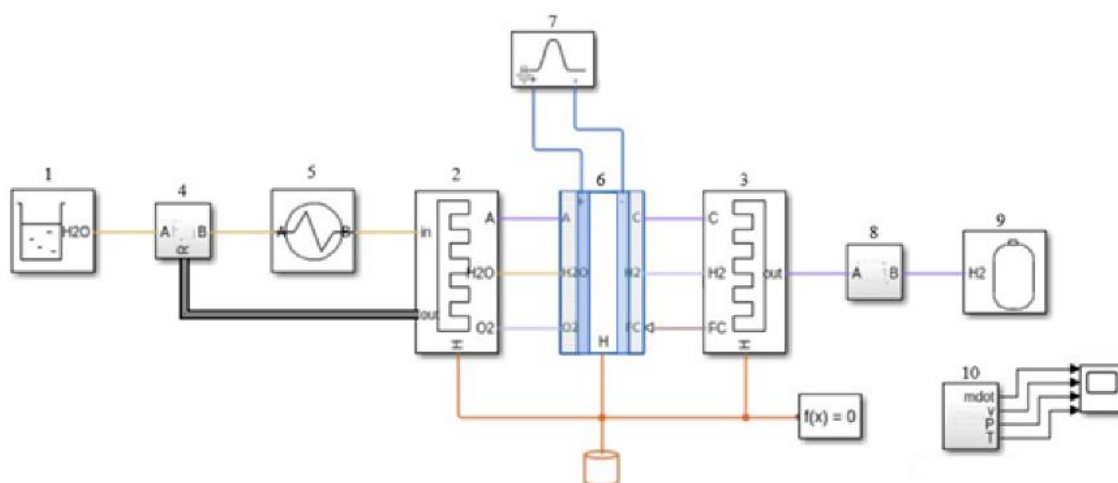


Рис. 2.7.1 Модель електролізера в середовищі Simscape Simulink

В свою чергу більшість модулів мають свої підсистеми. Так підсистема аноду з каналами рідини зображена на рис. 2.7.2 та має основні точки такі як:

1. Канал рідини притоку

2. Канал рідини витoku
3. З'єднання для використання анодної рідини
4. Кисневий канал витoku

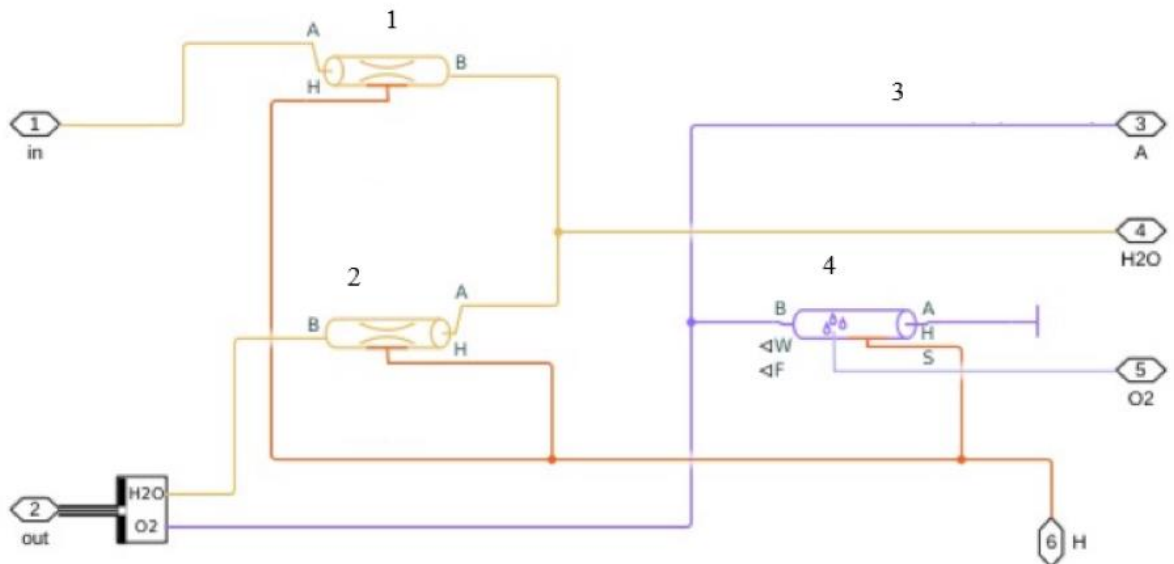


Рис. 2.7.2 Підсистема аноду з каналами рідини

Підсистема катодних пневматичних каналів складається з:

1. Кисневий канал витoku
2. підключення для використання катодної рідини

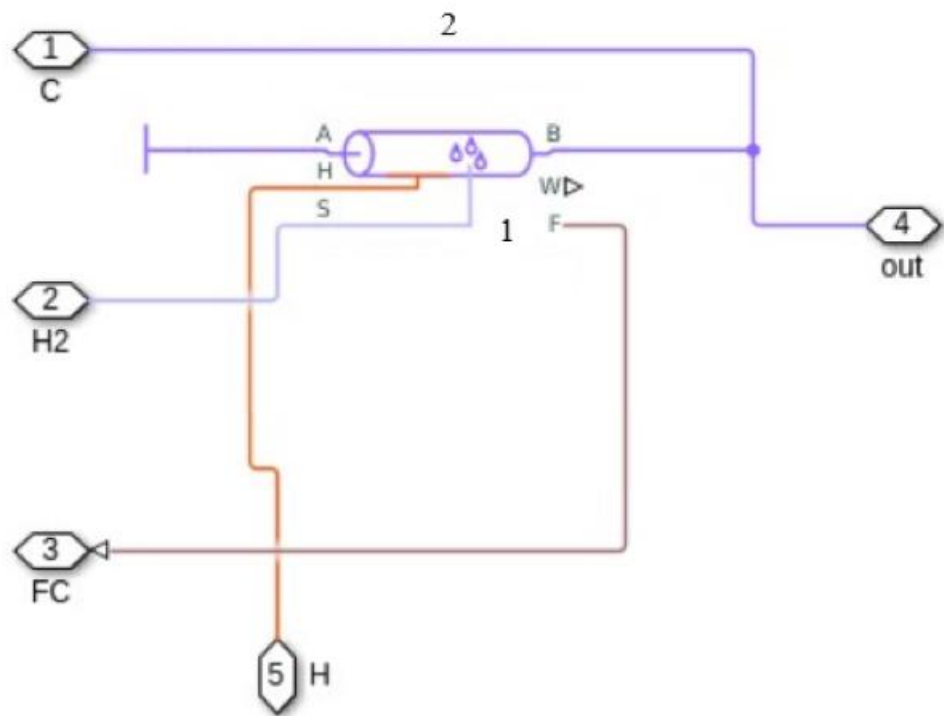


Рис. 2.7.3 Підсистема катоду з пневматичними каналами

Підсистема виведення водню побудована на таких елементах:

1. клапан тиску
2. дросель
3. блок параметрів водню
4. резервуар для водню

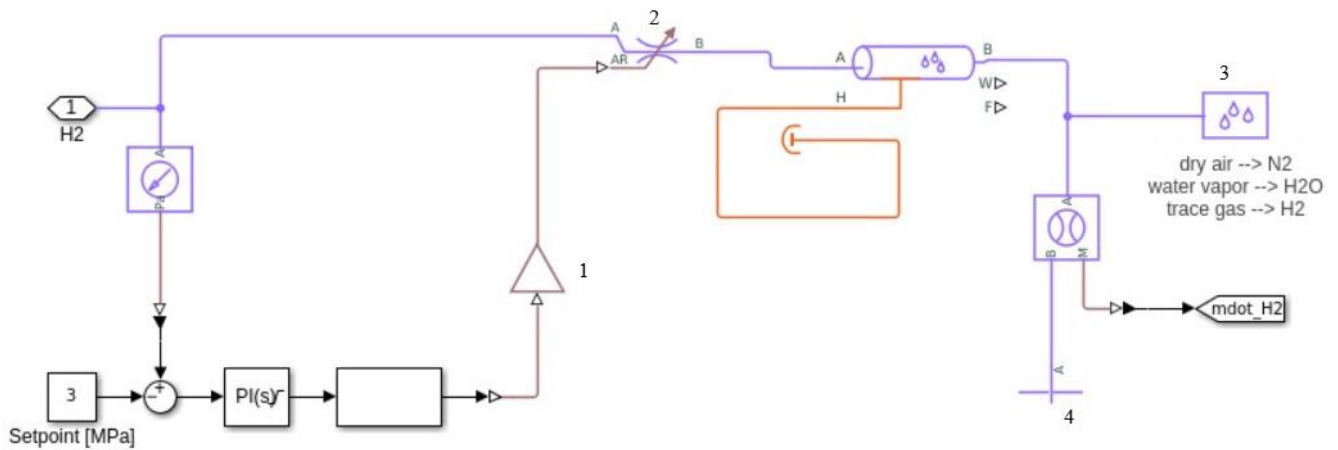


Рис. 2.7.4 Підсистема відводу водню з системи електролізера

2.7.1 Будова електродного вузла

Спеціальний блок МЕБ (електродний вузол з протонообмінною мембраною) побудований на хімічних законах електролізу описаних в розділі 2.4 та записані у вигляді коду. Також в цей блок ми задаємо параметри наших пластин електролізера і мембрани

Block Parameters: Membrane Electrode Assembly			
Electrolyzer			<input type="checkbox"/> Auto Apply
Settings	Description		
NAME	VALUE		
Parameters			
> Number of cells in stack	stack_num_cells		2
> Cell area	stack_area	100	cm ²
> Membrane thickness	stack_t_membrane	1	mm

Рис. 2.7.1.1 Параметри електродного вузла

Основними параметрами є кількість електродних пластин, їх площа та товщина протонообмінної мембрани.

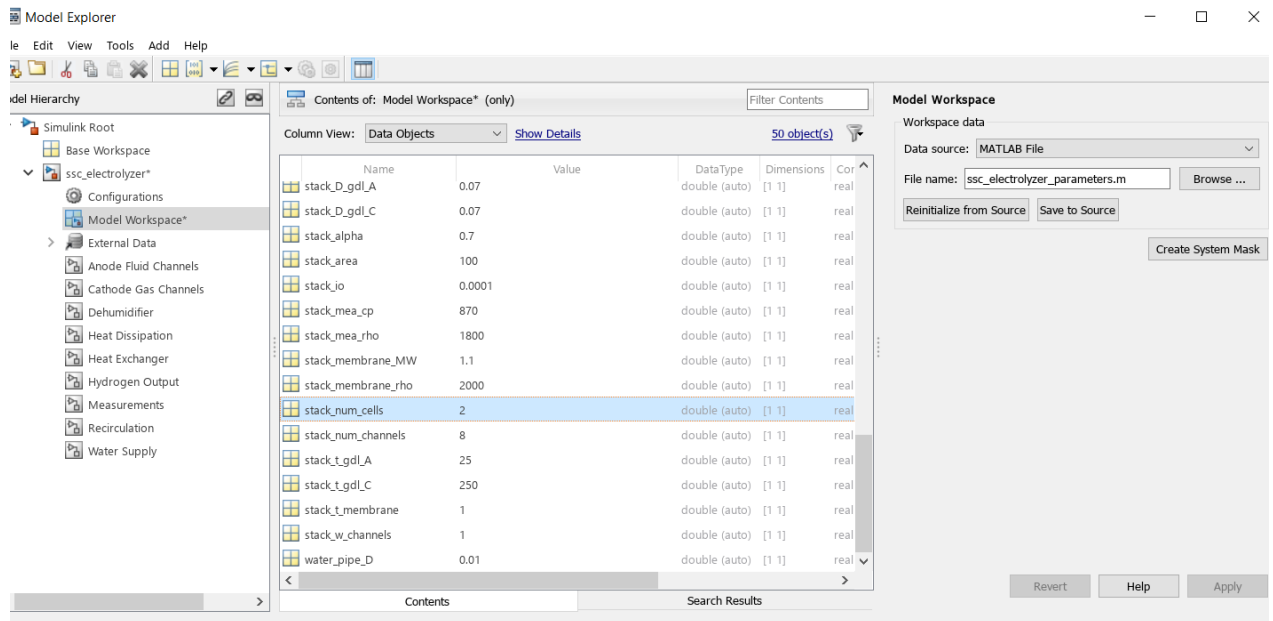


Рис. 2.7.1.2 Вікно задатчика параметрів електродного вузла

2.8 Вибір джерела живлення

Оскільки основною метою видобутку водню шляхом електролізу є екологічний аспект, було вирішено в якості джерела живлення використати сонячну панель. Адже, сонячна енергія є відновлюваним джерелом енергії. Використання сонячних панелей для генерації електроенергії для електролізу води дозволяє зменшити залежність від нестабільних джерел енергії.

