

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

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

"До захисту допущено"

Завідувач кафедри

канд. техн. наук

_____ Будько В.І.

(підпис)

"__" _____ 2022 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.»
за темою: Енергозабезпечення виробничого підприємства за допомогою
вітроелектростанції з водневим акумулятором енергії.

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕД-71 мп

Ісаков Олексій Дмитрович

(підпис)

Керівник: доц., кан. техн. наук Кириленко К.В.

(підпис)

Рецензент

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

КИЇВ 2022

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра відновлюваних джерел енергії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри канд. техн. наук.

_____ Будько В.І.

(підпис)

“ ____ ” _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Ісакову Олексію Дмитровичу

1. Тема роботи: Енергозабезпечення виробничого підприємства за допомогою вітроелектростанції з водневим акумулятором енергії.

Керівник роботи доц., кан. техн. наук Кириленко К.В., затверджені наказом по університету від

2. Термін подання студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи: підприємство у пригороді міста Тернопіль з встановленою потужністю 3 МВт та щоденним споживанням близько 10МВт.

4. Перелік завдань, які потрібно розробити:

а) Аналіз даних про сучасний стан розвитку вітрової та водневої енергетики регіоні та світі;

б) Розрахунок споживаних потужностей на підприємстві;

в) Розрахунок можливих обсягів виробітку водню за рахунок надлишків електроенергії і вибір основного обладнання для водневої накопичувальної системи;

г) Визначення комплектації системи та основні розрахунки;

д) Охорона праці та економічний розрахунок

Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

5. Дата видачі завдання: 20.09.2022

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Робота з літературними джерелами	25.09.2022	Виконано
2	Аналіз даних про сучасний стан розвитку вітрової та водневої енергетики регіоні та світі	8.10.2022	Виконано
3	Розрахунок споживаних потужностей на підприємстві	15.10.2022	Виконано
4	Визначення обсягу виробництва електроенергії вітроустановкою, комплектації водневої системи та основні розрахунки вироблення і споживання водню	05.11.2022	Виконано
5	Розрахунок стартап проекту	20.11.2022	Виконано
6	Охорона праці та економічний розрахунок	30.11.2022	Виконано
7	Оформлення роботи, підготовка до здачі	15.12.2022	Виконано

Студент _____

Керівник роботи _____

О. Д. Ісаков

К. В. Кириленко

РЕФЕРАТ

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 81 сторінку, у тому числі 29 сторінок основного тексту, 17 рисунків, 10 таблиць, 11 посилань на літературних джерел.

Актуальність теми. Сьогодні воднева енергетична галузь швидко розвивається. Виробництво водню проводиться належним чином, що дозволяє задовольнити більшість потреб людини. В основному він виробляється з викопного палива (природного газу, нафти та вугілля), але коли водень отримують із будь-якої вуглевмісної сировини (спирту, піролізу біомаси), існує проблема парникових газів, тому ці методи не є екологічно чистими. Велика кількість дослідників намагається вдосконалити свої концепції та запровадити їх максимально ефективно

Метою дипломної роботи є розрахунок системи електропостачання за рахунок енергії вітру та її акумулювання шляхом виробництва водню для підприємства з щоденними енерговитратами близько 10МВт.

Об'єкт дослідження. Процеси перетворення енергії вітру в електричну енергію та її акумулювання за рахунок електрохімічних процесів.

Предмет дослідження. Система електропостачання підприємства, яка поєднує вітроустановку та водневу накопичувальну установку.

Методи дослідження. Наукові положення, висновки та рекомендації, що сформульовані в дисертації, базуються вірогідностях швидкості вітру по градаціям у різні години доби з Тернопольської, розрахунки виконувались за стандартними методиками з використанням прогамного середовища «Mathcad».

Наукова новизна отриманих результатів: В роботі отримала подальший розвиток порівняння ефективних методів компенсування електричної енергії, виробленої за рахунок відновлюваних джерел. У вступі зазначаються переваги використання енергії вітру відносно традиційних джерел електричної енергії, висвітлені проблеми недостатчі вітрових потужностей та вирішення цієї проблеми за допомогою водню.

В першому розділі проведений аналіз сучасного стану вітряної енергетики та визначення подальших цілей для її розвитку в Україні в майбутньому. Проаналізована доцільність використання вітрових технологій для малих та середніх підприємств.

Розглянули методи виробництва зеленого водню з допомогою електролізерів. Проаналізували характеристики гібридних електростанцій та пілотні проекти по виробництву зеленого водню в Україні.

Також ознайомилися з системами отримання, зберігання водню і застосування паливних елементів для виробництва електроенергії, а також спроектували систему сумісного застосування електролізерів, паливних елементів і вітрових станцій.

У другому розділі розраховували систему енергопостачання за рахунок енергії вітру, вибрали потужності та кількість вітрових установок, розраховували генеруючі та недостаючі потужності, вибрали кількість та потужність паливних елементів для компенсації недостачі електроспоживання. Також визначили кількість продукту яку можа використати у якості товару.

В третьому розділі описали стартап для системи зберігання водню.

В четвертому розділі описали техніку безпеки під час монтажу та використання обладнання.

Ключові слова: вітрова енергетика, вітрова установка, вітровий потенціал, альтернативні джерела енергії, гібридні станції, воднева система акумулювання.

ABSTRACT

The dissertation consists of an introduction, five chapters, general conclusions, a list of references. The total volume of the dissertation is 72 pages, including 29 pages of the main text, 17 figures, 10 tables, 11 references to literature sources.

Relevance of the topic. Today the hydrogen energy industry is developing rapidly. Hydrogen production is carried out properly, which allows to satisfy most human needs. It is mainly produced from fossil fuels (natural gas, oil and coal), but when hydrogen is obtained from any carbon-containing raw materials (alcohol, biomass pyrolysis), there is a problem of greenhouse gases, so these methods are not environmentally friendly. A large number of researchers are trying to improve their concepts and implement them as efficiently as possible.

The purpose of the thesis is to calculate the power supply system using wind energy and its accumulation by producing hydrogen for an enterprise with a daily energy consumption of about 10 MW.

Object of research. The processes of converting wind energy into electrical energy and its accumulation through electrochemical processes. The subject of research. The power supply system of the enterprise, which combines a wind turbine and a hydrogen storage unit.

Research methods. The scientific provisions, conclusions and recommendations formulated in the thesis are based on the probabilities of wind speed by gradations at different hours of the day from Ternopil, the calculations were performed according to standard methods using the software environment "Mathcad".

Scientific novelty of the results: The work has further developed the development of effective methods for compensating for electricity generated from renewable sources. In the introduction, the advantages of using wind energy relative to traditional sources of electricity are noted, the problems of lack of wind power and the solution of this problem with hydrogen are highlighted. The first section analyzes the current state of wind energy and defines further goals

for its development in Ukraine in the future. The feasibility of using wind technologies for small and medium-sized enterprises is analyzed. The methods of green hydrogen production using electrolyzers were considered. Analyzed the characteristics of hybrid power plants and pilot projects for the production of green hydrogen in Ukraine.

We also got acquainted with the systems of hydrogen production and storage and the use of fuel cells for electricity production, as well as designed a system for the combined use of electrolyzers, fuel cells and wind power plants. In the second section, we calculated the system of energy supply from wind energy, selected the capacity and number of wind turbines, calculated the generating and missing capacities, selected the number and capacity of fuel cells to compensate for the lack of electricity consumption. We also determined the amount of product that can be used as a commodity.

In the third section we described the startup for the daytime storage system. The fourth section describes safety precautions during installation and use of the equipment.

Keywords: wind energy, wind turbine, wind potential, alternative energy sources, hybrid stations, hydrogen storage system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ВІТРОВОЇ ТА ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	12
1.1 Загальна характеристика вітроенергетичних ресурсів в Україні їх основні показники та тенденції.....	13
1.2 Вітрові технології для малих та середніх підприємств.....	18
1.3 Зелений водень.....	19
1.4 Пілотні проекти по виробництву зеленого водню в Україні.....	24
1.5 Вироблення, зберігання водню та отримання електроенергії з водню..	29
1.5.1 Методи отримання водню.....	29
1.5.2 Зберігання водню.....	32
1.5.3 Паливні елементи.....	39
РОЗДІЛ 2 . РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА.....	42
2.1 Визначення часового розподілу використання енергії споживачем.....	43
2.2 Аналіз характеру навантаження протягом доби.....	44
2.3 Опис майданчика, землекорисування, клімат.....	44
2.4 Моніторинг швидкості вітру.....	45
2.5 Вибір та обґрунтування типів та параметрів вітроенергетичного обладнання.....	46
2.5.1 Визначення класу вітру в даній місцевості.....	46
2.5.2 Аналіз ринку виробників ВЕУ.....	48
2.5.3 Порівняння обраних ВЕУ.....	48
2.6 Схема розміщення ВЕУ на земельній ділянці.....	49
2.7 Оцінка щоденного виробітку електроенергії для 4 установок Enercon E- 66/18.70.....	50
2.8 Розрахунок надлишку та недостачі в(МВт) в день.....	56
2.9 Вибір установки електролізу та паливного елемента.....	58

2.10 Розрахунок надлишку та недостачі в (Nm ³) водню в день.....	61
2.11 Розрахунок потреб водню для роботі компресора в (Nm ³) в день.....	62
2.12 Розрахунок підсумкової кількості водню який можна продати або викорістати для інших потреб в (Nm ³) та (kg) в день.....	63
РОЗДІЛ 3 Стартап.....	66
3.1 Основа мета стартап-проекту.....	67
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	73
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81

ВСТУП

Водень широко розглядається як можливе паливо для транспорту, якщо певні технологічні бар'єри можуть бути подолані економічно. Він також може використовуватися в звичайних двигунах внутрішнього згорання або в паливних елементах, які перетворюють хімічну енергію безпосередньо в електрику без звичайного процесу згорання. Комерційне виробництво водню вимагає або риформінгу природного газу (метану) парою, або електролізу води. Перший процес має вуглекислий газ як побічний продукт, що посилює (або, принаймні, не покращує) викиди парникових газів порівняно з нинішніми рівнями викидів за існуючих технологій. З непостійними відновлюваними джерелами, такими як сонячна та вітрова енергія, узгодження обсягів виробництва з попитом на електроенергію в мережі є дуже складним, а за межами близько 20% від загального обсягу поставок, очевидно, неможливим. Але якщо ці джерела використовуються для отримання електроенергії для виробництва водню, то вони можуть бути використані повністю, коли вони доступні, кон'юнктурно. В широкому розумінні не має значення, коли вони будуть доступні, водень просто зберігається і використовується в міру необхідності.

Маючи інженерні ноу-хау вітроенергетики і виробничий досвід, було б відносно легко збільшити масштаби галузі, навіть подвоювати їх щорічно протягом декількох років, якщо виникне така потреба. Якщо, наприклад, спекотні хвилі, що призведуть до скорочення врожаю, підвищать ціни на продукти харчування і створять суспільний тиск для швидкого скорочення викидів вуглецю шляхом заміни вугілля і нафти вітровою та водневою енергією, це буде можливо зробити. Якщо виникне потреба швидко перейти на автомобілі, що працюють на водневому паливі, це можна зробити шляхом переобладнання бензинових двигунів внутрішнього згорання на водень.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ВІТРОВОЇ ТА ВОДНЕВОЇ
ЕНЕРГЕТИКИ.

1.1. Загальна характеристика вітроенергетичних ресурсів в Україні

Впровадження вітроенергетики в Україні вирішує багато проблем з таких сфер, як енергетика, екологія, економіка. Які мають дуже велике значення для.

Наступним кроком розвитку вітроенергетики в найближчий час має стати залучення шляхом залучення значних закордонних інвестицій за допомогою впровадження державою економічно привабливої ставки зеленого тарифу.

Збільшення ринку виробництва комплектуючих для вітрогенераторів знизило вартість електроенергії, що виробляється вітром. На сьогоднішній день вітрові турбіни виробляють у 30 разів більше електроенергії ніж 25 років тому, при цьому вартість кіловата виробленої потужності впала вдвічі. І завдяки цьому, вітрові електростанції побудовані в деяких кліматичних зонах можуть конкурувати з тепловими електростанціями, що працюють на вугіллі або газі.

На графіку видно що більшу частину електроенергії генерують АЕС та ТЕС, що протирічить поглядам Європи на розвиток всесвітньої енергетики, та негативно впливає на екологічний стан планети в цілому. В останні роки кількість ГЕС та ГАЕС в Україні майже не змінилася. На це вплинула два фактори. По-перше держава не зробила розвиток даних сфер енергетики інвестиційно привабливими, а по-друге, вважається що енергетичний потенціал річок, що протікають на території України вважається частково вичерпаним, в той час як у сонячної та вітроенергетики параметру «вичерпаності» просто не існує.