Використання сонячної енергії може зменшити витрати на паливо для електролізу води, що може зробити водень більш конкурентоспроможним як альтернативне паливо.

Тому, використання сонячної енергії для електролізу води стає важливим етапом у розвитку водневої економіки, оскільки це дозволяє отримати водень більш ефективно та екологічно чисто.

Параметри сонячної панелі вносимо в систему симуляції у вигляді таблиці залежності кількості сонячного світла в певний проміжок часу та потужності електричного струму який виробляє сонячна панель

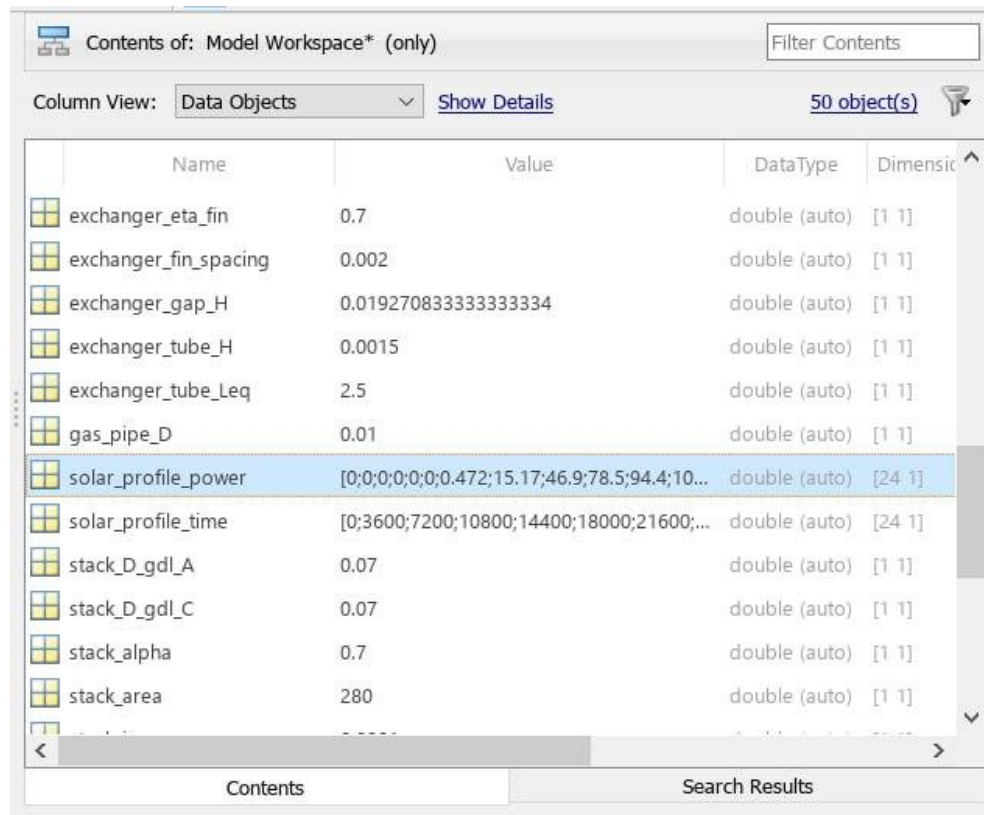


Рис. 2.8.1 Меню задатчика даних в середовищі Simscape

Як можемо бачити на рисунку 2.8.2. потужність(кВт) в проміжки часу від 1 год. до 6 год. і 18 год. до 24 год. дорівнює 0 адже в ці години сонячне світло відсутнє. А о 12 год. маємо пікове значення потужності. Ці дані будемо використовувати надалі в симуляції.

Variable Editor

24x1 double

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0									
2	0									
3	0									
4	0									
5	0									
6	0									
7	0.4720									
8	15.1700									
9	46.9000									
10	78.5000									
11	94.4000									
12	100.0000									
13	93.5000									
14	82.5000									
15	66.8000									
16	32.2430									
17	8.6100									
18	0									
19	0									
20	0									
21	0									
22	0									
23	0									
24	0									

Рис. 2.8.2 Вікно задатчика даних в середовищі Simscape

2.9 Проведення дослідів

Проводячи симуляційні досліді будемо змінювати параметри кількості пластин електродів в електролізері та потужність джерела живлення, в кінці розділу підіб'ємо підсумки та складемо рекомендації щодо найоптимальнішого використання біполярного електролізера з протонообмінною мембраною.

2.9.1 Дослід 1. Електролізер з 50 електродами

Для першого досліді задамо значення кількості пластин електродів – 50 шт. в стеку, потужність джерела живлення візьмемо таку ж саму як задавали в розділі **2.8** (див. рис. 2.8.2). Після запуску симуляції отримаємо графічні результати.

На рис. 2.9.1.1 ми можемо бачити графік що показує криву "струм-напруга" і потужність, споживану нашими електродними пластинами у стеку. Зі збільшенням струму відбувається початкове зростання напруги через втрати на

активацію електродів, за яким слідує поступове зростання напруги через омичний опір. Напруга електродного стеку становить близько 1,7 В при густині струму 2 А/см².

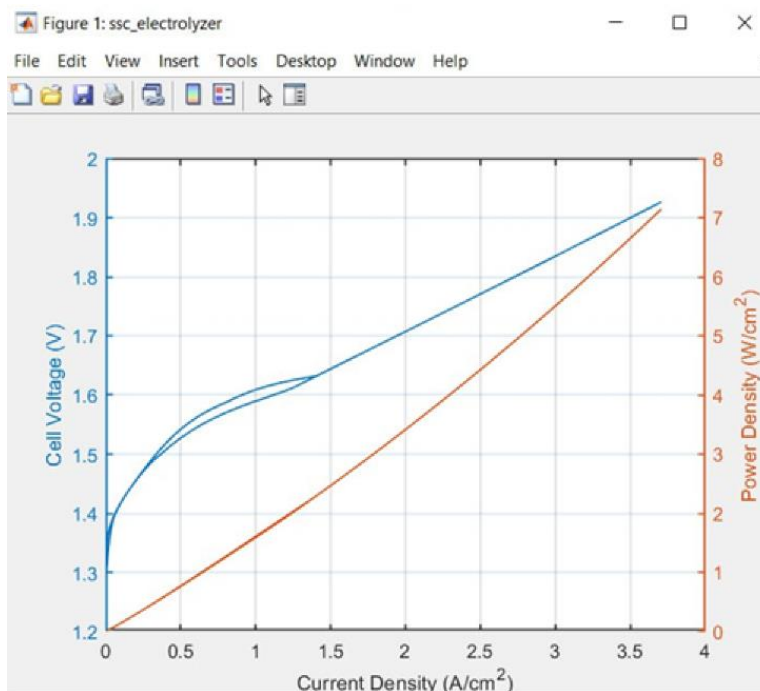


Рис. 2.9.1.1 Крива "струм-напруга" і потужність, споживану елементом у стеку.

Наступним графіком є графік, що показує електричну потужність, яку споживає електролізер. Електрична потужність більша за потужність, необхідну для виробництва водню, через різні втрати. Різниця - це розсіяне тепло.

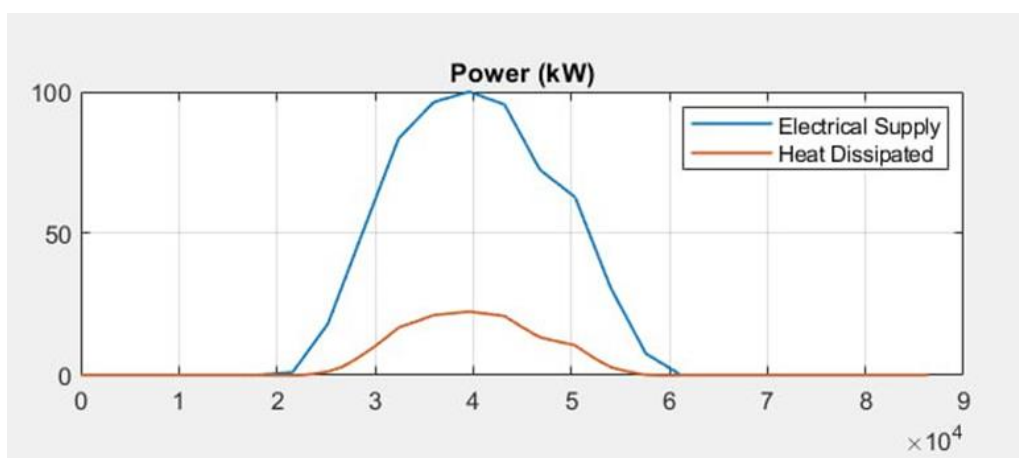


Рис. 2.9.1.2 Графік електричної потужності та розсіяного тепла

Графік на рисунку 2.9.1.3 показує швидкість виробництва водню, швидкість споживання води на аноді, а також швидкість транспортування води до катода внаслідок дифузії, електроосмотичного опору та гідравлічної різниці тисків.

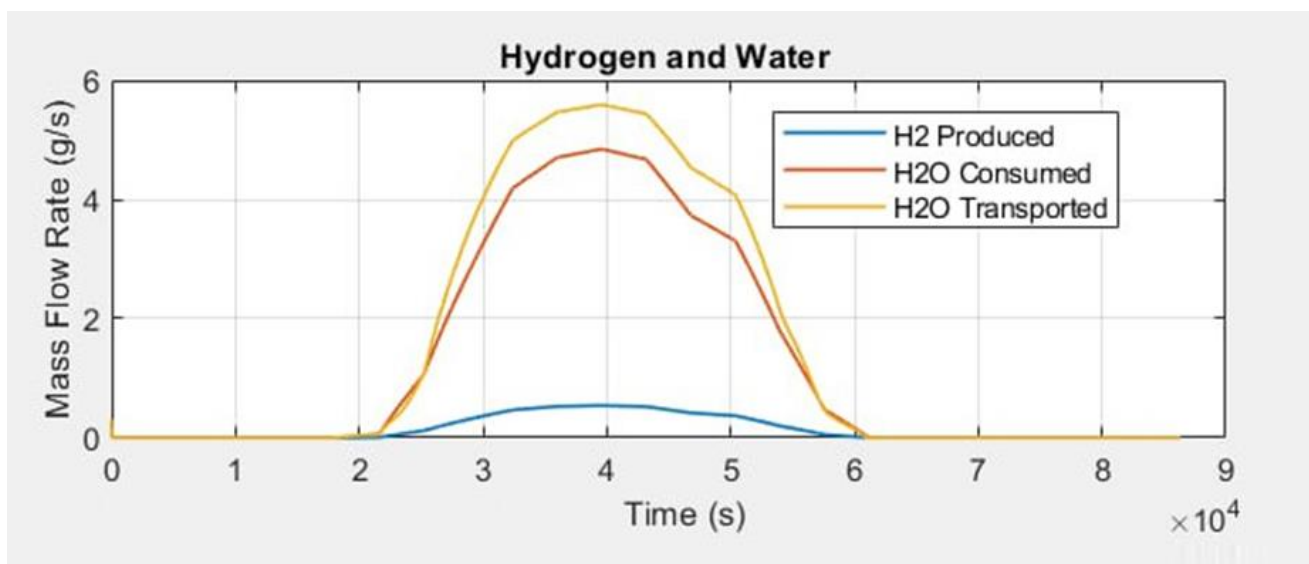


Рис. 2.9.1.3 Швидкість виробництва водню та споживання води (H₂ Produced – виробництво водню, H₂O Consumed – споживання води, H₂O Transported - транспортування води)

Як можемо бачити з графіків, для отримання водню потрібної чистоти необхідна стадія осушення оскільки споживання води менше ніж її транспортування.

Наступним етапом було розглянуто графік кількості виробництва водню та температурного режиму. Як можна побачити з графіку (рис. 2.9.1.4) при піковій потужності 100Вт кількість видобутого водню становить приблизно 0,58 гр/с. при цьому пікова температура не перевищує 80° С, що задовольняє вимоги

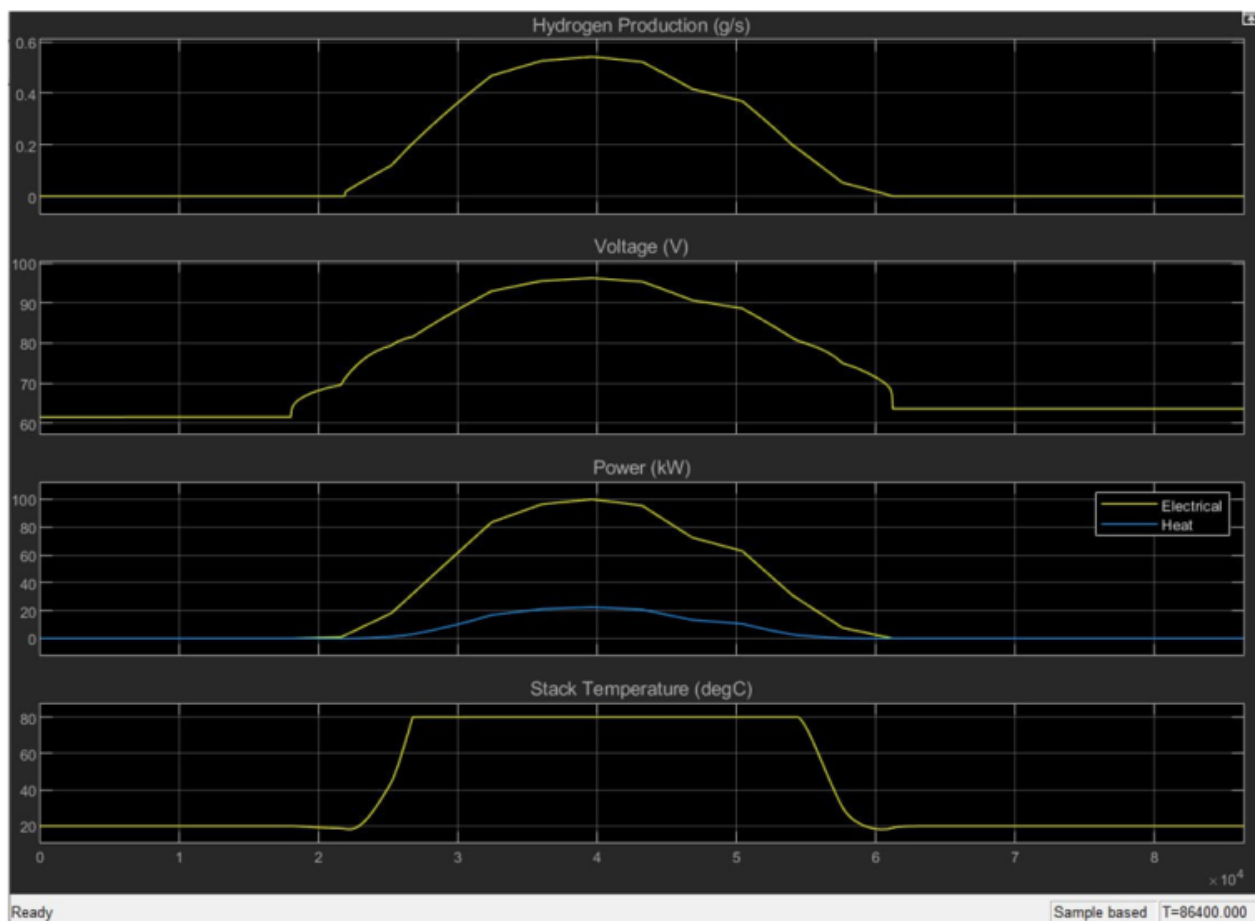


Рис. 2.9.1.4 Графік виробництва Н₂, температури стеку, потужності та вольтажу

2.9.2 Дослід 2. Електролізер з 30 електродами

Для другого дослідів кількість пластин електродів – 30 шт. в стеку, потужність джерела живлення візьмемо таку ж саму як в попередньому досліді (пікова 100кВт). Запустимо симуляцію та знімемо показники.

На рис. 2.9.1.2 графік що показує криву "струм-напруга" і потужність, споживану у стеку. Аналогічно як і в попередньому досліді спостерігаємо зі збільшення струму відбувається початкове зростання напруги. Напруга електродного стеку становить близько 1,7 В при густині струму 2 А/см².

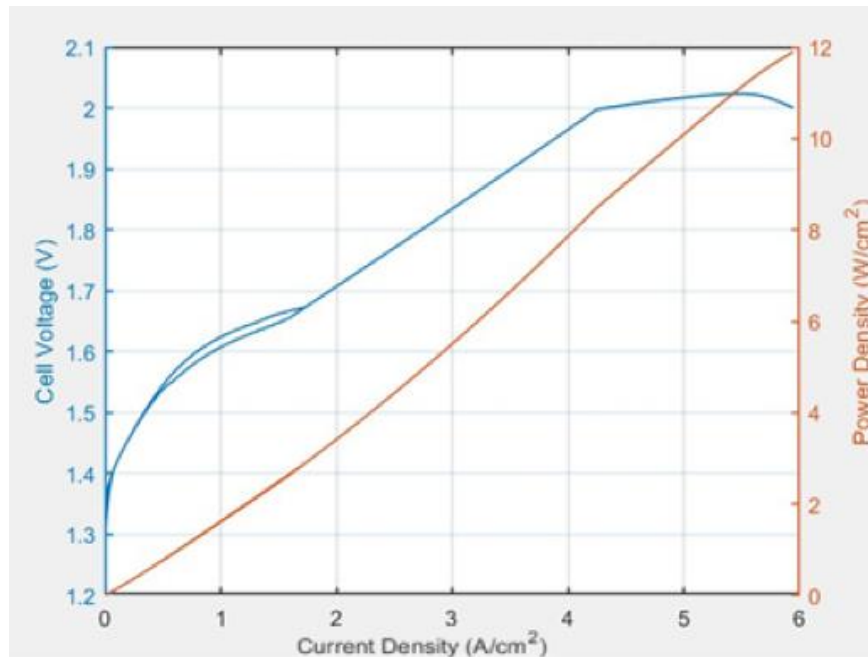


Рис. 2.9.2.1 Крива "струм-напруга" і потужність, споживану елементом у стеку.

На наступному графіці вже є певні відмінності. Електрична потужність ще більша за потужність, необхідну для виробництва водню, через різні втрати. Тому і різниця в вигляді розсіяного тепла більша

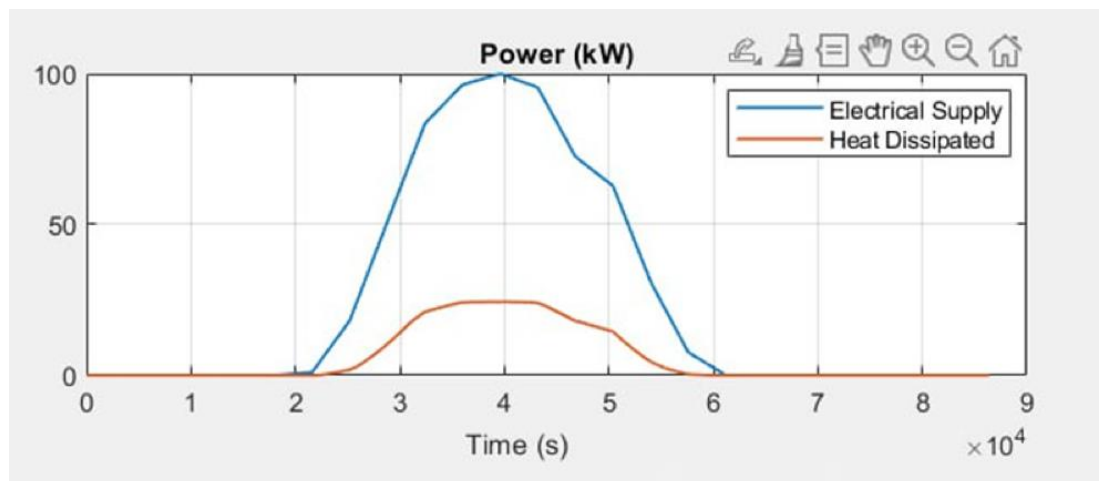


Рис. 2.9.2.2 Графік електричної потужності та розсіяного тепла

З наступного графіку бачимо, що кількість споживання води ще менше (6,1 гр/с в порівнянні з 5,7 гр/с як в попередньому досліді) ніж її транспортування.

Тому знову ж необхідна стадія осушення.

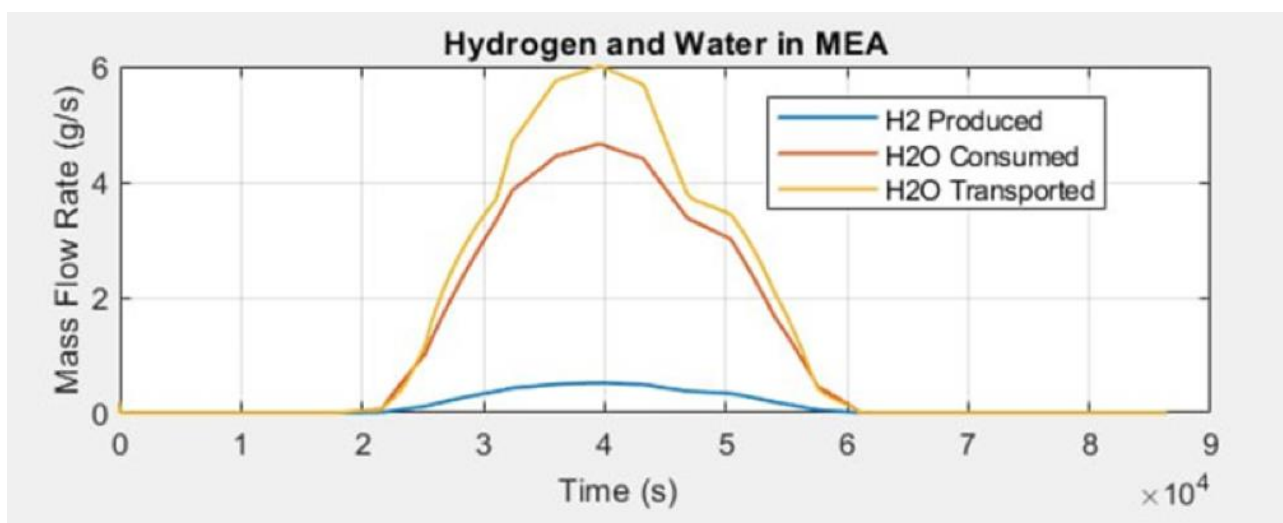


Рис. 2.9.1.3 Швидкість виробництва водню та споживання води (H₂ Produced – виробництво водню, H₂O Consumed – споживання води, H₂O Transported - транспортування води)

Наступним етапом було розглянуто графік кількості виробництва водню та температурного режиму. Як можна побачити з графіку (рис. 2.9.2.4) при піковій потужності 100Вт кількість видобутого водню становить приблизно 0,51 гр/с. але цьому пікова температура становить приблизно 100° С, що не задовольняє наші вимоги.