Рисунок 1.1 – Графік генерації електроенергій

Галузь вітрової енергетики є однією з найбільш перспективних напрямків нетрадиційної енергетики, та займає в Україні друге місце за виробітком зеленої енергії після сонячної енергетики. Останнім часом можна побачити, що розвиток вітрової енергетики в тій чи іншій країні свідчить про її економічний розвиток, як це було вказано в программі ООН з розвитку світової енергетики. Згідно з оцінками всесвітньої енергетичної ради з «мінімальних» та «максимальних» варіантів розвитку нетрадиційної енергетики, частка вітрової енергетики та загальний виробіток енергії в світі на 2025 має збільшитися майже вдвічі. Наразі галузь вітрової енергетики розвивається більш ніж у 20 країнах. Великі проекти реалізують у Швеції, Ірландії, Новій Зеландії, Канаді, Німеччині, США, Данії, Швейцарії. Після 1995 року встановлена потужність вітрових станцій у світі збільшилася більш ніж у 12 разів : з 4800 МВт до 59000 МВт (на кінець 2005 року).

Проте існує ряд недоліків, пов'язаних з географічним розташуванням (необхідні великі площі, розташування вітроустановок в районах з високою інтенсивністю вітру), економічними моментами (значні первинні інвестиції), екологічними проблемами (шумові впливи; небезпека для птахів, кажанів, інших видів тварин; можливе посилення ерозії ґрунту).

Вітровий потенціал, який може бути використаний до 2030 року приблизно складає 16 ГВт. За даними Агентства з питань використання енергетичних ресурсів до 2050 р. ймовірно використання до 30 ТВт/год. вітроенергетики, при цьому загальний технологічний потенціал вітрової енергії складе 42 ТВт•год. Енергетична стратегія України планує, що до 2030 р. в країні 2 ТВт•год електроенергії будуть вироблятися вітровими установками. Станом на листопад 2020 в Україні виробляється 1 ГВт зеленої енергії, що складає майже 2% від загальної потужності енергосистем України.

За прогнозами аналітичних компаній, у найближчі роки вітроенергетика в Україні розвиватиметься набагато швидше за інші ВДЕ, і в цілому загальна потужність вітропарків перевищить потужність сонячних станцій не менш як в 10 разів. Це зумовлено тим, що при однаковій потужності, вітроустановки займають меншу площу і мають нижчу собівартість. Завдяки цьому в Україні збільшується кількість компаній, що займається дослідженням та будівництвом вітроенергетичних комплексів на території України. Проте існують деякі труднощі, з якими важко впоратися через законодавчу базу в Україні, що негативно впливає на розвиток ВДЕ в цілому.

Після рекордного 2019 року, за яким послідував рік стагнації та боротьби за виживання у 2020 році, у 2021 році галузь відновлюваної енергетики опинилася на роздоріжжі 2021 році галузь відновлюваної енергетики опинилася на роздоріжжі в очікуванні рішення Уряду України щодо вектору розвитку енергетичного сектору. Чи буде це кардинальна зміна енергетичної парадигми та модернізація енергетичної системи, яка веде до екологічно чистого майбутнього з масштабним та збалансованим використанням відновлюваних джерел енергії чи подальшим розвитком викопної енергетики, яка також найближчим часом потребуватиме значних інвестицій для заміни застарілих потужностей на нові. задіяних потужностей на нові?

Наприкінці 2021 року можна констатувати, що ринок ВДЕ все ще демонструє ознаки настороженості. Позитивним моментом є те, що Уряд

України почав виконувати свої фінансові зобов'язання перед виробниками ВДЕ та погасив борги, накопичені у 2020-2021 роках, а Президент України взяв на себе зобов'язання поступово відмовлятися від вугілля до 2035 року. З негативного - наприкінці грудня 2021 року КМУ схвалив Концепцію Державної цільової економічної програми розвитку атомно-промислового комплексу на період до 2026 року, яка передбачає збільшення видобутку урану для повного забезпечення потреб вітчизняної атомної енергетики.

Крім того, потребують вирішення наступні питання рішення Конституційного Суду України у справі за конституційним поданням щодо України за поданням 47 народних депутатів України щодо визнання "зеленого" тарифу таким, що не відповідає Конституції України, ініційованим Україною від 17 липня 2020 року, та скарга щодо кваліфікації "зеленого" тарифу як незаконної державної допомоги виробникам ВДЕ, подану ГО "Ліга Антимонопольного комітету України до АМКУ. Всі ці фактори негативно вплинули на ринок ВДЕ. Сектор відновлюваної енергетики не може розвиватися на основі державних ефемерних рішень, а тому потребує послідовної, продуманої та збалансованої державної політики. Незважаючи на те, що прирости вітрових потужностей у 2021 році були скоріше результатом завершення будівництва вітроелектростанцій, розпочатого ще у 2020 році будівництва ВЕС, розпочатого ще у 2020 році, ніж введення в експлуатацію нових вітрових проєктів, реалізованих у 2021 році, інвестори все ж продовжують вкладати кошти в Україну, усвідомлюючи всі "ризики країни" та сподіваючись, що Уряд виконає взяті на себе зобов'язання. на виконання Урядом взятих на себе зобов'язань.

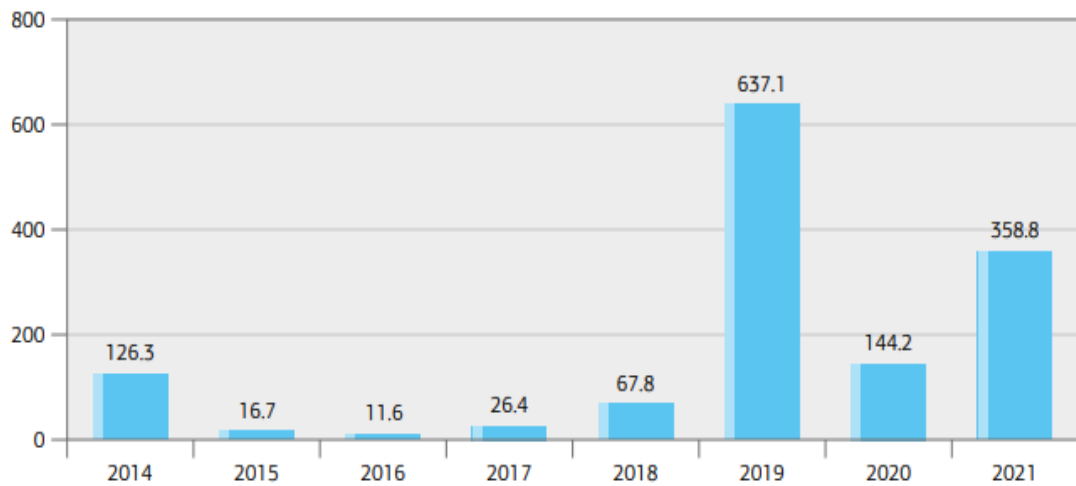


Рисунок 1.2 – Щорічні прирости вітроенергетики, 2014 - 2021 рр., МВт

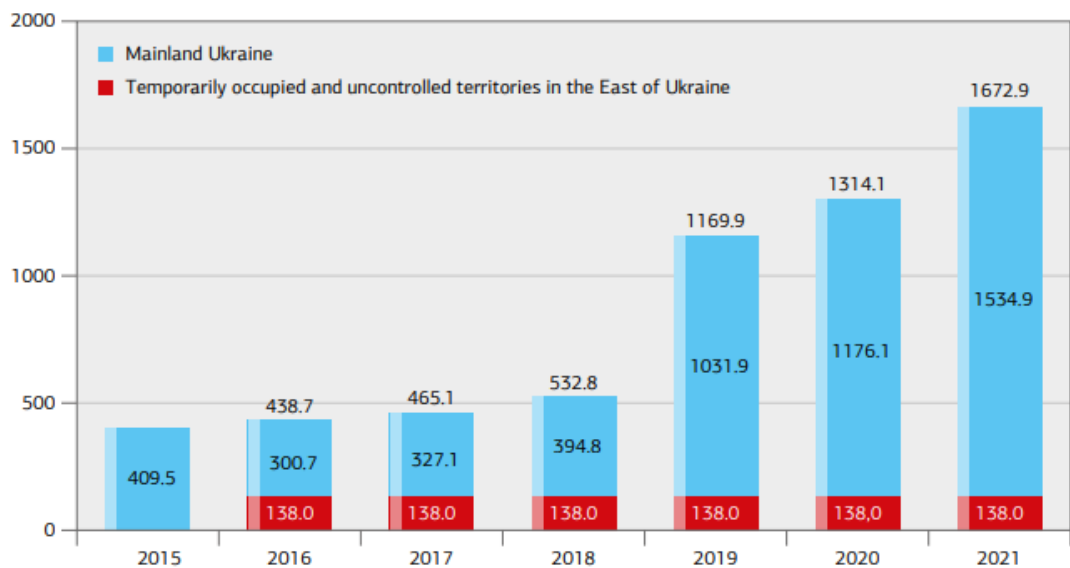


Рисунок 1.3 – Встановлена вітроенергетична потужність, материкова частина України, 2015 - 2021 рр., МВт

На основі наявних даних УВЕА прогнозує встановлення 7 ГВт вітроенергетичних потужностей в Україні до 2030 року, за умови сприятливих умов ведення бізнесу в країні.

У 2021 році введено в експлуатацію 91 нову вітротурбінну загальною потужністю 358,81 МВт у трьох областях України, зокрема

- 40 МВт Перша черга Дністровської вітроелектростанції в Одеській області;
- вітроелектростанція "Южне Енерджі" потужністю 76,5 МВт в Одеській області;
- 1-а черга Запорізької ВЕС потужністю 98,01 МВт у Запорізька область;

- 2 черга Сиваської ВЕС потужністю 144,3 МВт у Херсонській області.

Таким чином, загальна встановлена потужність вітроенергетичної галузі досягла енергетики досягла 1 672,945 МВт на кінець 2021 року. На сьогодні в Україні експлуатується 699 вітроустановок із середньою паспортною потужністю 3,5 МВт, генерують "зелену" електроенергію.

За загальною встановленою потужністю на кінець 2021 року вітроенергетика залишається другою відновлюваною технологією після сонячної енергетики в Україні. Однак, слід зазначити, що вітроенергетика слід зазначити, що на вітроенергетику припадає найбільша частка нових потужностей, доданих до "зеленого" енергобалансу України в минулому році. енергобаланс України в минулому році. Загалом, введення вітрових потужностей зросло у два з половиною рази у порівнянні з 144 МВт у минулому році.

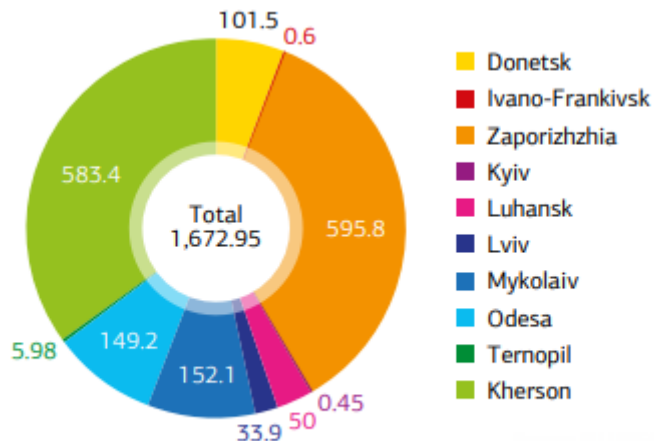


Рисунок 1.4 – Вітроенергетичні потужності за регіонами, материкова частина України, 2021 рік, МВт

1.2. Вітрові технології для малих та середніх підприємств

Сегмент малого та середнього бізнесу є ще одним перспективним ринком для використання вітроенергетичних технологій в Україні. Постійне зростання цін на електроенергію (ред. у 2022 році очікується подальше зростання цін), змушує підприємців шукати альтернативи централізованому електропостачанню. З огляду на те, що сезонність споживання електроенергії на підприємствах збігається з сезонністю виробництва вітрової електроенергії (в зимовий час спостерігається збільшення як споживання електроенергії, так і виробництва вітрової електроенергії), вітроенергетика стає економічно та екологічно прийнятною альтернативою дорогій електроенергії. Зростання інтересу до вітроенергетичних технологій серед представників малого та середнього бізнесу у 2021 році свідчить про потенціал цього сегменту вітроенергетичного ринку в Україні.

Хорошим прикладом впровадження вітроенергетичних технологій для енергозабезпечення середніх підприємств є Зборівська птахофабрика у м. Зборів Тернопільської області. У 2018-2019 роках на птахофабриці було встановлено три вітротурбіни Vestas V-47 одиничною потужністю 660 кВт кожна. Наразі "зелена" енергія постачається також до Зборівської територіальної громади.

Протягом 2022 року УБЕА очікує, що в Україні підприємствами буде встановлено не менше 20 МВт нових вітротурбін для покриття своїх потреб в електроенергії. Прикметно, що географія такого малого та середнього бізнесу з автономними вітрогенераторами охоплює різні регіони країни, від заходу України до Маріуполя. Такі вітрогенератори потужністю до 2 МВт генеруватимуть екологічно чисту електроенергію за ринковими механізмами без будь-якого "зеленого" тарифу.

1.3. Вітроенергетика та зелений водень

Для того, щоб зрозуміти перспективи реалізації водневих проєктів в Україні та реалізації водневих проєктів в Україні та визначити ключові

бар'єри, УВЕА провела опитування серед своїх компаній-членів у вересні 2021 року щодо виробництва "зеленого" водню. В опитуванні взяли участь дев'ять компаній, серед яких провідні виробники вітрової електроенергії, один виробник вітрових турбін та кілька консалтингових компаній.

Питання до респондентів стосувалися наступних основних питань:

- вплив розвитку "зеленого" водню на зростання потужностей ВДЕ;
- перспективи реалізації проектів "зеленого" водню на думку респондентів;
- потенціал проектів "зеленого" водню обґрунтування доцільності реалізації проектів ВДЕ в ринкових умовах;
- розробка нормативно-правової бази для реалізації водневих проектів в Україні.

З метою з'ясування бачення учасників щодо німецько-українського енергетичного партнерства в анкету було включено питання щодо можливих наслідків співпраці з Німеччиною для українських суб'єктів господарювання в рамках енергетичного партнерства.

Майже всі респонденти підтвердили перспективність проектів "зеленого" водню для збільшення потужностей відновлюваної енергетики в Україні.

Кожна компанія має власну мотивацію для виробництва зеленого водню. Одні компанії розглядають зелений водень як пріоритетний напрямок для інновацій, інші вважають, що зелений водень значно збільшить попит на зелену енергетику, особливо вітроенергетику, виробляти водень для споживання в Україні та за кордоном. Варто зазначити, що більше половини компаній, які взяли участь в опитуванні, планують реалізовувати проекти зеленого водню.

Водночас, компанії-члени УВЕА відзначили перешкоди для збільшення частки відновлюваної енергетики в українських водневих

проектах. українських водневих проектів. Серед основних бар'єрів учасники опитування назвали наступні:

- законодавча та політична база;
- відсутність корпоративних договорів купівлі-продажу електроенергії з ВДЕ та аукціонів з ВДЕ;
- відсутність технічних регламентів для водню, тарифів на передачу та регулювання митних правил;
- відсутність належного державного планування розвитку "зеленого" водню;
- невизначеність щодо потенційних споживачів та цін;
- відсутність гарантій походження;
- відсутність стратегії та інфраструктури.

Водночас, не всі компанії вважають водневі проекти доцільними для реалізації проектів ВДЕ в ринкових умовах, посиляючись на високі ціни на "зелений" водень та сумніви щодо достатності ринкового підходу. З цієї причини більшість респондентів відзначили важливість схеми підтримки виробництва "зеленого" водню.

Один з респондентів підкреслив, що висока вартість "зеленого" водню може стримувати попит на продукт, а низький попит на ринку, в свою чергу, буде стримувати інвестиції в галузь. Згідно з дослідженням, собівартість "зеленого" водню становить 4-6 доларів США за 1 кг порівняно з США за 1 кг для водню на основі викопного палива. Проблема може бути вирішена при досягненні паритету вартості "зеленого" водню та водню на основі викопних видів палива, а також створення конкурентного ринку. та створення конкурентного ринку.

За результатами опитування були зроблені наступні висновки:

- Україна та Німеччина мають багато передумов для енергетичного партнерства та енергетичного переходу.

- Україна має високий потенціал ВДЕ, що може бути розглядана як передумова для виробництва "зеленого" водню. Виробництва "зеленого" водню не лише для власних потреб, а й для постачання його до Німеччини; у цьому випадку Німеччина могла б покрити свій внутрішній попит на "зелений" водень та досягти своїх цілей щодо кліматичної нейтральності.

- Водночас, для реалізації можливостей важливо усунути значну різницю в рівні розвитку нормативно-правової бази. Україна суттєво відстає від Німеччини у розробці та імплементації регуляторної бази для гідроенергетики.

Україна суттєво відстає від Німеччини у розробці та впровадженні регуляторної бази у сфері виробництва та споживання водню. Україна лише розпочала розробку водневої стратегії, в той час як Німеччина вже прийняла не лише стратегію, а й нормативно-правові акти, необхідні для виробництва водню зі стимулами та водневими мережами.

Інвестори не змогли оцінити перспективи таких проєктів в Україні. Реалізація заявлених пілотних водневих проєктів в Україні можлива за умови державної підтримки або спеціального фінансування таких проєктів.

За результатами опитування УВЕА запропонувала подальші кроки для усунення вищезазначених бар'єрів:

- Важливо прискорити розробку нормативно-правової бази в Україні та її гармонізацію з Німеччиною з урахуванням вже існуючих норм та зобов'язань України у цій сфері. України у цій сфері. Серед яких, пріоритетними напрямками є (i) стандарти безпеки використання водню в різних технічних процесах, (ii) врегулювання дозвільної бази для використання водню у господарській діяльності, (iii) створення підґрунтя для зеленого водневого ринку (ЗВР на електроенергію та водень, механізм підтримки електроенергії та водню, механізм підтримки реалізації

проектів "зеленого" водню). Наявність спільних німецько-українських проектів зеленого водню в Україні також може сприяти усуненню цього бар'єру.

- Важливо зняти невизначеність щодо можливих технічних обмежень. Логістичні питання транспортування "зеленого" водню з України до Німеччини все ще залишаються предметом обговорення. Оператор ГТС та інші учасники ринку розглядають різні підходи до цих питань. Враховуючи, що газопровід потребує модернізації для транспортування "зеленого" водню, будівництво окремого водневого трубопроводу розглядається як можливе рішення. Окрім питань транспортування, виробництво водню потребує використання водних ресурсів та спеціальних дозволів на цю діяльність, але ці питання ще недостатньо проаналізовані.

- Важливим є започаткування та інтенсифікація науково-технічних досліджень щодо впливу водню на потенційну існуючу логістичну інфраструктуру (газопровід), як в Німеччині, так і в Україні, достатність інших природних ресурсів (вода) для цілей виробництва, а також техніко-економічних обґрунтувань інших природних ресурсів (води) для виробничих цілей, а також техніко-економічне обґрунтування будівництва окремого газопроводу між Україною та Німеччиною.

- Важливим є збільшення встановлених потужностей відновлюваних джерел енергії. Однак, реалізація проектів у сфері відновлюваної енергетики може бути обмежена у зв'язку з проектів у сфері ВДЕ може бути обмежена через нестачею балансуючих потужностей в Україні. Електролізери можна розглядати як варіант підвищення гнучкості енергосистеми для підвищення гнучкості енергосистеми, але цей підхід ще не розглядався.

- Важливо розглянути та проаналізувати можливі рішення для підвищення гнучкості ОЕС за рахунок будівництва електролізерів для виробництва водню.
- Важливо зняти невизначеність щодо наявності споживачів "зеленого" водню. Собівартість "зеленого" водню є вищою, ніж вартість "зеленого" водню вища, ніж для викопних вартість "зеленого" водню вища, ніж викопного палива, і наразі попит на "зелений" водень не такий високий, як очікується у 2030 році. З цієї причини одним з головних занепокоєнь інвесторів у водневій проекті є можливість знайти споживача для "зеленого" водню. Хоча, ринкові тенденції щодо вартості викопних видів палива необхідно враховувати до уваги ринкові тенденції щодо вартості викопного палива.
- Важливим є аналіз структури виробництва в Україні та Німеччині, розробка чітких сценаріїв використання "зеленого" водню, чітке обґрунтування переваг його використання, та на основі наведених вище даних визначення переліку потенційних даних визначення переліку потенційних споживачів (груп) зеленого водню часу вони не використовувалися в регіонах, які відчували тривалі періоди негативних температур. Однак в останні роки технологія теплових насосів з повітряним джерелом тепла зазнала значних змін, і тепер вони пропонують законну альтернативу обігріву приміщень в більш холодних регіонах.

1.4. Пілотні проекти по виробництву зеленого водню в Україні

Ряд компаній готові представити свої водневі проекти національним та міжнародним інвесторам, незважаючи на те, що Україна ще не прийняла національну водневу стратегію. Варто нагадати що Україна має потенціал для забезпечення середньорічного щорічне виробництво 505 млрд м3

"зеленого" водню, згідно з дослідженням, проведеним Інститутом відновлюваної енергетики відновлюваної енергетики НАН України та представленим у Білій книзі УБЕА "Офшорна вітроенергетика та зелений водень: відкриття енергетики та зелений водень: відкриваючи нові межі генеруючих потужностей України". У заході взяли участь такі компанії-члени УБЕА, як MCL Group, ТОВ "Еко-Оптіма", "Вуглесинтезгаз України" вже презентували свої пілотні проекти зеленого водню, а ДТЕК став першою українською компанією, яка приєдналася до Hydrogen Europe влітку 2020 року. Представники цих компаній вважають, що масштабне виробництво та використання водню в поєднанні з масовим впровадженням ВДЕ в Україні сприятимуть декарбонізації національної енергетики декарбонізації національної енергетики, інфраструктури та промислового секторів.

Пілотний проект групи компаній MCL GROUP з виробництва

У квітні 2021 року компанія MCL Group презентувала свій пілотний проект з виробництва "зеленого" водню з енергії вітру на щорічному міжнародному заході УБЕА "Вітроенергетика України: перехід до "зеленого" тарифу". енергетика України: перехід від "зеленого" тарифу до ринкових умов". Проект планується реалізувати реалізовуватися у північній частині Рівненської області та передбачає локальне споживання зеленого водню без його транспортування. У компанії переконані що такий гібридний проект дозволить ефективно вирішити проблеми балансування та диспетчерських обмежень. Будівництво Володимирецької ВЕС потужністю 72 МВт, розташованої поблизу села Довговоля Вараського району Рівненської області. Рівненської області, передбачає встановлення 12 вітроенергетичних установок (ВЕУ) одиничною потужністю турбін одиничною потужністю 6 МВт. Річний обсяг виробництва електроенергії на Володимирецькій ВЕС прогнозується на рівні 240 ГВт-год.

Наразі компанія проводить техніко-економічне обґрунтування на майданчику з виробництва зеленого водню, обирає тип та встановлену

потужність головного електролізера та технологічного обладнання інфраструктури (в т.ч. системи накопичення енергії). Вибір місця розташування заводу з урахуванням оптимальних логістичних умов ще триває.

Концепція проекту передбачає 100% використання "зеленого" водню виробниками аміачних добрив зеленого водню виробниками аміачних добрив, виробниками цементу та цегли або навіть домогосподарствами.

Фахівці компанії інформують, що розробка майданчика для виробництва зеленого водню здійснюється спільно з представниками кількох європейських виробників електролізерів. Це дозволить допомогти втілити теорію в практику.

За інформацією MCL, проект планується реалізувати протягом 2023-2025 років. Проектом передбачено залучення іноземних інвесторів, тому залучення іноземних інвесторів, тому команда компанії знаходиться в активному пошуку фінансування та в залучення нових партнерів. Наразі проект реалізується за рахунок реалізується за рахунок власних коштів MCL.

"ECO-OPTIMA LLC" - партнер міжнародного проекту "H2EU+STORE"

Компанія "Еко-Оптіма" приєдналася до міжнародного проекту, метою якого є виробництво водню з енергії сонця та вітру в Україні з подальшим вітру в Україні з подальшим його зберіганням для сезонного для забезпечення сезонного попиту в Центральній Європі.

З метою прискорення та нарощування виробництва "зеленого" водню для Європи, що є життєво важливим для кліматично кліматично нейтрального майбутнього європейського енергопостачання, міжнародне галузеве партнерство у складі міжнародне галузеве партнерство у складі Bayerngas GmbH, bayernets GmbH, Eco-Optima LLC, Open Grid Europe GmbH та RAG Austria AG розробило проект H2EU+Store.

Відповідно до поетапного плану до 2050 року, "зелений" водень, вироблений в Західній Україні, буде подаватися в міжнародну

газотранспортну мережу Західної України у значних для Європи обсягах та транспортуватиметься до енергосховищ компанії RAG Austria AG через газотранспортні системи Словаччини та Австрії.

"H2EU+Store", з одного боку, створить необхідні потужності для виробництва електроенергії з відновлюваних джерел та виробництва водню в Україні, а з іншого сприятиме розширенню обсягів зберігання газу в Австрії та Німеччині, що супроводжуватиметься адаптацією у сфері транспортування газу до Центральної Європи.