Підвищення температури пов'язане з меншою кількістю електродів в стеку, що в свою чергу зменшує сумарну площу на якій знаходиться вода, тому процес самоохолодження не відбувається, тому в наступному досліді спробуємо зменшити потужність джерела живлення.

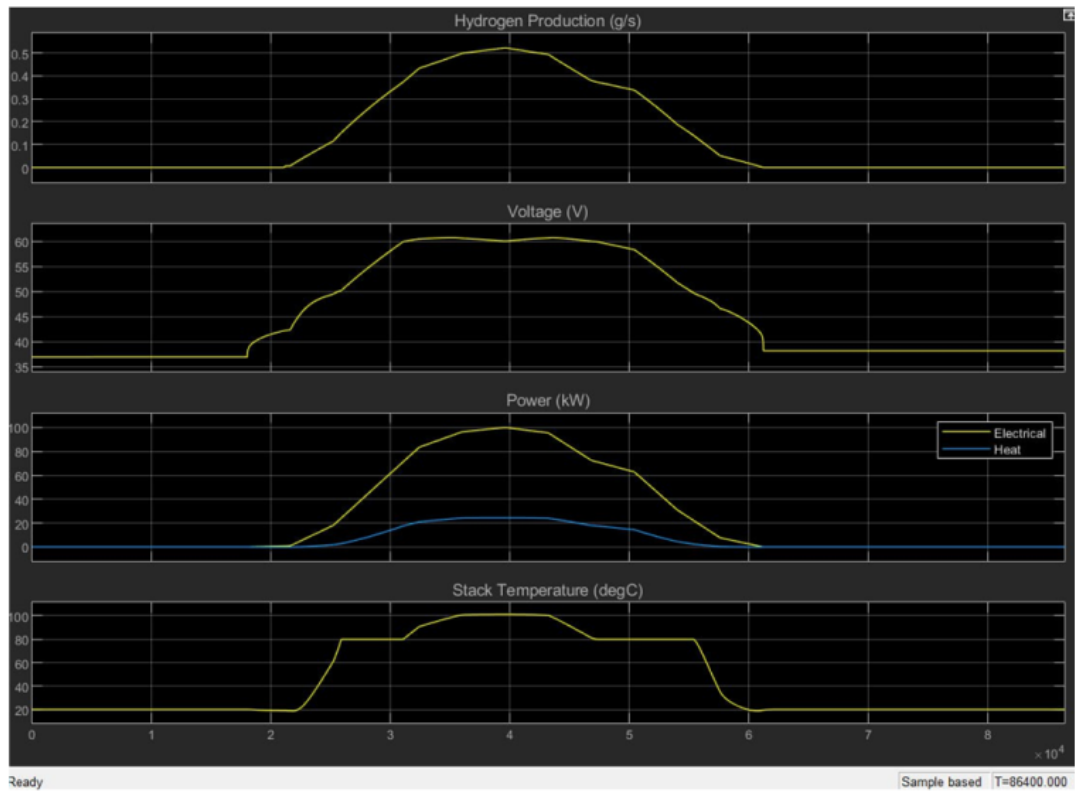


Рис. 2.9.2.4 Графік виробництва H₂, температури стеку, потужності та вольтажу

2.9.3 Дослід 3. Електролізер з 30 електродами (менша потужність)

Для третього дослідження кількість пластин в стеку лишається така ж сама як в попередньому досліді (30 шт.) Потужність джерела живлення зменшено на 20% тим само отримаємо пікове значення 80 КВт. Запустимо симуляцію для отримання даних.

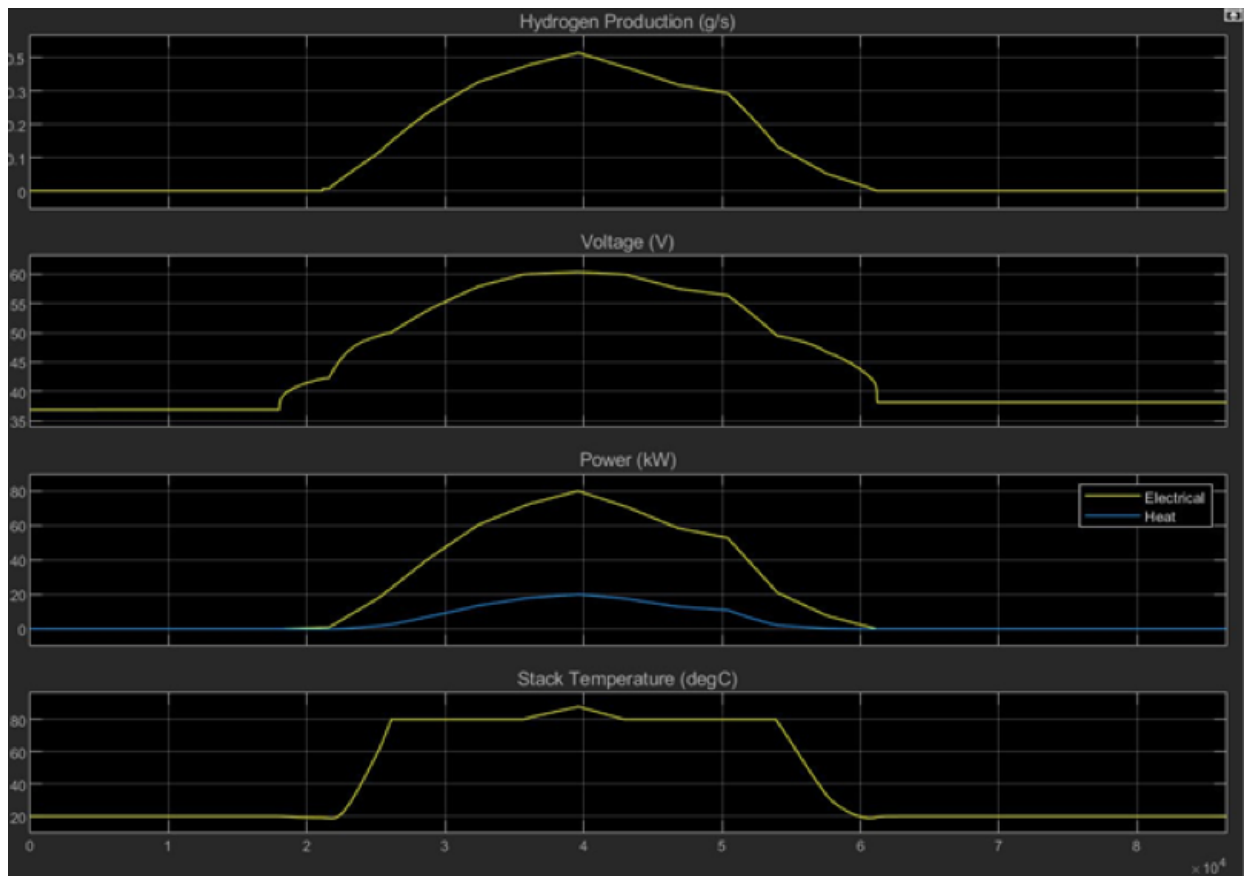


Рис. 2.9.3.1 Графік виробництва H₂, температури стеку, потужності та вольтажу

Як можемо бачити з рис. 2.9.3.1 температура в електродному стекові впала майже до 80°C , а кількість видуботого газу залишилась близькою 0,5 гр/с так як і в попередньому досліді з потужністю в 100КВт. Тому використовувати таку велику потужність є нераціональним, оскільки ми лише збільшимо робочу температуру, а кількість отриманого газу лишиться такою ж.

Висновки до розділу

Створивши модель біполярного електролізера з протонообмінною мембраною в середовищі Simscape Simulink та задавши необхідні параметри було проведено ряд дослідів.

Основна ціль дослідів була дослідити як змінюються робочі параметри. Під час дослідів змінювали кількість пластин електродів в стеку електролізера та потужність джерела живлення вдалось скласти ряд висновків та рекомендацій.

Для підвищення кількості водню, що виділяється необхідно збільшувати кількість пластин в стеку або ж збільшувати їх робочу площу, оскільки просте збільшення потужності джерела живлення може привести до підвищення робочої температури, що в свою чергу приводить навпаки до зниження кількості виділеного газу. Тому потрібно індивідуально підходити до вибору потужності джерела живлення для певної кількості електродів та їх площі. Що завдяки даній симуляційній моделі є можливим без створення реального випробувального стенду.

Також з аналізу графіків швидкості виробництва водню, швидкості споживання води на аноді та швидкості транспортування води до катода внаслідок дифузії, електроосмотичного опору та гідравлічної різниці тисків впливає, що для досягнення необхідного рівня чистоти водню необхідна етап осушення, оскільки споживання води на даному етапі менше, ніж її транспортування.

3. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

У даному розділі розглянуто процес виготовлення деталі «Стінка електролізера» та підбрано необхідне обладнання (рис. 3.1)

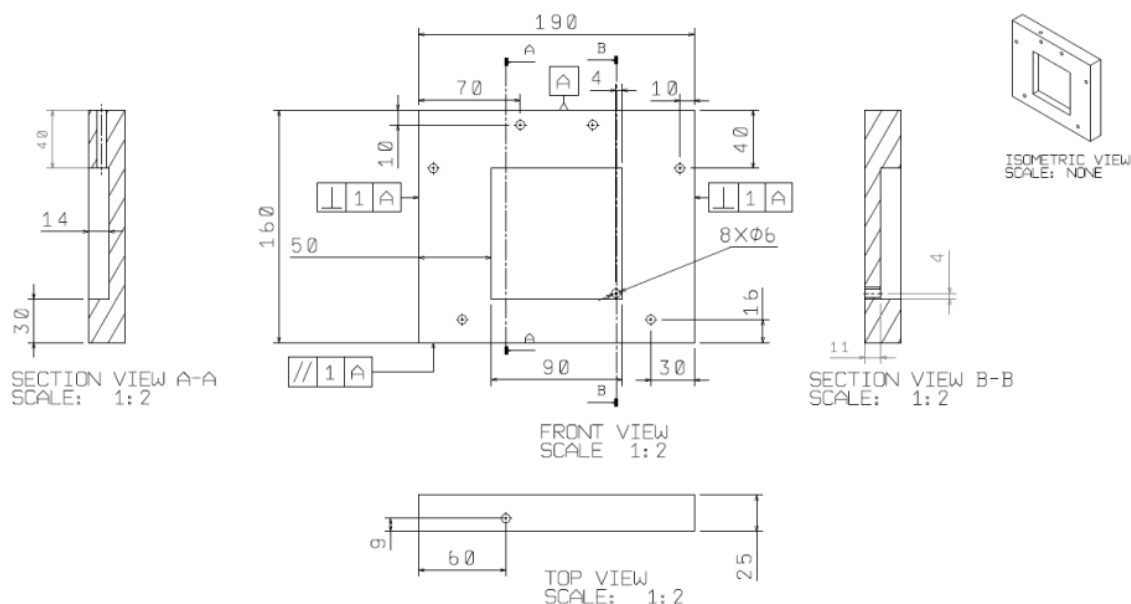


Рис. 3.1 Стінка електролізера

3.1. Аналіз призначення деталі у вузлі

Дві деталі «Стінка електролізер» є частиною корпусу електролізера і будуть виготовлені з PLA пластику методом 3Д друку. Оскільки дані деталі будуть знаходитись під тиском потрібно забезпечити 100% заповнення деталі матеріалом, щоб зберегти її міцність.