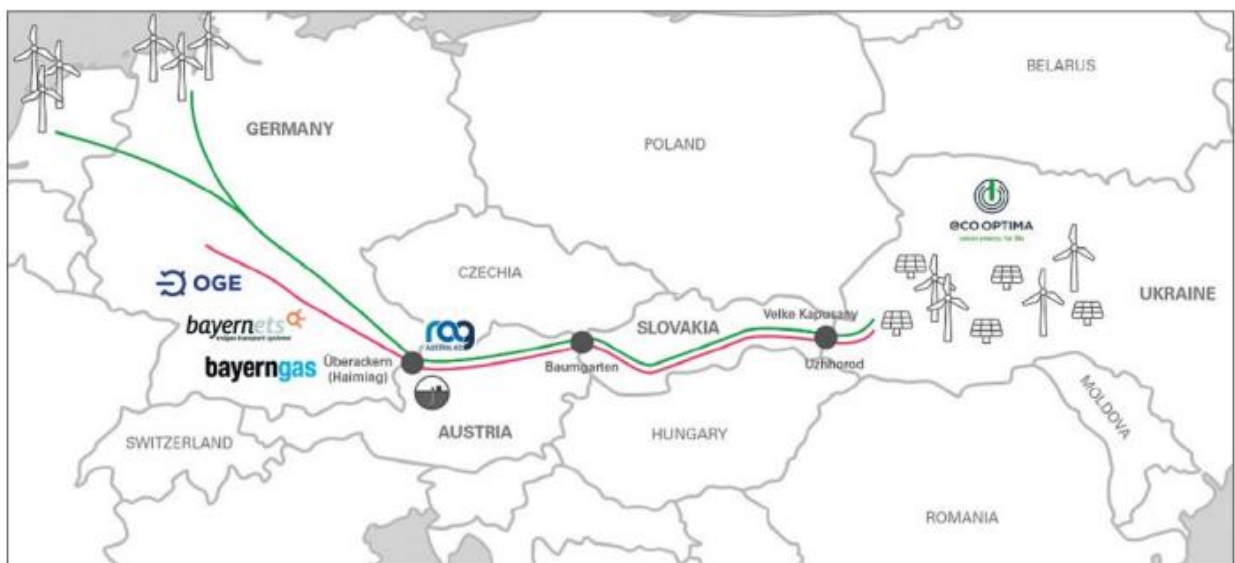


Рисунок 1.7 – Схема транспортування "зеленого" водню Есо-Ортіма до країн ЄС

ДК "Вуглесинтезгаз України", дочірня компанія НАК "Нафтогаз України" та член УБЕА "Вуглесинтезгаз України", дочірня компанія "Нафтогазу України" та член УБЕА, оголосила про ще більш амбітні плани. Компанія вивчає перспективи будівництва вітрових електростанцій будівництва ВЕС у Чорному морі для виробництва "зеленого" водню та його подальшого внутрішнього споживання водню та його подальшого внутрішнього споживання. Україна має технічні та інфраструктурні можливості для будівництва офшорних вітроелектростанцій та підключення їх до національної енергосистеми. Крім того, є можливість

розвивати національне виробництво є можливість розвитку національного виробництва, наприклад, виготовлення спеціальних морських фундаментів. Як ми повідомляли у Щорічному огляді УБЕА "Огляд вітроенергетичного ринку України 2020", Світовий банк аналіз оцінив технічний потенціал офшорної вітроенергетики для України в акваторії Чорного моря становить 250 ГВт.

Компанія "Вуглесинтезгаз" розглядає 2 морські ділянки для свого 2 морські ділянки, а саме біля міста Очаків Миколаївської області та біля портового міста Чорноморськ. Миколаївської області та поблизу портового міста Чорноморськ Одеської області. Перевагами цих двох запланованих ділянок є відсутність великої кількості водних шляхів та відповідної берегової інфраструктури. За оцінками експертів, обидві ділянки мають схожі характеристики - мілководдя глибиною до 20 м та високу середню швидкість вітру близько 8 м/с на висоті 150 м увати процеси нагрівання та охолодження в одних і тих же двох середовищах. При обігріві вони використовують зовнішні труби для поглинання тепла і відведення тепла у внутрішнє середовище. При охолодженні вони поглинають тепло з приміщення і відводять його в навколишнє середовище.

Згідно з рекомендаціями експертів, ВЕС потужністю 60 МВт буде складатися з вітрових турбін одиничною потужністю 6 МВт або 10 МВт.

Важливу роль у реалізації проекту відіграватиме місцеве обладнання. За інформацією "Вуглесинтезгазу", для облаштування Одеського газового родовища у 2014-2015 роках група Нафтогаз використовувала металоконструкції для морських стаціонарних платформ виробництва ДАТ "Чорноморнафтогаз". Крім того, є кілька національних виробників сучасних антикорозійних систем, які повністю відповідають міжнародним стандартам.

Компанія розглядає різні варіанти збуту електроенергії, в тому числі укладання корпоративних РРА для постачання "зеленої"

електроенергії безпосередньо споживачам. Також "Вуглесинтезгаз" вивчає можливість використання морського вітру для виробництва "зеленого" водню.

За оптимістичними прогнозами УВЕА, перша морська ВЕС в Україні може бути введена в експлуатацію у 2028 році. Починаючи з 2028 року, щонайменше 100 МВт нових офшорних вітроенергетичних потужностей може додаватися щороку. Перші проекти морської вітроенергетики, найімовірніше, будуть реалізовані для виробництва "зеленого" водню, хоча в майбутньому морські ВЕС можуть також з'єднати українську та європейську енергосистеми. майбутньому також можуть з'єднати українську та європейську енергосистеми.

1.5. Вироблення, зберігання водню та отримання електроенергії з водню

1.5.1 Методи отримання водню

Водень може вироблятися за допомогою термічних, електролітичних або фотолітичних процесів з використанням викопного палива, біомаси або води як сировини. Фотолітичні процеси не будуть розглядатися тут. Термічні процеси, що використовуються для виробництва водню з метану, включають парове паровий метановий риформінг (SMR), часткове окислення (POX) та автотермічний риформінг (ATR), який поєднує процеси SMR і POX. Коли використовується важка нафта або вугілля важких нафт або вугілля, зазвичай використовується процес газифікації.

Реформація парового метану

Паровий риформінг - широко застосовуваний метод отримання з метану синтез-газу, суміші водню та оксиду вуглецю, з метану. Типовою сировиною є природний газ, який буває декількох різновидів, включаючи сухий, вологий, солодкий і кислий газ. Ці позначення відносяться до

складу газу. Сухий газ - це переважно метан, тоді як вологий газ містить вищі вуглеводні. Солодкий газ має низький вміст сірководню сірководню, тоді як кислий газ містить більшу кількість сірководню.

Паровий риформінг метану зазвичай складається з чотирьох етапів: (1) Видалення сірководню та інших сірчистих сполук (1) Видалення сірководню та інших сполук сірки для запобігання отруєнню каталізатора; (2) Попередній риформінг використовується для захисту від утворення вуглецю під час основного риформінгу, а також для зменшення кількості необхідної пари; (3) Первинний риформінг риформінг, при якому подається пара і тепло для протікання реакції над нікелевим каталізатором при 700-830C; (4) Вторинний риформінг використовує повітря для вироблення тепла через реакції горіння для доведення температури до *1300C і перетворення більшої частини метану, що залишився, в синтез-газ. Процес сіркоочищення є екзотермічним процесом, який зазвичай здійснюється в реакторі з киплячим шаром. Сполуки сірки адсорбуються киплячим шаром шаром, яким зазвичай є ZnO.

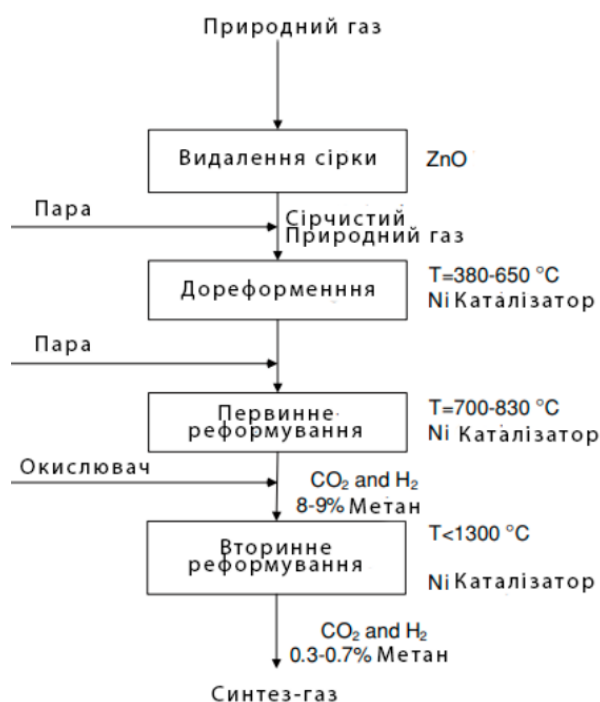
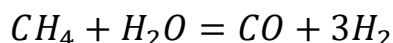


Рисунок 1.8 – Технологічна схема процесу парового риформінгу природного газу

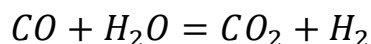
Стадія попереднього риформінгу здійснюється в діапазоні температур 380-650C над каталізатором. Процес є ендотермічним для природного газу та екзотермічним для більш важкої сировини. Цей процес додатково видаляє будь-яку сірку, що залишилася від попереднього етапу. Первинний етап риформінгу парового метану є ендотермічним процесом, який включає в себе реакцію метану з парою



У вторинному риформінгу відбувається два етапи. Спочатку в реакційне середовище подається окислювач - повітря або кисень. Окислювач вступає в екзотермічну реакцію з газом, що надходить з первинного риформінгу, з утворенням води і підвищенням температури. На другому етапі використовується шар нікелевого каталізатора для каталізації ендотермічної реакції риформінгу. Цей процес дозволяє знизити вміст метану в продуктовому газі першого ступеня риформінгу з 8-9% до 0,3-0,7%.

Реакція водно-газового зсуву

Після виробництва синтез-газу його охолоджують і виробляють більше водню за допомогою реакції зсуву водного газу (WGS). Реакція WGS включає в себе реакцію оксиду вуглецю з парою над каталізатором з утворенням водню та діоксиду вуглецю



Автотермічна реформація метану

Автотермічний риформінг, також відомий як киснево-паровий риформінг, поєднує в собі SMR та POX. Цей підхід має кілька переваг. Пара може бути використана для перетворення частини оксиду вуглецю в діоксид вуглецю за допомогою реакції WGS. Це також може знизити ризик вибуху і зменшити відкладення вуглецю на каталізаторі. Коли подається відповідна суміш палива, повітря і пари, реакція часткового окислення

забезпечує все тепло, необхідне для протікання реакції парового риформінгу.

Електроліз води

Електроліз води - це процес, в якому вода розщеплюється на водень і кисень шляхом пропускання через неї електричного струму. Цей процес забезпечує лише невеликий відсоток світового водню, більша частина якого виробляється для застосувань, що потребують невеликих обсягів водню високої чистоти. Перші електролізні елементи мали ефективність близько 60-75%, але зараз невеликі установки досягають ефективності, близької до 80-85%. Більші установки, як правило, трохи менш ефективні - 75-80%.

Лужні електролізери для води

У лужних електролізерах системи рідких електролітів зазвичай використовують корозійні розчин, такий як гідроксид калію. У цих системах іони кисню мігрують через електролітичний матеріал, залишаючи газоподібний водень, розчинений у потоці води. Цей водень витягується з води і направляється в сепараційний бак.

Електролізери PEM

У комірці електролізера PEM іони водню втягуються в мембрану і проходять через неї, де вони рекомбінують з електронами, утворюючи молекули водню. Кисень залишається у воді. Вода рециркулює, а кисень накопичується в розділовому резервуарі.

1.5.2 Зберігання водню

Зберігання водню є важливим компонентом у постійному розвитку та комерціалізації водню і паливних елементів для транспортних і стаціонарних застосувань. Транспортні застосування зберігання водню досі отримували найбільшу увагу з боку урядів і компаній, які намагаються комерціалізувати цю технологію. Експлуатаційні характеристики, що представляють інтерес для життєздатних рішень зі зберігання водню, - це

об'ємна (кВт-год/л) і гравітаційна (кВт-год/кг) щільність енергії, вартість, час заправки, кінетика розряду і тривалість циклу. У цьому розділі ми розглянемо різні технології зберігання водню, що існують на сьогоднішній день, а також деякі з тих, що знаходяться в стадії дослідження. До них відносяться стиснення, зрідження, зберігання у вигляді металогідридів, хімічних гідридів, зберігання на основі вуглецю і зберігання на основі рідких носіїв.

Зберігання стисненого водню

Стиснення водню з метою зберігання є добре відпрацьованою технологія. Це найпростіша з існуючих технологій зберігання, що вимагає лише компресор і ємність для зберігання, здатну витримувати тиск. Типові матеріали резервуарів включають сталь, алюміній, загорнутий у скловолокно і футерований високомолекулярним матеріалом резервуари з вуглецевою композитною оболонкою. Сталеві резервуари можуть використовуватися там, де вага і об'єм не є обмеженням для системних вимог, наприклад, в стаціонарних установках. Два інших згаданих типи резервуарів використовуються, коли вага і об'єм суттєво обмежують конструкцію системи, наприклад, у транспортних засобах.

Основним обмеженням при використанні стиснення як способу зберігання водню є низька щільність енергії, що досягається при цьому. Газ можна додатково стискати до більш високого тиску зберігання, але це призводить до більш високих капітальних та експлуатаційних витрат. При тиску 350 бар (*5,075 фунтів на квадратний дюйм) і 700 бар (*10,150 фунтів на квадратний дюйм) досягається щільність енергії *2,6 МДж/л і 4,4 МДж/л, відповідно, у порівнянні з 31,6 МДж/л для бензину. Значне збільшення об'ємної щільності енергії не досягається при більш високих тисках. Зі збільшенням тиску зберігання зростає робота стиснення.

$$W = \left[\frac{\gamma}{\gamma - 1} \right] p_0 V_0 \left[\frac{p_1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{p_0} - 1 \right]$$

W : Робота

γ : Відношення питомих теплоємностей

p_0 : Початковий тиск

p_1 : Кінцевий тиск

V_0 : Об'єм системи

Реальна робота стиснення знаходиться між цими двома значеннями. Для багатоступеневого стиснення водню зі швидкістю 1000 кг/год від 1 бар до 200 бар робота стиснення була визначена на рівні 7,2% від енергетичного вмісту водню, виходячи з його HHV. На рисунку 1.9 показана робота адіабатичного, ізотермічного та багатоступеневого стиснення у % від вищої теплоти згоряння (HHV) водню (142 МДж/кг) в залежності від тиску, припускаючи початкову температуру та тиск як значення STP. Компанія Quantum Technologies нещодавно розробила контейнери для водню високого тиску, затвердивши перший резервуар для зберігання водню під тиском 800 бар (TriShield™). Внутрішня оболонка цього контейнера виготовлена з високомолекулярного полімеру, що утворює бар'єр для проникнення газу, тоді як зовнішня оболонка - це сталь або арамідний матеріал, що захищає резервуар від зовнішніх пошкоджень, а конструкційним матеріалом між ними є вуглецеве волокно. На вуглецеве волокно припадає найбільша частка всіх витрат, тому метою є зменшення кількості необхідного вуглецевого волокна при збереженні еквівалентних рівнів продуктивності та безпеки (рис. 1.10).

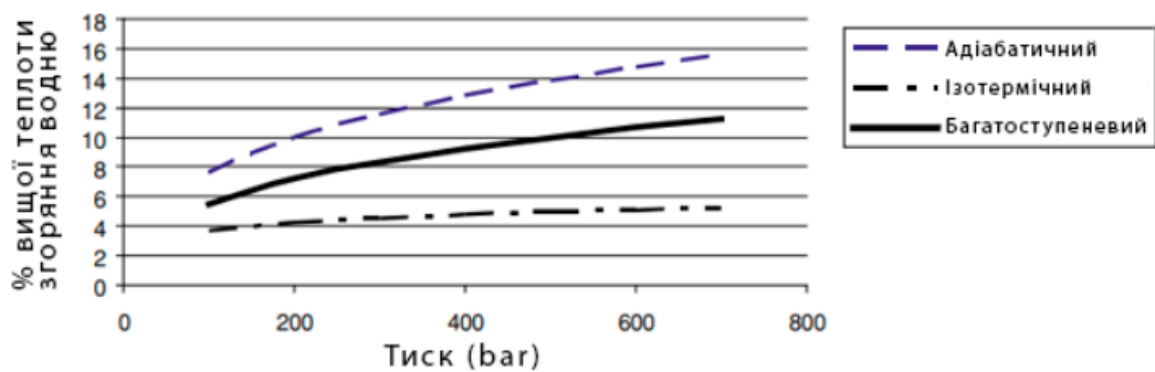


Рисунок 1.9 Робота стиснення в порівнянні з тиском зберігання



Рисунок 1.10 Квантовий бак для водню високого тиску

Зберігання зрідженого водню

Рідкий водень зберігається в кріогенних резервуарах при температурі 21,2 К при атмосферному тиску. Через низьку критичну температуру водню (33 К) рідина може зберігатися тільки у відкритих системах. Зрідження водню відбувається шляхом охолодження газоподібного водню до утворення рідини. Найпростішим процесом зрідження є цикл розширення Джоуля-Томпсона. У цьому процесі газ стискається, охолоджується в теплообміннику і пропускається через дросельний клапан, де він піддається ізентальпійному розширенню, в результаті чого утворюється деяка кількість рідини. Рідина

видаляється, а газ через теплообмінник повертається в компресор. Робота зрідження становить $\sim 15,2$ кВт-год/кг, що майже вдвічі менше ніжчої теплоти згоряння водню. Після зрідження водень повинен зберігатися в ізольованій посудині. Основною проблемою при зберіганні рідкого водню є мінімізація втрат водню при кипінні рідини. Передача тепла від навколишнього середовища до рідини призводить до випаровування частини водню. випаровуватися. Посудину можна охолоджувати, щоб запобігти втратам при кипінні, але це вимагає витрат енергії. Якщо не охолоджувати, газоподібний водень можна випускати або уловлювати, зріджений і повернутий в резервуар. Ці втрати зазвичай становлять 0,4% на добу для 50 м³ резервуарів з подвійними стінками і вакуумною ізоляцією. Висока енергія, необхідна для зрідження водню і втрати при кипінні різко збільшують вартість зберігання водню за допомогою цього методу.

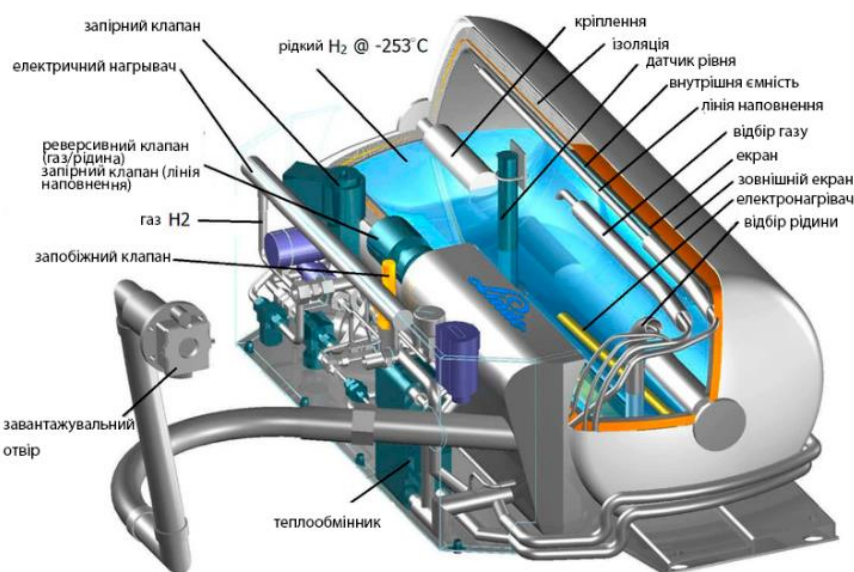


Рисунок 1.11 – Бак для зберігання рідкого водню

Гідриди металів

Гідриди металів зберігають водень шляхом хімічного зв'язування водню з металевими елементами та сплавами. При заповненні ємності для зберігання водню виділяється тепло. Коли тиск водню збільшується, водень розчиняється в металі, а потім починає зв'язуватися з металом. Тепло, що виділяється при утворенні гідриду, необхідно відводити, щоб запобігти нагріванню гідриду. Коли виділяється водень, бак вимагає передачі йому

тепла зі швидкістю, пропорційною швидкості виділення водню. Існує багато різних сплавів, які можуть бути використані, і кожен сплав має різні експлуатаційні характеристики.

Сполуки, що містять водневі зв'язки, відомі для кожного металу і неметалу (за винятком інертних газів) в періодичній таблиці. Їх можна розділити на три групи гідридів. Перша і друга групи утворюють солі, тоді як перехідні метали утворюють переважно металеві сполуки. Ковалентні гідриди можна знайти праворуч від перехідних металів. Багато з цих сполук, MH_n , демонструють великі відхилення від ідеальної стехіометрії ($n = 1, 2, 3$). Їх ще називають інтерстиціальними гідридами, оскільки водень часто з'являється на інтерстиціальних ділянках в металевій решітці.

Інтерметалічні фази представляють особливий інтерес для зберігання водню. Властивості цих гідридів можна регулювати через велику варіацію елементів, що входять до складу інтерметалідів. елементів інтерметалічної сполуки. Найпростішим випадком є потрійна система AB_xH , де А зазвичай є рідкоземельним або лужним металом, а В - перехідним металом.

Складні гідриди

Іншим способом зберігання водню є метало-водневі комплекси. Їх легка вага і велика кількість атомів водню на один атом металу є їх перевагою перед металогідридами, описаними раніше. Основна відмінність між металогідридами і комплексними гідридами є перехід до іонного або ковалентного зв'язку. Велика різноманітність цих гідридів цих гідридів утворюють легкі метали 1, 2 і 3 групи періодичної таблиці Менделєєва, тобто Li, Mg, В і Al. Найпоширенішими прикладами є $M(BH_4)$ та $M(AlH_4)$ з $M = Na$ або Li як протиіон. Використання комплексних гідридів металів для зберігання водню є дуже перспективним метод, оскільки вони потенційно мають високу гравітаційну та об'ємну густину водню. об'ємну густину водню. Використання цих комплексних гідридів є складним через

термодинамічні та кінетичні обмеження. Подальші роботи пов'язані з покращенням термодинамічних та кінетичних властивостей існуючих сполук та пошук нових сполук з кращими практичними характеристиками для зберігання водню.

Зберігання на основі вуглецю

В основі фізіосорбції молекул газу на поверхні твердого тіла лежить дія ван-дер-ваальсових сил. Оскільки взаємодія є слабкою, висока фізіосорбція спостерігається при низьких температурах. Наприкінці 1990-х років були проведені широкі дослідження, зокрема вуглецевих нанотрубок. Вуглецеві нанотрубки - це циліндричні структури з відкритими або закритими кінцями. Різновид із закритими кінцями має напівсферичну торцеву кришку на кожному кінці. Існує два типи вуглецевих нанотрубок: багатостінні нанотрубки та одностінні нанотрубки. MWNTs складаються з декількох концентричних циліндричних трубок. SWNTs складаються з однієї трубки. Приклад кожної з них наведено на рис. 3.7. На сьогоднішній день найвищі значення гравітаційної енергії лежать в межах 4 вагових відсотків водню, але тільки при низьких температурах.

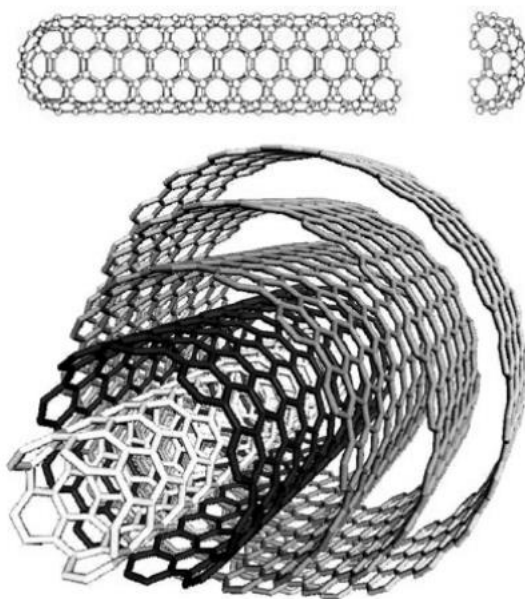


Рисунок 1.12 Одностінні (вгорі) і багатостінні (внизу) вуглецева нанотрубка

1.5.3 Паливні елементи

Паливні елементи - це електрохімічні системи, які перетворюють хімічну енергію безпосередньо в електричну енергію. На відміну від акумуляторів, в яких необхідні реагенти є паливні елементи потребують постійних потоків палива та окислювача, що надходять із зовнішнього джерела для забезпечення електроенергією. У наступних розділах буде описано анатомію паливного елемента, функції окремих компонентів, пояснять термодинаміку паливних елементів і опишуть різні компоненти повних систем. Більш детальну інформацію про паливні елементи та їх застосування можна знайти в Довіднику по паливним елементам, опублікованому Міністерством енергетики США.