3.2 Проектування технології виготовлення

Для виготовлення корпусу було створено твердотільну модель в середовищі Catia v5 (рис. 3.2) і збережено у відповідному форматі (STL). Після цього деталь було імпортовано до програмного комплексу, що забезпечує 3Д друк (Repetier-Host).

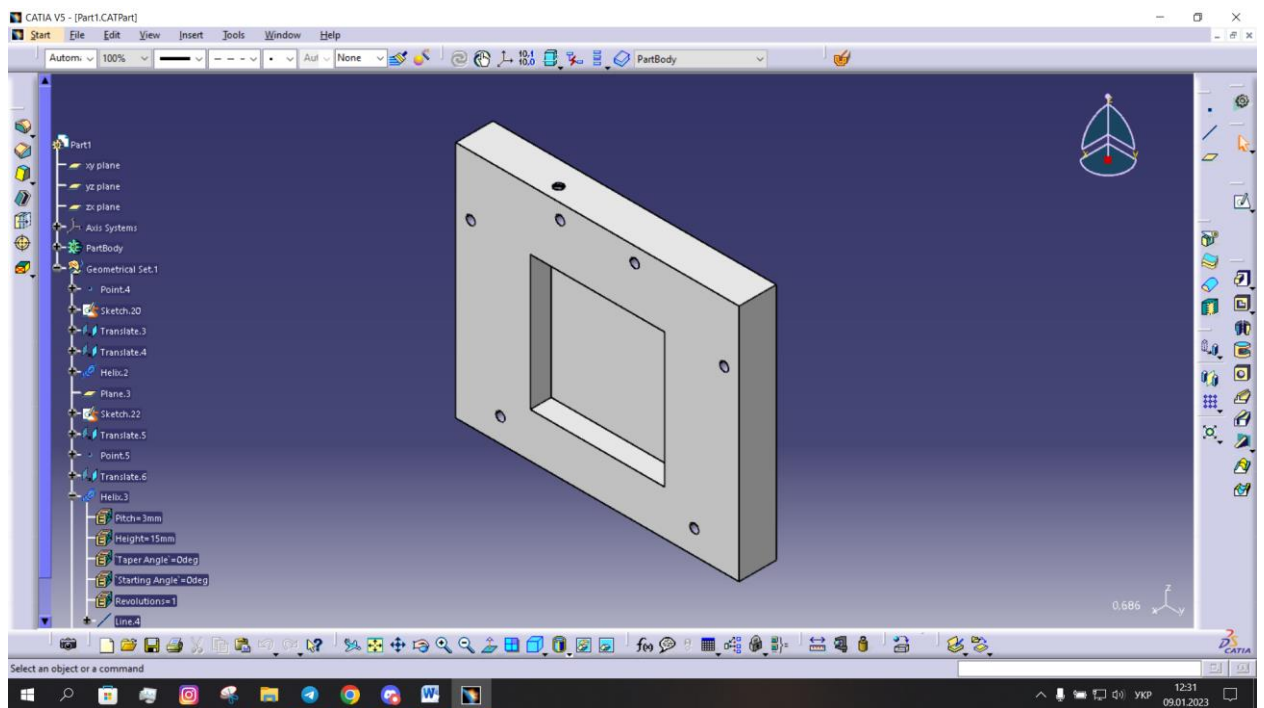


Рис. 3.2 Твердотільна модель в середовищі Catia v5

У програмному комплексі Repetier-Host вибрана найбільш оптимальна орієнтація деталі, що забезпечує використання мінімальної кількості підтримок (підтримуючого матеріалу).

Така орієнтація також забезпечує більш точне дотримання розмірів деталі, що визначають її робоздатність та напряду впливають на характеристики пристрою (рис. 3.3).

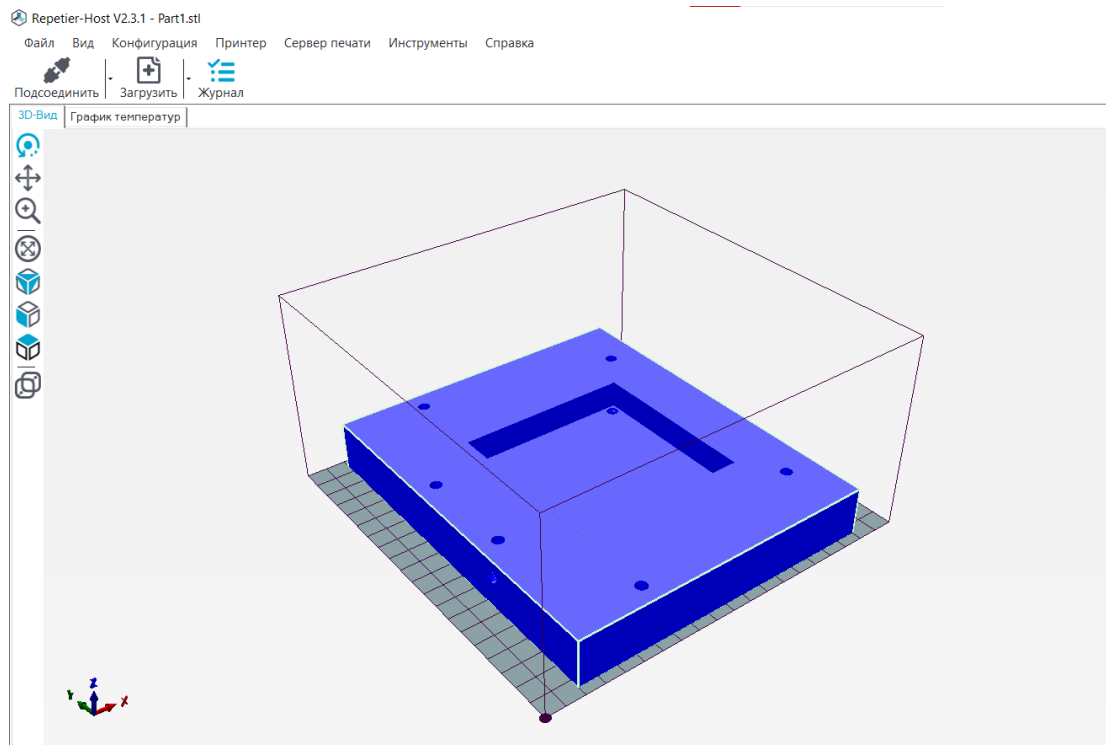


Рис. 3.3 Розміщення деталі та вибір оптимальної орієнтації у середовищі Repetier-Host

Серед основних налаштувань при 3д друку було задано 100% заповнення деталі матеріалом (рис. 3.4), що незважаючи на максимальну витрату матеріалу, що використовується при друку самої деталі забезпечує її найбільш високу міцність, що необхідно саме для найбільш навантажених деталей (деталей, що перебувають під високим тиском). Також 100% заповнення матеріалом забезпечує герметичність її стінок та відсутність перетікань рідини/газу через стінки.

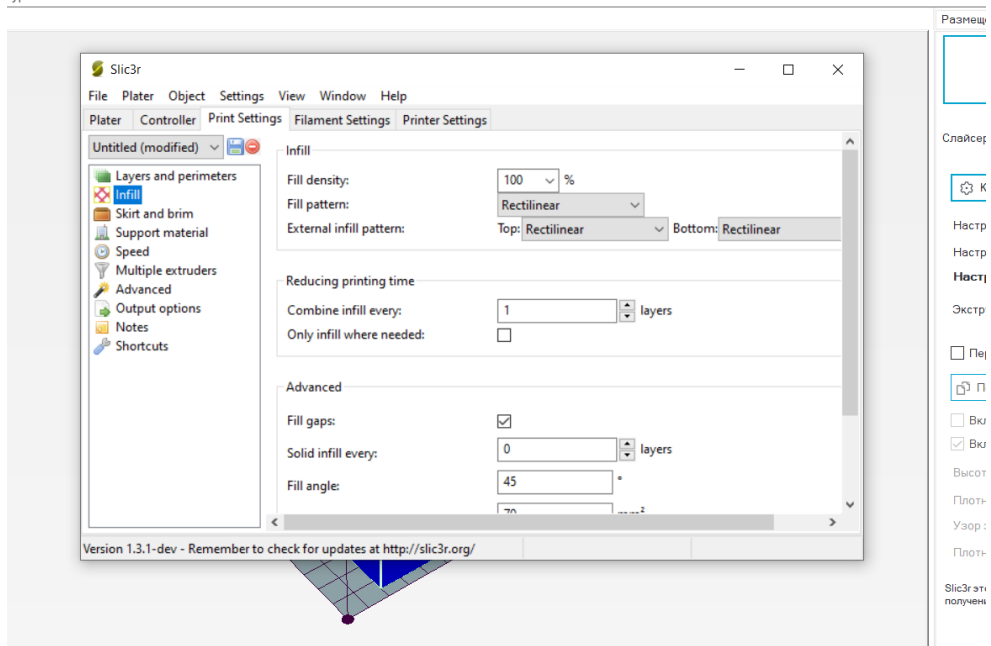


Рис 3.4 Встановлення параметрів 3Д друку в Repetier-Host

У результаті була отримана програма управління, що забезпечує виготовлення вказаної деталі методом 3д друку.

Отримана програма (що використовує мову програмування G-CODE) дозволяє забезпечити виготовлення деталі. Початковий фрагмент програми та візуалізація процесу виготовлення деталі у вигляді пошарового формування представлено на рис. 3.5.

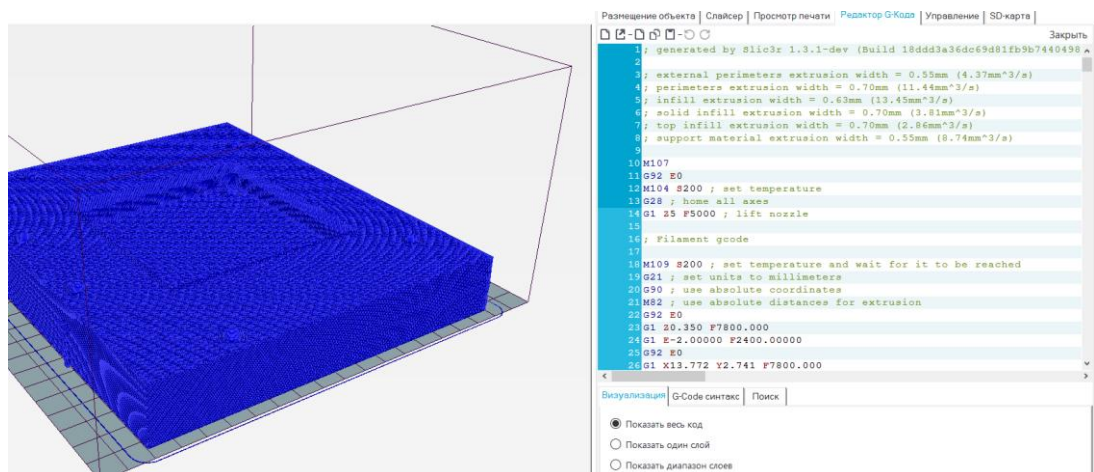


Рис. 3.5 Візуалізація процесу пошарового виготовлення деталі та початковий фрагмент програми

Вибрана правильна орієнтація деталі при 3-д друку та параметри, що забезпечують формування підтримуючого матеріалу дозволяють провести виготовлення деталі при цьому оптимізувавши витрату матеріалу (використати мінімальну кількість матеріалу), при цьому забезпечивши правильне її виготовлення.

Отримавши деталь після 3Д друку потрібно провести ряд операцій:

1. Попередньо зачистити деталь
2. Просверлити 8 отворів Ø6
3. Зняти задирки з деталі, зачистити поверхні
4. Покрити акриловим грунтом, потім фарбою

3.3 Вибір обладнання та оснастки

Для 3Д друку використаємо 3Д принтер Creality CR-K1 з областю друку 220 x 220 x 250 мм, що задовольняє наші потреби.



Рис. 3.6 3Д принтер Creality CR-K1

В якості матеріалу для друку використаємо PLA пластик товщиною 1,75мм.

Для обробки поверхонь використаємо набір надфілей Stanley (рис. 4.8) і наждачний папір P1000.



Рис. 3.7 Набір надфілей Stanley

Для сверління отворів використовуємо Акумуляторний дріль-шуруповерт Dnipro-M CD-218 (Рис. 4.9) та свердло універсальне Stanley 6 мм (Рис. 4.10)



Рис. 3.8 Акумуляторний дріль-шуруповерт Dnipro-M CD-218

	Шевчук Д.В.			МА21мп.20.МД.000.00.ПЗ	75
	Костюк Д.В.				



Рис. 3.9 Свердло універсальне Stanley 6 мм

Для фарбувальних робіт використовуємо Грунт акриловий New Top аерозольний та чорну фарбу аерозольну New Top універсальну.

Висновки до розділу

Для 3Д друку двох деталей «Стінка електролізера» потрібно приблизно 24 години (рис. 3.10)

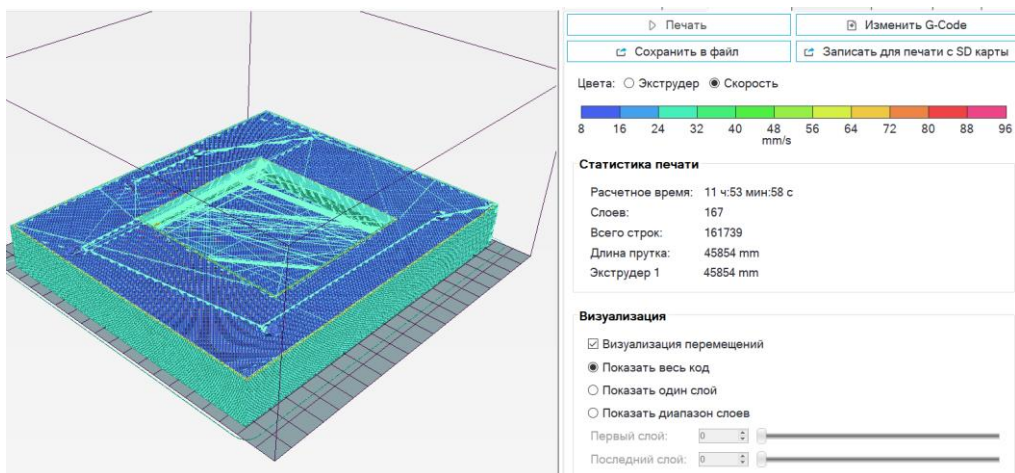


Рис. 3.10 Візуалізація часу виготовлення

Слюсарні операції та фарбування деталей займуть близько 4 годин. Тому можна зробити висновок, що для виготовлення двох деталей «Стінка електролізера» потрібно 28 годин.

		Шевчук Д.В.			МА21мп.20.МД.000.00.ПЗ	77
		Костюк Д.В.				

4. БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА

ПРОЕКТУВАННЯ

Тема дипломної роботи – «Дослідження робочих процесів в біполярному електролізері з протонообмінною мембраною». У цьому розділі проведено аналіз негативних та потенційно небезпечних аспектів на робочому місці під час виконання магістерської дисертації. Дослідження здійснюється в домашніх умовах у кімнаті квартири за допомогою ноутбука. У даному розділі розглядаються такі аспекти, як мікроклімат в кімнаті, освітлення, пожежна та електробезпека.

4.1. Мікроклімат

Кімната в квартирі була постійним робочим місцем під час написання магістерської дисертації (рис 4.1).

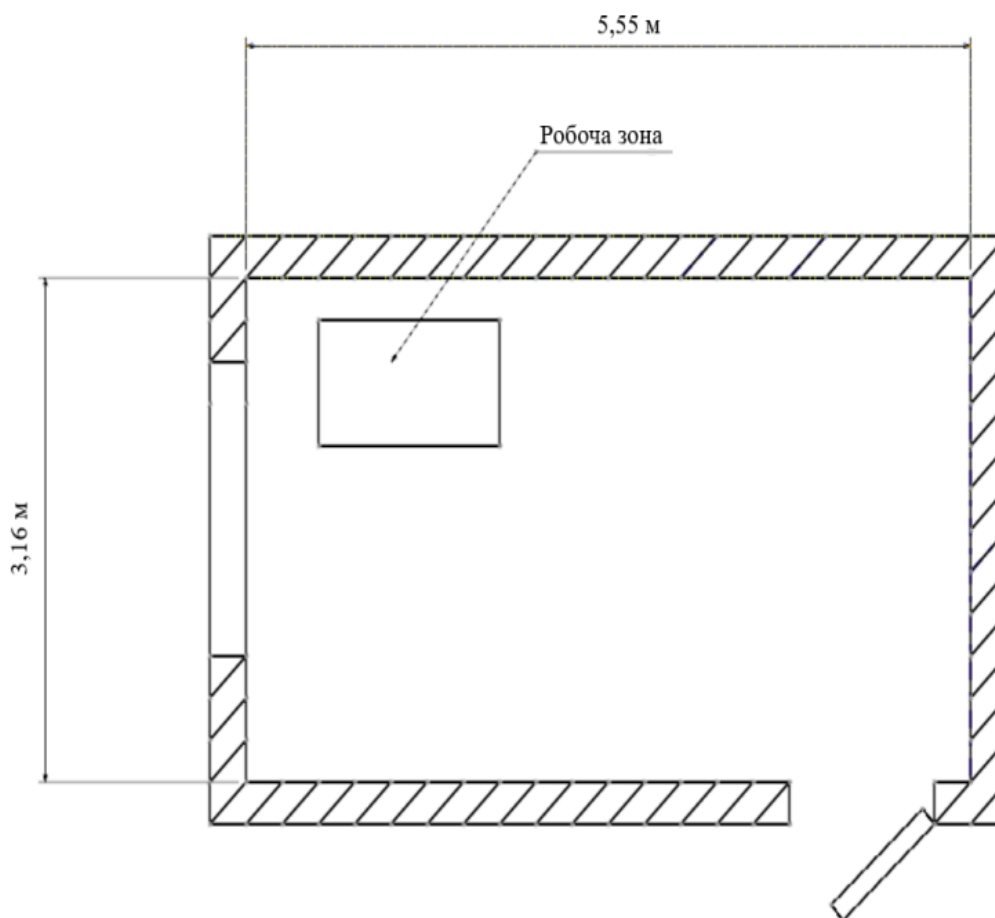


Рис. 4.1 План приміщення

1 висота $h = 2,60$ м;

2 ширина $b = 3,16$ м;

3 довжина $a = 5,55$ м.

Визначимо площу та об'єм

$$S = a * b = 5,55 * 3,16 = 17,53 \text{ м}^2$$

$$V = a * b * h = 5,55 * 3,16 * 2,6 = 45,59 \text{ м}^3$$

Житлова площа, що враховує проживання однієї особи в кімнаті, описана у таблиці 4.1, де також подано порівняльний аналіз фактичних та нормативних даних.

Табл. 4.1 Характеристики приміщення

	Допустиме значення	Фактичне значення
Житлова площа на 1 особу, м^2 .	7	18
Розмір приміщення, м^3 .	20	46
Ширина дверей, м.	0,9	0,9

Проводимо порівняльний аналіз показників мікроклімату в робочій зоні з оптимальними значеннями для виробничих приміщень, відповідно до вимог. Згідно з цією класифікацією, робоча діяльність визначається як легка фізична робота (категорія Ia. Це відповідає роботі, яка виконується у сидячому положенні і не вимагає значного фізичного зусилля. Характеристики мікроклімату подані в таблиці 4.2.

Табл. 4.2 Характеристики мікроклімату приміщення

Параметри	Допустимі	Дійсні
Температура ° С	22-24	24
Вологість повітря, %	60-40	48

Проаналізувавши показники які характеризують мікроклімат робочого місця можна зробити висновки, що вони відповідають вимогам.

4.2.Освітлення

Правильно підібране освітлення робочого простору є ключовим аспектом, оскільки нерівномірність освітлення в полі зору, недостатність чи надмірність його можуть призвести до стомленості очей, зниження продуктивності праці та збільшення ризику виникнення неправильних дій і нещасних випадків. Приміщення в якому постійно перебувають люди повинно мати природне освітлення, але йому властиві багато недоліків: воно нерівномірно розподіляється по площі, непостійне в різні періоди доби та пори року, а при незадовільній його організації може викликати засліплення очей.

Штучне освітлення передбачено в усіх побутових та виробничих приміщеннях де є недостача природного світла, а також для освітлення приміщень у темний період доби, або за відсутності природного освітлення. Під час вибору штучного освітлення потрібно забезпечити сприятливі умови для зорової роботи.

Визначити відповідність освітлення в приміщенні можна згідно нормативних значень ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»

Індекс приміщення:

$$i = \frac{a + b}{h_c(a + b)} = \frac{5.55 * 3.16}{2,3(5.55 + 3.16)} = 0,87$$

Де: $a = 5,55$ м і $b = 3.16$ м довжина і ширина приміщення;

$h_c = 2,3$ м

Коефіцієнт використання світлового потоку (η) беремо з табличних значень враховуючи показники коефіцієнтів відбиття світла та індексу приміщення.

Порахуємо значення E_ϕ :

$$E_\phi = \frac{F * N * n * \eta}{S * k * z} = \frac{1500 * 2 * 5 * 0.35}{17.53 * 1.5 * 1.1} = 181,5$$

Де:

$N = 2$ – кількість світильників, од;

$n = 5$ – кількість ламп, од;

$S = 17,53$ м² – площа робочого приміщення;

$k = 1,5$ – запас світла

$z = 1,1$ – коефіцієнт нерівності.

Порахуємо відхилення фактичного значення від нормативного

$$\frac{E_n - E_\phi}{E_n} * 100\% = \frac{200 - 181,5}{200} * 100\% = 9,25\%$$

Відхилення знаходиться в межах $\pm 10\%$, що задовольняє вимоги.

Отже, використане джерело освітлення «Лампа світлодіодна Hoz Electric Torch-40 40 Вт 1500 Лм» освітлення відповідає нормам ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

4.3. Пожежна безпека

У цьому розділі висвітлено та проаналізовано характеристики пожежної небезпеки, яка може виникнути у житлових будинках, і надано рекомендації з метою забезпечення безпеки від пожеж у приміщенні.

В житлових будинках протипожежного захисту дотримуються за такими документами:

1. ДБН В.1.1.7-2016
2. ДСТУ Б В.1.1-36:2016
3. НАПБ А.01.001-2014

Пожежі в житлових будинках мають ряд особливостей, які ускладнюють їх ліквідацію та можуть призвести до трагічних наслідків.

- Швидке поширення диму. Дим може поширюватися по вентиляційних каналах, ззовні будівлі, сходовими клітинами та ліфтовими шахтами. Це ускладнює евакуацію людей та гасіння пожежі.
- Блокування проїздів створює труднощі або навіть перешкоджає доступу пожежної техніки та рятувальників до місця події.
- Відсутність пожежної спецтехніки. У житлових будинках часто відсутня пожежна спецтехніка, необхідна для евакуації людей. Це ускладнює евакуацію людей у разі пожежі.

Для зменшення ризику виникнення пожежі та зберегти життя та майно людей необхідно вжити заходів щодо забезпечення пожежної безпеки у житлових будинках.