Будова та теорія роботи паливних елементів

Паливний елемент складається з шару електроліту, що контактує з електродом з обох з обох сторін. Електроліт - це матеріал, який проводить іони, але перешкоджає потоку електронів. Електрод - це матеріал, який проводить електрони. Схематичне зображення паливного елемента, сконструйованого з пористими електродами, що ілюструє газ реактент/продукт газ-реактент/продукт і напрямки потоку іонної провідності через комірку показано на Рис. 1.13.

Паливний газ надходить в комірку на анод (негативний електрод), а газ-окислювач надходить на катод (позитивний електрод). Електрод є пористим матеріалом, тому газ може дифундувати через нього до протилежного газ може дифундувати на протилежну сторону електрода, де знаходиться каталізатор. присутній каталізатор. Електрод виконує кілька функцій. Він повинен бути здатний транспортувати газовий потік газовий потік до шару каталізатора і рівномірно розподіляти газ по реакційній поверхнею реакції. Електрод також повинен бути здатний відводити газ, що утворюються від електроліту. Нарешті, електрод повинен мати хороші характеристики

електропровідності, оскільки він відповідає за відведення електронів від від поверхні розділу фаз, оскільки вони утворюються в процесі реакції.

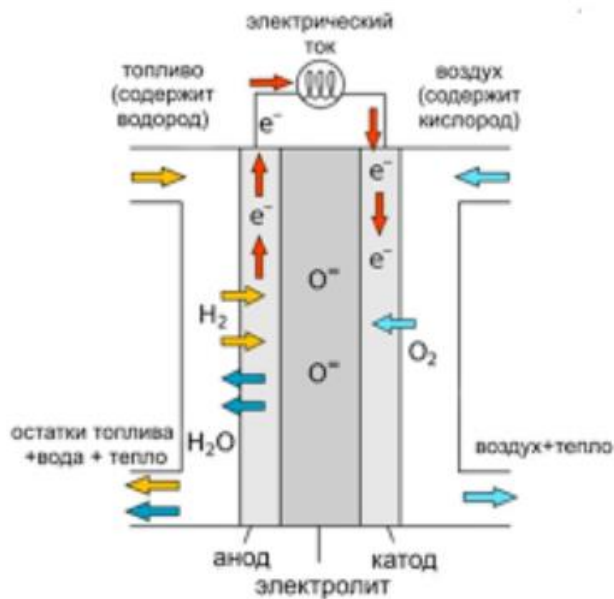


Рисунок 1.13 – Схема паливного елемента

Тип каталізатора, необхідний для забезпечення належної реакції, залежить від температури. Низькотемпературні паливні елементи потребують дорогих каталізаторів, часто платинових, для отримання бажаної швидкості реакції. Ця умова ставить високий пріоритет на здатність конструктора зменшити кількість каталізатора, необхідного для забезпечення заданої кількості каталізатора, необхідного для забезпечення заданої потужності. При більш високих температурах реагенти можуть досягти бажаних швидкості реакції, використовуючи об'ємний електродний матеріал. Електроліт також виконує кілька важливих функцій. Він повинен бути здатний проводити іони від одного електрода до іншого, але перешкоджати переходу електронів. Він також повинен діяти як бар'єр між паливом і газами-окислювачами, щоб запобігти їх змішуванню. У паливних елементах з рідкими електролітами реагуючі гази дифундують через плівку електроліту, яка змочує частини пористого електрода, і реагують на поверхні електрода. Якщо пористий електрод містить надлишок електроліту, він може блокувати транспорт газоподібних реагентів до місць реакції, що призводить до зниження

продуктивності паливного елемента. Системи управління відіграють важливу роль у підтримці балансу між електродом, електролітом і газоподібною фазою в пористому електроді.

РОЗДІЛ 2. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВІТРОВИХ УСТАНОВОК

Об'єкти електропостачання сильно відрізняються один від одного. Головними критеріями є встановлена потужність, режим енергоспоживання, вимоги до якості енергії, і через це їх досить складно класифікувати.

Визначають 3 головні групи споживачів:

-Індивідуальні споживачі. Необхідна невелика потужність 5-30 кВт. Це заміські та дачні будинки, фермерські господарства, польові об'єкти та різного роду державні пости та метеостанції;

-Непромислові споживачі. Необхідна потужність 10-1000 кВт. Це великі житлові будівлі та мікрорайони, торговельні центри, лікарні та інші держустанови;

-Промислові споживачі. Підприємства та великі заводи, що потребують від 100 кВт.

2.1 Визначення часового розподілу використання енергії споживачем.



Рисунок 2.1 – Навантажувальна діаграма споживання

Розглянемо підприємство в місті Тернопіль. Встановлена потужність якого дорівнює 3 МВт та денне споживання дорівнює близько 10МВт.

На далі розрахунки будуть вестись окремо для робочої частини дня (8-17) і решти часу (18-7).

2.2 Аналіз характеру навантаження протягом доби

- 1) 23:00-02:00, 04, 18:00-19:00: активно-індуктивне навантаження 200 кВт.
- 2) 20:00-22:00: активно-індуктивне навантаження 130 кВт.
- 3) 03:00, 05:00-07:00: активно-індуктивне навантаження 150 кВт.
- 4) 08:00, 12:00, 14:00, 16:00: активно-індуктивне навантаження 700 кВт.
- 5) 09:00-10:00: активно-індуктивне навантаження 900 кВт.
- 6) 11:00, 13:00, 17:00: активно-індуктивне навантаження 800 кВт.
- 7) 15:00: активно-індуктивне навантаження 600 кВт.

Вимоги генератора за потужністю у визначені періоди доби:

$$P_{\Gamma} = 1,36 \cdot \frac{P_{\text{НАВ}}}{k},$$

$$1) P_{r1} := 1,36 \cdot \frac{200}{k} = 302,222 \text{ МВт}$$

$$2) P_{r2} := 1,36 \cdot \frac{130}{k} = 196,444 \text{ МВт}$$

$$3) P_{r3} := 1,36 \cdot \frac{150}{k} = 226,667 \text{ МВт}$$

$$4) P_{r4} := 1,36 \cdot \frac{700}{k} = 1,058 \cdot 10^3 \text{ МВт}$$

$$5) P_{r5} := 1,36 \cdot \frac{900}{k} = 1,36 \cdot 10^3 \text{ МВт}$$

$$6) P_{r6} := 1,36 \cdot \frac{800}{k} = 1,209 \cdot 10^3 \text{ МВт}$$

$$7) P_{r7} := 1,36 \cdot \frac{600}{k} = 906,667 \text{ МВт}$$

$$P_{Nig} := \frac{P_{r1} \cdot 7 + P_{r2} \cdot 3 + P_{r3} \cdot 4}{10^3} = 3,6 \text{ МВт}$$

$$P_{Day} := \frac{P_{r4} \cdot 4 + P_{r5} \cdot 2 + P_{r6} \cdot 3 + P_{r7}}{10^3} = 11,5 \text{ МВт}$$

P_{Nig} - споживання в неробочий час (18:00-7:00)

P_{Day} -споживання в робочий час (8:00-17:00)

2.3 Опис майданчика, землекорисування, клімат

Було обрано місце для розташування вітроустановок біля заводу так як земля належить власнику. Обрана ділянка розташована на півдні тернопільської області. Абсолютні відмітки 335-343.

Згідно до топографічної карти місцевості, що наведена на рис. 1.1, дана ділянка рис2.2 лежить в межах висоти 335 м та 343 м, тому її перепад висот складає максимум 8 м, що говорить про можливість використання даної території під будівництво ВЕС.



Рисунок 2.2 – Топографічна карта місцевості

Ґрунтовий покрив області порівняно складний. За схемою агроґрунтового районування (1969) Тернопільська області відноситься до провінції Західного лісостепу. Особливістю структури ґрунтового покриву Західного лісостепу є те, що в ній не простежуються смуги поступового переходу від дерново-підзолистих ґрунтів зони мішаних лісів до сірих опідзолених, а від них — до чорноземів типових.

Клімат Тернопільської області сформувався під впливом різноманітних чинників. Головним із них є географічна широта, з якою пов'язана висота сонця над горизонтом і величина сонячної радіації, що надходить на поверхню області. Висота сонця над горизонтом на території Тернопільської області в червні в полудень досягає 63-65°, у грудні - 17-19°, а в дні рівнодення - 40-42°. Тривалість дня коливається від 8 до 16,5 год.

2.4 Моніторинг швидкості вітру

Щоб оцінити вітроенергетичний потенціал необхідно проаналізувати середньомісячну швидкість вітру та врахувати максимальну швидкість вітру на висоті опори (114 м) та на висоті флюгера (10 м). Необхідні дані про середньомісячну швидкість вітру були отримані з метеостанції поблизу міста Тернопіль. Висота флюгера складає 10 м. Отримані дані відображено в табл. 2.1.



Рисунок 2.3 – Середньомісячна швидкість вітру

2.5 Вибір та обґрунтування типів та параметрів вітроенергетичного обладнання

2.5.1 Визначення класу вітру в даній місцевості

Для того, щоб обрати ВЕУ, що підходить під кліматичні дані майданчика, потрібно визначити клас вітроустановки відповідно до швидкості вітру на території. Дані щодо класів ВЕУ представлені в табл. 2.2.

Для визначення класу ВЕУ необхідно проаналізувати дані про максимальну швидкість вітру та значення турбулентності вітру за останні 20 років на висоті гондоли ВЕУ. В табл. 2.1 наведені найбільші значення швидкості вітру з зазначеною імовірністю повторення в роках на висоті флюгера та перераховані для умовної висоти і для висоти гондоли

Для того, щоб обрати клас ВЕУ, необхідно розрахувати максимальну швидкість вітру на висоті ротора вітроагрегату, що становить 114 м. Для перерахунку швидкості вітру скористаємось формулою Д.Т. Лайхтмана:

$$v_{cp} = v_{флюг} \frac{\log \frac{h}{h_0}}{\log \frac{h_1}{h_0}}$$

де: $h = 114$ м – висота ротора ВЕУ;

$h_0 = 0,14$ м – висота рослинного покриву на даній ділянці;

$h_1 = 10$ м – висота флюгера метеостанції;

$v_{флюг}$ – швидкість вітру на висоті флюгера.

Максимальна швидкість (м/с) на висоті h , м.	1 рік	5 років	10 років	15 років	20 років
Метеопост ($h=10$ м)	19	22	23	24	25
$h = 114$ м висота башти	24,8	28,7	30	31,9	32,6

Таблиця 2.1 Максимальна Швидкість вітру по роках

Згідно табл. 2.1., максимальна швидкість вітру за останні 20 років вимірювань складає 25 м/с, враховуючи шорсткість поверхні приймемо висоту, на якій відсутній вітер, рівну 14 см, отже:

$$v_{cp} = 25 \frac{\log \frac{114000}{0,14}}{\log \frac{10000}{0,14}} = 32,6$$

Клас ВЕУ	I	II	III
V , м/с	50	42,5	37,5
A (висока турбулентність)	0,16	0,16	0,16
B (помірна турбулентність)	0,14	0,14	0,14
C (низька турбулентність)	0,12	0,12	0,12

Таблиця 2.2 Класифікація ВЕУ по стандарту ІЕС 642000-1

Перерахунок максимальної швидкості вітру на висоту гондоли показав, що для обраної ділянки будівництва ВЕС максимальна швидкість може сягати 32,6 м/с. Турбулентність вітру за довідниковими даними становить 16%. Відповідно до табл. 2.2. та враховуючи отримані дані, необхідно обрати клас ВЕУ ІІІА.

2.5.2 Аналіз ринку виробників ВЕУ

Enercon – одна з найбільших компаній по виготовленню вітрогенераторів. Розташована в місті Aurich, Німеччина. Побудувала понад 13 тисяч вітрогенераторів різної потужності у понад 30-х країнах. Встановлена потужність її вітроагрегатів становить понад 20 ГВт.

Goldwind – одна з передових компаній по виготовленню та розташуванню ВЕС наземного та офшорного типу. Головний офіс знаходиться у Пекіні, Китай. Штат приблизно складається з 6000 персон. Виготовляє генератори від 600 кВт до 10 МВт. В Китаї складає третину від усього ринку. Однак глобальна присутність компанії, як і інших китайських виробників вітрогенераторів, залишається обмеженим.

VALOREM є одним з найбільших гравців на французькому ринку вітроенергетики. З 1994 року VALOREM розробляє, будує та експлуатує вітроелектростанції для використання енергії вітру.

2.5.3 Порівняння обраних ВЕУ

Були порівняні передові лідери серед постачальників ВЕУ, оскільки тільки такі компанії можуть надати найнижчі ціни на свою продукцію та гарантувати свою якість. Моделі розглядались у межах потужності від 1,5 до 2 МВт кожна. Обраний клас вітру - ІЕС ІІА. З вибором вітроагрегатів можна ознайомитись по табл. 2.3, де наведений порівняльний аналіз моделей вітроенергетичного обладнання. Дані взяті з об'єднаної бази по вітровим агрегатам, та перевірена на офіційних сайтах представників.

Зеленим кольором виділено обраний вітроагрегат - Enercon E-66/18,70. Вибір насамперед обґрунтований підходящим класом вітру ВЕУ. Також має ряд інших переваг. Серед них найбільша питома потужність. Ще присутня значна перевага у початковій швидкості роботи ротора (2,5 м/с)..

Параметр	Enercon	Valorrem	Goldwind
Модель	E-66/18.70	GW 77/1500	GW 75/1500
Клас ВЕУ	ІЕС ІІА	ІЕС ІІА	ІЕС ІІА
Номінальна потужність кВт	1800	1500	1500
Номінальна робоча швидкість вітру м\с	2,5	3	3
Діапазон робочих температур	-20 +45	-25 +40	-20 +45
Діаметр ротора	66	77	75
Висота опори	90-114	80	90-110

Таблиця 2.3 Порівняння ВЕУ

2.6 Схема розміщення ВЕУ на земельній ділянці

На рис. 2.4 зображено план розміщення ВЕУ станції на земельній ділянці.

Загальна площа земельної ділянки складає 176 400 м², що складає 17,64 га. Діаметр ротора складає 66 м, тому для уникнення аеродинамічного затінення необхідно розташовувати ВЕУ між собою на відстані не менше 6 діаметрів ротора – 396 м. На схемі взято з малим запасом, а саме - 420 м.



Рисунок 2.4 Схема розміщення ВЕУ на земельній ділянці

№ ВЕУ	Координати		Висота над рівнем моря, м	Відстань до найближчої ВЕУ (діаметри ротора)
	Північна широта	Східна довгота		
ВЕУ 1	49.467821	25.624258	341	~6D до ВЕУ 2
ВЕУ 2	49.471051	25.626564	336	~6D до ВЕУ 3
ВЕУ 3	49.472372	25.620900	337	~6D до ВЕУ 4
ВЕУ 4	49.468485	25.619468	342	~6D до ВЕУ 1

Таблиця 2.4 Розташування ВЕУ

2.7 Оцінка щоденного виробітку електроенергії для 4 установок Enercon E-66/18.70



Рисунок 2.5 Вітряна установка Enercon E-66/18.70

Ротор		Потужність	
Діаметр:	70.0 m	Номінальна потужність:	1,800.0 kW
Площа захвату:	3,848.0 m²	Швидкість вітру на вході:	2.5 m/s
Кількість лопатей:	3	Номінальна швидкість вітру:	12.5 m/s
Швидкість обертання ротора:	22.0 U/min	Швидкість вітру при відключенні:	34.0 m/s
Швидкість нахилу:	81 m/s	Швидкість вітру виживання:	60.0 m/s
Тип:	AERO E-70	Генератор	
Матеріал:	GFK / Epoxy	Тип:	synchronous
Виробник:	Enercon	Кількість:	1
Щільність потужності 1:	467.8 W/m²	Швидкість, макс:	22.0 U/min
Щільність потужності 2:	2.1 m²/kW	Напруга:	440.0 V
Вежа		Підключення до мережі:	WR
Висота вузла:	65/80/86/98/114 m	Частота мережі:	50 Hz
Тип:	Steel tube/ concrete	Виробник:	Enercon
Форма:	conical		
Антикорозійний захист:	painted		
Виробник:	SAM/Oevermann/Walter-Bau		

Таблиця 2.5 Характеристики установки Enercon E-66/18.70

$$\tau_i = T \cdot \frac{i}{100}$$

де: τ_i – час роботи ВЕУ, год;

T – кількість годин у місяці;

i – вірогідність появи швидкості вітру, %;

$$E_i = 0,63 \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{рот}}^2}{4} \cdot v_i^3 \cdot \tau_i \cdot \eta \cdot 10^{-3}$$

де: E_i – річний виробіток ВЕУ, кВт · год;

$D_{\text{рот}}$ – діаметр ротора, що складає 138 м;

v_i – швидкість вітру на висоті гондоли, м/с;

τ_i – час роботи ВЕУ, год;

η – коефіцієнт використання вітрового потоку(0,5)

Вірогідність швидкості вітру по градаціям в різні періоди доби (% від загальної кількості випадків для метеопоста Тернопіль)

год \ м/с	3,5	7	12	15
23-07	x	x	x	x
08-11	x	x	x	x
12-17	x	x	x	x
18-22	x	x	x	x

$$JanVer := \begin{bmatrix} 41.8 & 18.8 & 5 & 1.4 \\ 46.4 & 17.1 & 4.3 & 1.9 \\ 57.4 & 21.8 & 4.6 & 1.6 \\ 49.2 & 19.3 & 3.1 & 1.4 \end{bmatrix} \quad \tau J := tm \cdot \frac{JanVer}{100} = \begin{bmatrix} 11.704 & 5.264 & 1.4 & 0.392 \\ 9.28 & 3.42 & 0.86 & 0.38 \\ 11.48 & 4.36 & 0.92 & 0.32 \\ 13.776 & 5.404 & 0.868 & 0.392 \end{bmatrix}$$

$$EiJ := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{рот}}^2}{4} \cdot v p M^3 \cdot \tau J \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.608 & 2.189 & 2.933 & 1.604 \\ 0.482 & 1.422 & 1.802 & 1.555 \\ 0.597 & 1.813 & 1.927 & 1.309 \\ 0.716 & 2.247 & 1.818 & 1.604 \end{bmatrix}$$

$$DenJan := EiJ(1,0) + EiJ(1,1) + EiJ(1,2) + EiJ(1,3) + EiJ(2,0) + EiJ(2,1) + EiJ(2,2) + EiJ(2,3) = 10.907$$

$$NigJan := EiJ(0,0) + EiJ(0,1) + EiJ(0,2) + EiJ(0,3) + EiJ(3,0) + EiJ(3,1) + EiJ(3,2) + EiJ(3,3) = 13.719$$

$$FebVer := \begin{bmatrix} 46.4 & 19.6 & 4.9 & 1.4 \\ 48.9 & 19.7 & 3.1 & 1.8 \\ 58 & 27.3 & 4.5 & 1.8 \\ 47.6 & 20.9 & 3.2 & 1.4 \end{bmatrix} \quad \tau F := tm \cdot \frac{FebVer}{100} = \begin{bmatrix} 12.992 & 5.488 & 1.372 & 0.392 \\ 9.78 & 3.94 & 0.62 & 0.36 \\ 11.6 & 5.46 & 0.9 & 0.36 \\ 13.328 & 5.852 & 0.896 & 0.392 \end{bmatrix}$$

$$EiF := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{рот}}^2}{4} \cdot v p M^3 \cdot \tau F \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.675 & 2.282 & 2.874 & 1.604 \\ 0.508 & 1.638 & 1.299 & 1.473 \\ 0.603 & 2.27 & 1.885 & 1.473 \\ 0.693 & 2.433 & 1.877 & 1.604 \end{bmatrix}$$

$$DenFeb := EiF(1,0) + EiF(1,1) + EiF(1,2) + EiF(1,3) + EiF(2,0) + EiF(2,1) + EiF(2,2) + EiF(2,3) = 11.15$$

$$NigFeb := EiF(0,0) + EiF(0,1) + EiF(0,2) + EiF(0,3) + EiF(3,0) + EiF(3,1) + EiF(3,2) + EiF(3,3) = 14.042$$

$$MarVer := \begin{bmatrix} 45.5 & 17 & 6.9 & 1.8 \\ 49.9 & 18 & 2.8 & 1.6 \\ 58 & 32.5 & 4.9 & 2.2 \\ 54.5 & 18.3 & 4 & 1.6 \end{bmatrix} \quad \tau Ma := tm \cdot \frac{MarVer}{100} = \begin{bmatrix} 12.74 & 4.76 & 1.932 & 0.504 \\ 9.98 & 3.6 & 0.56 & 0.32 \\ 11.6 & 6.5 & 0.98 & 0.44 \\ 15.26 & 5.124 & 1.12 & 0.448 \end{bmatrix}$$

$$EiMa := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot Drot^2}{4} \cdot vpM^3 \cdot \tau Ma \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.662 & 1.979 & 4.047 & 2.062 \\ 0.519 & 1.497 & 1.173 & 1.309 \\ 0.603 & 2.703 & 2.053 & 1.8 \\ 0.793 & 2.131 & 2.346 & 1.833 \end{bmatrix}$$

$$DenMar := EiMa(1,0) + EiMa(1,1) + EiMa(1,2) + EiMa(1,3) + EiMa(2,0) + EiMa(2,1) + EiMa(2,2) + EiMa(2,3) = 11.657$$

$$NigMar := EiMa(0,0) + EiMa(0,1) + EiMa(0,2) + EiMa(0,3) + EiMa(3,0) + EiMa(3,1) + EiMa(3,2) + EiMa(3,3) = 15.853$$

$$AprVer := \begin{bmatrix} 39.4 & 12 & 1.9 & 1.4 \\ 50.3 & 13 & 2 & 1.3 \\ 62.8 & 31.3 & 5.3 & 2 \\ 61.7 & 14.5 & 2.6 & 1.4 \end{bmatrix} \quad \tau Ap := tm \cdot \frac{AprVer}{100} = \begin{bmatrix} 11.032 & 3.36 & 0.532 & 0.392 \\ 10.06 & 2.6 & 0.4 & 0.26 \\ 12.56 & 6.26 & 1.06 & 0.4 \\ 17.276 & 4.06 & 0.728 & 0.392 \end{bmatrix}$$

$$EiAp := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot Drot^2}{4} \cdot vpM^3 \cdot \tau Ap \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.573 & 1.397 & 1.114 & 1.604 \\ 0.523 & 1.081 & 0.838 & 1.064 \\ 0.653 & 2.603 & 2.22 & 1.637 \\ 0.898 & 1.688 & 1.525 & 1.604 \end{bmatrix}$$

$$DenApr := EiAp(1,0) + EiAp(1,1) + EiAp(1,2) + EiAp(1,3) + EiAp(2,0) + EiAp(2,1) + EiAp(2,2) + EiAp(2,3) = 10.618$$

$$NigApr := EiAp(0,0) + EiAp(0,1) + EiAp(0,2) + EiAp(0,3) + EiAp(3,0) + EiAp(3,1) + EiAp(3,2) + EiAp(3,3) = 10.404$$

$$MayVer := \begin{bmatrix} 31.5 & 8.2 & 2 & 1.4 \\ 48.9 & 8 & 2 & 1.3 \\ 70.4 & 21 & 5 & 1.8 \\ 58.6 & 10.7 & 2.4 & 1.4 \end{bmatrix} \quad \tau May := tm \cdot \frac{MayVer}{100} = \begin{bmatrix} 8.82 & 2.296 & 0.56 & 0.392 \\ 9.78 & 1.6 & 0.4 & 0.26 \\ 14.08 & 4.2 & 1 & 0.36 \\ 16.408 & 2.996 & 0.672 & 0.392 \end{bmatrix}$$

$$EMay := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot Drot^2}{4} \cdot vpM^3 \cdot \tau May \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.458 & 0.955 & 1.173 & 1.604 \\ 0.508 & 0.665 & 0.838 & 1.064 \\ 0.732 & 1.746 & 2.095 & 1.473 \\ 0.853 & 1.246 & 1.408 & 1.604 \end{bmatrix}$$

$$DenMay := EMay(1,0) + EMay(1,1) + EMay(1,2) + EMay(1,3) + EMay(2,0) + EMay(2,1) + EMay(2,2) + EMay(2,3) = 9.121$$

$$NigMay := EMay(0,0) + EMay(0,1) + EMay(0,2) + EMay(0,3) + EMay(3,0) + EMay(3,1) + EMay(3,2) + EMay(3,3) = 9.3$$

$$JunVer := \begin{bmatrix} 27.4 & 7.8 & 2 & 1.4 \\ 50.9 & 7.8 & 1.8 & 1.2 \\ 70.5 & 24.3 & 2.8 & 1.1 \\ 60.7 & 9.4 & 2 & 1.3 \end{bmatrix} \quad \tau_{Jun} := tm \cdot \frac{JunVer}{100} = \begin{bmatrix} 7.672 & 2.184 & 0.56 & 0.392 \\ 10.18 & 1.56 & 0.36 & 0.24 \\ 14.1 & 4.86 & 0.56 & 0.22 \\ 16.996 & 2.632 & 0.56 & 0.364 \end{bmatrix}$$