- Забезпечення належного стану вентиляційних каналів та димових труб.
- Очистка сходових клітин, ліфтових шахт та інших евакуаційних шляхів від сміття та інших предметів, які можуть ускладнити евакуацію людей.
- Встановлення в житлових будинках систем пожежної сигналізації та автоматизованого пожежогасіння.
- Проведення навчання мешканців житлових будинків правилам пожежної безпеки.

Для запобігання розповсюдження пожежі та в разі виникнення боротьбі з нею, квартира обладнана сигналізацією «Ajax StarterKit Cam Plus» та

вогнегасником «Вогнегасник аерозольний водопінний «ВВПА-400»» в кількості 1 шт., що відповідають нормам ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту».

Дана пожежна сигналізація — змішаного типу, тобто в її основі лежить фотоелектричний детектор, світлочутливий датчик визначає рівень освітлення та реагує на зменшення світлового потоку, викликаного присутністю диму. Щодо іонізаційного датчика, він виявляє наявність іонізованого диму в своїй камері. Коли частки іонізованого диму нейтралізуються, це може спричинити падіння електричного струму в датчику, що в свою чергу активує систему пожежної сигналізації.

4.4.Електробезпека

Використання електронної техніки згідно чинного законодавства має відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок».

Електронно-обчислювальна техніка, обладнання, електропроводи та кабелі повинні бути захищені від пожежі.

Під час встановлення ліній електромережі вживають такі заходи для унеможливлення пожежі

- Унеможливити перевантаження проводів та коротке замикання.
- Звести до мінімуму з легкозаймисту ізоляцію.
- Застосовувати тільки негорючу ізоляцію, якщо це можливо.

Для забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації електронно-обчислювальних машин забороняється:

- Використовувати нульовий робочий провідник для заземлення електроприймачів. Це може призвести до виникнення електричного струму в корпусі електроприймача, що може стати причиною пожежі.

- Підключати електронно-обчислювальні машини до звичайних двопровідних електромереж. Це може призвести до виникнення електричного струму в корпусі електроприймача, що може стати причиною пожежі.
- Підключати електронно-обчислювальні машини через перехідні пристрої. Це може призвести до перевантаження мережі та виникнення пожежі.

Для забезпечення безпеки від пожеж при організації робочих місць операторів електромережі розташовують розетки для живлення електронно-обчислювальної техніки у спеціально призначених каналах, використовуючи гнучкі металеві рукава або труби.

Для забезпечення пожежної безпеки при організації робочих місць операторів електромережі не дозволяється використовувати провід і кабель з ізоляцією від вулканізованої гуми або інших матеріалів, які містять сірку, через можливе швидке поширення вогню у разі пожежі. Це необхідно для того, щоб у разі короткого замикання уникнути потрапляння струму на корпус електроприймача та запобігти виникненню пожежі.

Для забезпечення пожежної безпеки забороняється:

- Використовувати кабелі та проводи з пошкодженою ізоляцією. Це може призвести до короткого замикання та виникнення пожежі.
- Використовувати подовжувачі, що не відповідають правилам пожежної безпеки. Такі подовжувачі можуть бути неякісними та несправними, що може призвести до пожежі.
- Користуватися пошкодженими розетками та вимикачами. Пошкоджені розетки та вимикачі можуть стати причиною виникнення пожежі.

- Підвішувати світильники безпосередньо на струмопровідних проводах. Це може призвести до пошкодження проводів та виникнення пожежі.

4.5 Техніка безпеки при роботі з Електролізером

Хоча основна частина роботи над магістерською дисертацією проводилась на персональному комп'ютері, в подальшому планується провести ряд реальних дослідів з видобутком водню шляхом електролізу.

Оскільки водень є дуже легкозаймистим газом було створено ряд правил техніки безпеки для поводження з ним і установками для його видобутку (в нашому випадку це біполярний електролізер з протонобмінною мембраною)

- Знайомство з обладнанням: Перед роботою з електролізерами ознайомтеся з їхнім принципом дії та конструкцією. Переконайтеся, що ви розумієте основні елементи електролізера та їхню роль у процесі.
- Одяг та захист: Користуйтеся відповідним захисним обладнанням, таким як окуляри та рукавички, для запобігання потенційним травмам чи контакту з реактивними речовинами.
- Вентиляція: Працюйте у добре провітрюваних приміщеннях або відкритих зонах для уникнення накопичення газів.
- Електробезпека: Використовуйте обладнання, яке відповідає електробезпеці, і перевірте його на відповідність нормам.
- Уникайте вологи: Зберігайте електролізери та електричне обладнання в сухому стані для запобігання коротким замиканням та іншим небезпекам.
- Контроль за електродами: Регулярно перевіряйте стан електродів та їхню ефективність. Замінюйте або обслуговуйте їх згідно з інструкціями виробника. Управління робочим тиском: Слідкуйте за робочим тиском у системі та дотримуйтеся рекомендацій виробника.
- Небезпека водню: Уникайте накопичення великих обсягів водню. Встановлюйте вентиляцію для виведення газу в разі потреби.

- Екстрені ситуації: Завжди будьте готові до екстрених ситуацій. Знайте місце та способи вимкнення електролізера в разі надзвичайних обставин.

Висновки до розділу

Під час розгляду розділу з охорони праці було проведено аналіз робочого приміщення, яким є житлова кімната в квартирі, щодо його електричної, пожежної безпеки та мікроклімат.

Визначено низку заходів та процедур для запобігання ураженню людини електричним струмом та виникненню пожежі. а також створено ряд правил для безпечної експлуатації електролізера з протонообмінною мембраною.

5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Зміст ідеї

З тезами стосовно даного стартап проекту я прийняв участь у міжнародній науково-технічній конференції «НОВІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕНІ» 6-7 грудня 2023 року

Табл. 5.1.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розвивати дослідження робочих процесів в біполярному електролізері з протонообмінною мембраною шляхом створення електронної моделі	Транспорт	Можливість використовувати водень може слугувати паливом для водневих автомобілів, що випускають воду як єдиний викид. Водень також може бути використаний у важких транспортних засобах, таких як літаки та кораблі.
	Енергетика	Водень може служити як джерело енергії для паливних елементів, генеруючи електроенергію і воду як єдині відходи. Водень може використовуватися для зберігання енергії, яку можна виробити з відновлювальних джерел, таких як вітро- та сонячна енергія.

	Виробництво електроніки	Водень використовується як атмосферний газ у виробництві напівпровідників і інших електронних пристроїв.
--	-------------------------	--

Табл. 5.1.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

П/П	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні конкуренти				Слабка сторона	Нейтральна сторона	Сильна сторона
		Мій проект	Nel Hydrogen	ITM Power	Ballard Power Systems			
1	Доступність	+	-	-	-	-	-	+
2	Спектр застосування	+	+	+	+	-	-	+
3	Дешевизна	+	-	-	-	-	-	+
4	Підтримка виробника	+	-	-	-	-	+	-

Високий потенціал доступності, широкий спектр можливих застосувань, можливість зниження вартості та локальне виробництво роблять продукт конкурентоспроможним.

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Табл. 5.2.1 Технологічна здійсненність проекту

№	Ідея проекту	Технології і реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Створення симуляційної моделі електролізера	Розробка КД, необхідне відповідне обладнання	Технології на ринку наявні	Доступна технологія
2	Використання моделі для дослідів і подальшої модернізації	Написання коду, прикрашення та спрощення інтерфейсу		

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Табл. 5.3.1 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість основних гравців	3
2	Загальній обсяг продаж	> 1 мільярду USD (світ)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
4	Наявність обмежень для входу	Стандартизація, вимоги до довіри
5	Вимоги до стандартизації	ISO 50001
6	Середня норма рентабельності, %	11%

За результатами таблиці можна визначати, ринок привабливий для участі.

Подальше визначення потенційних сегментів клієнтів передбачає аналіз їхніх характеристик та формування орієнтованого переліку вимог до продукту для кожного з цих сегментів.

Табл. 5.3.2 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Пришвидшення виробництва	Виробництво електроніки	Великі об'єми виробництва	Надійність, Енергоефективність
2	Мала місткість баків	Автотранспорт	Баланс між габаритами та об'ємом виробленого газу	Надійність Енергоефективність Малі габарити
3	Висока горючість водню, можливість витоків	Авіатранспорт	Кількість спожитого водню в рази більша ніж в автотранспорті	Надійність Енергоефективність Пожежобезпека

Табл. 5.3.3. Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нова компанія	Відсутність довіри	Додаткові сертифікації
2	Складна індустрія	Багато вимог	Вивчення ринку

Табл 5.3.4 Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Попит	Великий ринок	Виробляти більше
2	Різноманітний ринок	Потенціал збільшення ринку	Робити більш загальний продукт

Після вивчення факторів можливостей та загроз виявляється, що проведення досліджень щодо робочих процесів у біполярному електролізері з протонообмінною мембраною є привабливим та конкурентоспроможним вирішенням.

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаємо загальні риси конкуренції на ринку

Табл. 5.3.5 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - олігополія	Кожна компанія має свої стандарти	Робити сумісний продукт з іншими компаніями

2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний	Домовлятися з службами доставки, будувати ланцюги поставок	Оцінювати ринки в інших країнах
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Конкурентна боротьба в межах галузі	Покращення конструкції для більш широкого використання
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова	Необхідність в приводах не залежно від типу	Розуміння інших типів приводів
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Ціна впливає на вибір	Виготовляти дешевий якісний продукт

Як зазначено вище, роль конкуренції є надзвичайно важливою для прогресу компанії. У зв'язку з цим у таблиці 5.3.6 представлено аналіз конкуренції в галузі з декількома її аспектами, і для кожного з них надані висновки.

Табл. 5.3.6 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Nel Hydrogen ITM Power Ballard Power Systems	Потрібно багато часу щоб заробити довіру	Компоненти доступні	Необхідність сильної технічної підтримки	Високоспеціалізовані товари

Висновки:	Інтенсивна конкуренція	Є довгострокові можливості входу на ринок	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Клієнти диктують багато підтримки	Неможливість роботи в деяких специфічних нішах
-----------	------------------------	---	---	-----------------------------------	--

Таблиця 5.3.7 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Сумісність	Легше впровадження
2	Дешевизна	Вигідніше купляти наш продукт
3	Локальність	Більша довіра

На основі вищезгаданого аналізу факторів конкурентоспроможності для даного стартап-проекту був проведений розгляд його сильних і слабких сторін. Результати цього аналізу подано в Таблиці 5.3.8 за допомогою оцінювання конкурентоспроможності по 20-бальній шкалі.

Табл. 5.3.8 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Nel Hydrogen						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Сумісність	14	+						
2	Дешевизна	18			+				
3	Локальність	20	+						

Завершальним кроком у маркетинговому аналізі можливостей для впровадження проекту є формування SWOT-аналізу, ґрунтуючись на ідентифікованих ринкових загрозах та можливостях.

Табл. 5.3.9 SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: дешевизна, локальність	Слабкі сторони: невідома марка Невелика кількість сертифікацій
--	---

Можливості: розширення асортименту Покриття іноземного ринку	Загрози: зростання конкуренції Проблеми з сертифікацією Проблеми з сервісом
--	---

Для розглянутих альтернатив був проведений аналіз щодо термінів та ймовірності здобуття ресурсів, і отримані результати представлені у Таблиці 5.3.10.

Табл.5.3.10 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Пошук і закриття окремої ніші	40%	2 роки
2	Продажи загального	55%	4 роки

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розпочаток процесу розробки ринкової стратегії передбачає визначення стратегії охоплення ринку, що включає опис цільових груп потенційних споживачів.

Табл. 5.4.1 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачі в сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Авіатранспорт	низька	високий	висока	висока
2	Виробництво електроніки	висока	низький	середня	середня

Які цільові групи обрано: Гірнича промисловість

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформуванати базову стратегію розвитку

Табл. 5.4.2 Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Фокус на виробництвах електроніки	Електролізер з протонообмінною мембраною	Швидке отримання водню у великій кількості	Стратегія лідерства по витратах

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки

Табл. 5.4.3 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих?	Чи буде компанія копіювати основні характеристик и товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Забирати	Так	Стратегія наслідування лідеру

Табл. 5.4.4 Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні і позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Надійність, хороша ціна	Стратегія лідерства по витратах	Ціна, локальність	Надійно, дешево, місцево

Стратегія полягає у конкуренції на ринку виробництва електротехніки, та подальшому розвитку

5.5 Маркетингова програма стартап проекту

Визначимо основні переваги нашого товару та різницю між конкурентами за для побудування ефективної маркетингової програми.

Табл. 5.5.1 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Легка імплементація нових технологій	Сумісність	Краща сумісність
2	Рішення поставок	Дешево	Задовільна якість за низьку ціну

Трирівнева маркетингова модель товару, та її характеристика, фізичні складові

Табл. 5.5.2 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Надійні позиціонуючі приводи для складських систем
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Економічні 2. Надійності 3. Технологічні
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо
	Пакування
III. Товар із підкріпленням	До продажу консультації
	Після продажу сервіс
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: складність в виконанні	

Висновки до розділу

У цьому розділі розглядається економічна обґрунтованість та можливості на ринку стартап-проекту, який передбачає розробку досліджень робочих процесів в біполярному електролізері з протонообмінною мембраною. Аналіз включає дослідження ринку, оцінку науково-технічного рішення та його комерціалізацію.

В розділі розглядаються аспекти, такі як концепція стартапу, сфери застосування, переваги для користувачів, конкурентний аналіз, технологічний аудит, а також можливості та загрози на ринку. Аналіз свідчить про наявність значних конкурентних переваг у проекті. Проте також існують потенційні виклики, пов'язані з конкуренцією та складністю галузі.

ВИСНОВОК ДО РОБОТИ

Для досягнення визначеної мети під час написання магістерської дисертації на тему «Дослідження робочих процесів в біполярному електролізері з протонообмінною мембраною», було досліджено, переваги процесу електролізу води.

Розглянуто основні конструкції електролізерів, що побудовані за біполярною та монополярною схемою підключення, які поділяються на сухі та мокрі. Проаналізувавши дані електролізери зроблено висновок, що мокрі біполярні електролізери мають найбільше переваг таких як: ефективність енергоспоживання, компактність, модульність, ефективне використання матеріалів.

Визначено, що основними параметрами, що впливають на процес електролізу є сила струму, напруга, температура електроліту, склад електроліту, матеріал та кількість електродів, потужність джерела струму, швидкість використання води на електродах.

З метою дослідження робочих процесів в електролізері без створення реального випробувального стенду було створено симуляційну модель електролізера в середовищі Simscape Simulink, що дозволяє вибирати потужність джерела живлення, змінювати кількість електродів та їх площі, а також проведено ряд тестів на вплив зміни кількості електродів в стеку електролізера на кількість видобутого газу, та залежність між зміною потужності джерела живлення та робочою температурою

Визначено, що збільшення кількості виділеного водню може бути забезпечене збільшенням кількості пластин у стеку, оскільки при значенні потужності в 100 кВт при кількості електродів 30 шт. кількість виділеного газу дорівнювала ~ 0,5 гр/с , а при тій самій потужності але з кількістю електродів 50 шт. кількість газу становила ~ 0,59 гр/с. Але при такій потужності і при кількості електродів 30 шт. температура зростала до 100°C , знизивши

потужність на 20% ми побачили зниження температури в стекові до $\sim 80^{\circ}\text{C}$, а кількість виділеного газу так і лишилась $\sim 0,5$ гр/с, тобто температура в стеку залежить від потужності та впливає на кількість виділеного газу.

З аналізу графіків швидкості споживання води на аноді та швидкості транспортування води до катода видно, що для досягнення потрібної чистоти водню необхідно впровадити етап осушення. Це обумовлено тим, що на цьому етапі споживання води менше, ніж її транспортування, що вказує на необхідність підвищення ефективності осушення для оптимізації процесу виробництва водню.

Розроблено процес виготовлення деталі «Стінка електролізера» методом 3Д друку, в результаті отримано час виготовлення однієї деталі – 14 год.

В розділі безпечна експлуатація та обслуговування об'єкта проектування було розглянуто було проведено аналіз робочого приміщення щодо його електричної, пожежної безпеки та мікроклімат, та створено ряд правил для безпечної експлуатації електролізера з протонообмінною мембраною та роботи з воднем.

У останньому розділі розглянули економічну обґрунтованість та можливості на ринку стартап-проекту, який передбачає розробку досліджень робочих процесів в біполярному електролізері з протонообмінною мембраною

Після аналізу зроблено висновок про наявність значних конкурентних переваг у проекту. Проте також існують потенційні виклики, пов'язані з конкуренцією та складністю галузі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. С. В. Дигонский , В. В. Тен , Неизвестный водород . – Санкт - Петербург : Наука, 2006. – 310 с.
2. О. Е. Попов, Б. Е. Гельфанд. Водород. Параметры горения и взрыва / под ред. О. Е. Попова. – М.: Издательская фирма Физико-математическая литература, 2008. – 295 с.
3. Н. С. Лидоренко, Г. Ф. Мучник. Электрохимические генераторы. – М.: Энерго, 1982 – 448 с.
4. Монографія Відновлювано-воднева енергетика / за заг. ред. Ю.М. Солоніна – Київ: КІМ, 2018. – 260 с.
5. Методичні вказівки до курсового проекту за курсом «ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄМНИХ ГІДРОПРИВОДІВ» для студентів з фаху «Гідравлічні і пневматичні машини» / укладач В.К. БУСЛОВ – Київ, НТУУ «КПІ», 2008 – 80 с.
6. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. — Изд. 2-е, дополненное и переработанное. — М.: ГИФМЛ, 1959. — 700 с
7. Как сделать водородный топливный элемент / Химия и Химики / М.. - 2009. - № 7 – С. 1-6.
8. И. К. Ландграф. Введение в водородную энергетику и топливные элементы, - Филиал «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «Крыловский государственный научный центр» , - 54 с.
9. Д. Ю. Гамбург, В. П. Семенов, Н. Ф. Дубовкин, Л. Н. Смирнова. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение / Под ред. Д. Ю. Гамбурга, Н. Ф. Дубовкина. – М.; Химия, 1989. – 672 с.
10. Барило А.А., Бенменні М., Будько В.І., Будько М.О., Васько П.Ф., Головка В.М., Дідківська Г.Г., Жовмір М.М., Ібрагімова М.Р., Іванченко І.В., Іванчук В.Ю., Кармазін О.А, Ключ В.П., Ключ С.В., Коханевич В.П., Кудря С.О., Кудря Т.С., Кузнецов М.П., Новицька Є.Г., Маслова Н.О., Матях С.В., Мороз А.В., Морозов Ю.П., Мхітарян Н.М., Петренко К.В.,

Рєпкін О.О., Рєзцов В.Ф., Суржик Т.В., Ткаленко М.Д., Тучинський Б.Г., Четверик Г.О., Хілько В.А., Шинкаренко Л.Я., Шихайлов М.О., Щокіна В.А., Яценко Л.В. Монографія ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.

11. Wang, X. (2021). Fundamentals of electrocatalysis for hydrogen production and fuel cells. Weinheim, Germany: Wiley-VCH.
12. Thomas D Allston, Massoud J. Miri, Gerald A. Takacs, Alla W. Bailey, K. S. V. Santhanam, Clean Energy: Hydrogen/fuel Cells Laboratory Manual. – М. , 2016 - 139 с. Jakimenko L.M., Modylevskaja I.D., Tkachek Z.A. Jelektroliz vody izdatel'stvo Himija. Moskva. 1970. -264s.
13. SOCMEDARCH, ІННОВАЦІЇ У ВОДНЕВИХ ПАЛИВНИХ КОМПІКАХ 21 СТОЛІТТЯ, [<https://uk.socmedarch.org/hydrogen-fuel-cells-1991799-5082>] , 2022.
14. Shpil'rayn E.E., Malysenko S.P., Kuleshov G.G. Vvedenie v vodorodnuyu energetiku., М.: Energoatomizdat, 1984. – 264. s.
15. Portable Hydrogen Energy Systems Fuel Cells and Storage Fundamentals and Applications / edited by Paloma Ferreira-Aparicio, Antonio M. Chaparro. – М.: Academic Press, 2018. – 237 с.
16. Peter Hoffmann, Byron Dorgan, Tomorrow's Energy: Hydrogen, Fuel Cells, and the Prospects for a Cleaner Planet. –М., 2012. – 360 с.
17. Nochnichenko Intensification of transfer phenomena in technological processes due to the use of cavitation impact / I. Nochnichenko, O. Jakhno, K. Lugovska // Journal of the Technical University of Gabrovo, #61 I. – Gabrovo, Bulgaria, pp. 60 - 64, 2020 p.
18. Nochnichenko I. Research of methods for increasing the efficiency of producing oxygen-hydrogen mixture / I. Nochnichenko, O. Luhovskyi, D. Kostiuk, A. Zilinskyi - Journal of the Technical University of Gabrovo 58 (2019) p.33-37.

19. Nochnichenko I. Experimental study of a hydrogen generator with application modules of ultrasonic cavitation and vibration oscillations / I. Nochnichenko, O. Luhovskyi, D. Kostiuk - Journal of the Technical University of Gabrovo, Bulgaria, 59 (2019) 50-53.
20. Newman, M. S., & Smith, M. L. (2018). Advanced electrolyzer technology for hydrogen production and water treatment. New York, NY: Wiley.
21. Newman, M. S., & Smith, M. L. (2016). Bipolar electrolyzers: Fundamentals, design, and applications. New York, NY: Wiley.
22. Mr John Armstrong, The Future of Energy: The 2021 guide to the energy transition - renewable energy, energy technology, sustainability, hydrogen and more. – M.,
23. Michael Ball, Angelo Basile, T. Nejat Veziroğlu, Compendium of Hydrogen Energy / edited by Michael Ball, Angelo Basile. – M.: Woodhead Publishing, 2016. – 357 c.
24. Manthiram, A. (2019). Electrochemistry for hydrogen production and storage. Hoboken, NJ: Wiley.
25. Kozin L.H., Volkov S.V., Skryptun I.N., Modern Hydrogen Energetics and Ecology. - Kyiv: PH "Akademperiodyka", 2019. – 364 c.
26. Korzh V.N. Obrabotka metallov vodorodno-kislorodnym plamenem: monografiya/ V.N. Korzh, Yu.S Popil'. //- K. : Ekotekhnologiya, 2010.
27. Kazunari Sasaki, Hai-Wen Li, Akari Hayashi, Hydrogen Energy Engineering A Japanese Perspective / edited by Kazunari Sasaki, Hai-Wen Li, Akari Hayashi, Junichiro Yamabe, Teppei Ogura, Stephen M. Lyth. – Japan.: Kyushu University, 2016. – 593 c.
28. Handbook of Hydrogen Energy / edited By S.A. Sherif, D. Yogi Goswami, E.K. (Lee) Stefanakos, Aldo Steinfeld. – M.: CRC Press, 2014. – 375 c.
29. De Groot, J. C., van Veen, P. A., & Engels, S. B. (2020). Electrocatalytic hydrogen production: Theory and practice. Weinheim, Germany: Wiley-VCH.

30. bukvar.su, Реферат Нові транспортні двигуни, [<http://bukvar.su/transport/66135-Novye-transportnye-dvigateli.html>]
31. Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N. (August 2001). Transport Phenomena (Second ed.). John Wiley & Sons. ISBN 0-471-41077-2.
32. Bent Sorensen, Hydrogen and Fuel Cells. – M., 2005.