$$EiJun := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot Drot^2}{4} \cdot vpM^3 \cdot \tau_{Jun} \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.399 & 0.908 & 1.173 & 1.604 \\ 0.529 & 0.649 & 0.754 & 0.982 \\ 0.733 & 2.021 & 1.173 & 0.9 \\ 0.883 & 1.094 & 1.173 & 1.489 \end{bmatrix}$$

$$DenJun := EiJun(1,0) + EiJun(1,1) + EiJun(1,2) + EiJun(1,3) + EiJun(2,0) + EiJun(2,1) + EiJun(2,2) + EiJun(2,3) = 7.741$$

$$NigJun := EiJun(0,0) + EiJun(0,1) + EiJun(0,2) + EiJun(0,3) + EiJun(3,0) + EiJun(3,1) + EiJun(3,2) + EiJun(3,3) = 8.724$$

$$JulVer := \begin{bmatrix} 25.2 & 6.1 & 2.4 & 1.2 \\ 41.5 & 6.9 & 1.8 & 0.9 \\ 69.5 & 21.2 & 2 & 1.3 \\ 53 & 8.6 & 1.8 & 1.2 \end{bmatrix} \quad \tau_{Jul} := tm \cdot \frac{JulVer}{100} = \begin{bmatrix} 7.056 & 1.708 & 0.672 & 0.336 \\ 8.3 & 1.38 & 0.36 & 0.18 \\ 13.9 & 4.24 & 0.4 & 0.26 \\ 14.84 & 2.408 & 0.504 & 0.336 \end{bmatrix}$$

$$EiJul := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot Drot^2}{4} \cdot vpM^3 \cdot \tau_{Jul} \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.367 & 0.71 & 1.408 & 1.375 \\ 0.431 & 0.574 & 0.754 & 0.736 \\ 0.722 & 1.763 & 0.838 & 1.064 \\ 0.771 & 1.001 & 1.056 & 1.375 \end{bmatrix}$$

$$DenJul := EiJul(1,0) + EiJul(1,1) + EiJul(1,2) + EiJul(1,3) + EiJul(2,0) + EiJul(2,1) + EiJul(2,2) + EiJul(2,3) = 6.883$$

$$NigJul := EiJul(0,0) + EiJul(0,1) + EiJul(0,2) + EiJul(0,3) + EiJul(3,0) + EiJul(3,1) + EiJul(3,2) + EiJul(3,3) = 8.062$$

$$AugVer := \begin{bmatrix} 24.2 & 6.7 & 1.8 & 1.3 \\ 41 & 5.7 & 1.7 & 1.4 \\ 74.4 & 19.7 & 2.4 & 1.6 \\ 46.6 & 6.9 & 1.9 & 1.1 \end{bmatrix} \quad \tau_{Aug} := tm \cdot \frac{AugVer}{100} = \begin{bmatrix} 6.776 & 1.876 & 0.504 & 0.364 \\ 8.2 & 1.14 & 0.34 & 0.28 \\ 14.88 & 3.94 & 0.48 & 0.32 \\ 13.048 & 1.932 & 0.532 & 0.308 \end{bmatrix}$$

$$EAug := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot Drot^2}{4} \cdot vpM^3 \cdot \tau_{Aug} \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.352 & 0.78 & 1.056 & 1.489 \\ 0.426 & 0.474 & 0.712 & 1.146 \\ 0.773 & 1.638 & 1.005 & 1.309 \\ 0.678 & 0.803 & 1.114 & 1.26 \end{bmatrix}$$

$$DenAug := EA_{Aug}(1,0) + EA_{Aug}(1,1) + EA_{Aug}(1,2) + EA_{Aug}(1,3) + EA_{Aug}(2,0) + EA_{Aug}(2,1) + EA_{Aug}(2,2) + EA_{Aug}(2,3) = 7.484$$

$$NigAug := EA_{Aug}(0,0) + EA_{Aug}(0,1) + EA_{Aug}(0,2) + EA_{Aug}(0,3) + EA_{Aug}(3,0) + EA_{Aug}(3,1) + EA_{Aug}(3,2) + EA_{Aug}(3,3) = 7.533$$

$$SepVer := \begin{bmatrix} 27.4 & 7.1 & 2.4 & 1.4 \\ 38 & 6.5 & 1.8 & 1.2 \\ 73.2 & 22.1 & 2.9 & 1.3 \\ 43.7 & 6.1 & 2.5 & 1.2 \end{bmatrix} \quad \tau_{Sep} := tm \cdot \frac{SepVer}{100} = \begin{bmatrix} 7.672 & 1.988 & 0.672 & 0.392 \\ 7.6 & 1.3 & 0.36 & 0.24 \\ 14.64 & 4.42 & 0.58 & 0.26 \\ 12.236 & 1.708 & 0.7 & 0.336 \end{bmatrix}$$

$$EiSep := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot Drot^2}{4} \cdot vpM^3 \cdot \tau_{Sep} \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.399 & 0.827 & 1.408 & 1.604 \\ 0.395 & 0.541 & 0.754 & 0.982 \\ 0.761 & 1.838 & 1.215 & 1.064 \\ 0.636 & 0.71 & 1.466 & 1.375 \end{bmatrix}$$

$$DenSep := EiSep(1,0) + EiSep(1,1) + EiSep(1,2) + EiSep(1,3) + EiSep(2,0) + EiSep(2,1) + EiSep(2,2) + EiSep(2,3) = 7.549$$

$$NigSep := EiSep(0,0) + EiSep(0,1) + EiSep(0,2) + EiSep(0,3) + EiSep(3,0) + EiSep(3,1) + EiSep(3,2) + EiSep(3,3) = 8.424$$

$$OctVer := \begin{bmatrix} 32.6 & 11.8 & 3.7 & 1.3 \\ 39.3 & 12.5 & 2.9 & 1.4 \\ 64 & 25.4 & 5 & 1.2 \\ 44.6 & 11.6 & 3.3 & 1.25 \end{bmatrix} \quad \tau_{Oct} := tm \cdot \frac{OctVer}{100} = \begin{bmatrix} 9.128 & 3.304 & 1.036 & 0.364 \\ 7.86 & 2.5 & 0.58 & 0.28 \\ 12.8 & 5.08 & 1 & 0.24 \\ 12.488 & 3.248 & 0.924 & 0.35 \end{bmatrix}$$

$$EiOct := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot Drot^2}{4} \cdot vpM^3 \cdot \tau_{Oct} \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.474 & 1.374 & 2.17 & 1.489 \\ 0.409 & 1.04 & 1.215 & 1.146 \\ 0.665 & 2.112 & 2.095 & 0.982 \\ 0.649 & 1.351 & 1.936 & 1.432 \end{bmatrix}$$

$$DenOct := EiOct(1,0) + EiOct(1,1) + EiOct(1,2) + EiOct(1,3) + EiOct(2,0) + EiOct(2,1) + EiOct(2,2) + EiOct(2,3) = 9.663$$

$$NigOct := EiOct(0,0) + EiOct(0,1) + EiOct(0,2) + EiOct(0,3) + EiOct(3,0) + EiOct(3,1) + EiOct(3,2) + EiOct(3,3) = 10.875$$

$$NovVer := \begin{bmatrix} 43.4 & 18.6 & 7.1 & 1.6 \\ 45.6 & 20.9 & 4.4 & 1.3 \\ 56.3 & 27.5 & 4.7 & 1.2 \\ 46.7 & 21.9 & 3.9 & 1.4 \end{bmatrix} \quad \tau_{Nov} := tm \cdot \frac{NovVer}{100} = \begin{bmatrix} 12.152 & 5.208 & 1.988 & 0.448 \\ 9.12 & 4.18 & 0.88 & 0.26 \\ 11.26 & 5.5 & 0.94 & 0.24 \\ 13.076 & 6.132 & 1.092 & 0.392 \end{bmatrix}$$

$$EiNov := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot Drot^2}{4} \cdot vpM^3 \cdot \tau_{Nov} \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.632 & 2.166 & 4.164 & 1.833 \\ 0.474 & 1.738 & 1.843 & 1.064 \\ 0.585 & 2.287 & 1.969 & 0.982 \\ 0.68 & 2.55 & 2.288 & 1.604 \end{bmatrix}$$

$$DenNov := EiNov(1,0) + EiNov(1,1) + EiNov(1,2) + EiNov(1,3) + EiNov(2,0) + EiNov(2,1) + EiNov(2,2) + EiNov(2,3) = 10.942$$

$$NigNov := EiNov(0,0) + EiNov(0,1) + EiNov(0,2) + EiNov(0,3) + EiNov(3,0) + EiNov(3,1) + EiNov(3,2) + EiNov(3,3) = 15.915$$

$$DecVer := \begin{bmatrix} 43.3 & 19.5 & 6 & 1.8 \\ 43.8 & 17.1 & 4.6 & 1.6 \\ 54.7 & 23 & 4.1 & 1.6 \\ 44 & 20.7 & 5.2 & 1.3 \end{bmatrix} \quad \tau_{Dec} := tm \cdot \frac{DecVer}{100} = \begin{bmatrix} 12.124 & 5.46 & 1.68 & 0.504 \\ 8.76 & 3.42 & 0.92 & 0.32 \\ 10.94 & 4.6 & 0.82 & 0.32 \\ 12.32 & 5.796 & 1.456 & 0.364 \end{bmatrix}$$

$$EiDec := 0.63 \cdot \frac{\pi \cdot Drot^2}{4} \cdot vpM^3 \cdot \tau_{Dec} \cdot \eta \cdot 10^{-6} = \begin{bmatrix} 0.63 & 2.27 & 3.519 & 2.062 \\ 0.455 & 1.422 & 1.927 & 1.309 \\ 0.569 & 1.913 & 1.718 & 1.309 \\ 0.64 & 2.41 & 3.05 & 1.489 \end{bmatrix}$$

$$DenDec := EiDec(1,0) + EiDec(1,1) + EiDec(1,2) + EiDec(1,3) + EiDec(2,0) + EiDec(2,1) + EiDec(2,2) + EiDec(2,3) = 10.622$$

$$NigDec := EiDec(0,0) + EiDec(0,1) + EiDec(0,2) + EiDec(0,3) + EiDec(3,0) + EiDec(3,1) + EiDec(3,2) + EiDec(3,3) = 16.071$$

В кінці розрахунків маємо щоденні потужності для кожного місяця щоденно
Den-вдень, Nig-вночі (МВт)

$$DenJan = 10.907 \quad NigJan = 13.719$$

$$DenFeb = 11.15 \quad NigFeb = 14.042$$

$$DenMar = 11.657 \quad NigMar = 15.853$$

$$DenApr = 10.618 \quad NigApr = 10.404$$

$$DenMay = 9.121 \quad NigMay = 9.3$$

$$DenJun = 7.741 \quad NigJun = 8.724$$

$$DenJul = 6.883 \quad NigJul = 8.062$$

$$DenAug = 7.484 \quad NigAug = 7.533$$

$$DenSep = 7.549 \quad NigSep = 8.424$$

$$DenOct = 9.663 \quad NigOct = 10.875$$

$$DenNov = 10.942 \quad NigNov = 15.915$$

$$DenDec = 10.622 \quad NigDec = 16.071$$

2.8 Розрахунок надлишку та недостачі в(МВт) в день

ND-

NN- надлишок/недостача вночі

$$NDJan := DenJan - PDay = -0.578$$

$$NNJan := NigJan - PNig = 10.107$$

$$NDFeb := DenFeb - PDay = -0.335$$

$$NNFeb := NigFeb - PNig = 10.43$$

$$NDMar := DenMar - PDay = 0.172$$

$$NNMar := NigMar - PNig = 12.242$$

$$NDApr := DenApr - PDay = -0.866$$

$$NNApr := NigApr - PNig = 6.792$$

$$NDMay := DenMay - PDay = -2.363$$

$$NNMay := NigMay - PNig = 5.689$$

$$NDJun := DenJun - PDay = -3.744$$

$$NNJun := NigJun - PNig = 5.112$$

$$NDJul := DenJul - PDay = -4.602$$

$$NNJul := NigJul - PNig = 4.451$$

$$NDAug := DenAug - PDay = -4$$

$$NNAug := NigAug - PNig = 3.922$$

$$NDSep := DenSep - PDay = -3.935$$

$$NNSep := NigSep - PNig = 4.813$$

$$NDOct := DenOct - PDay = -1.822$$

$$NNOct := NigOct - PNig = 7.263$$

$$NDNov := DenNov - PDay = -0.542$$

$$NNNov := NigNov - PNig = 12.304$$

$$NDDec := DenDec - PDay = -0.862$$

$$NNDec := NigDec - PNig = 12.46$$

2.9 Вибір установки електролізу та паливного елемента

На сьогоднішній день існує три головні технології електролізу води: лужний електроліз (ALK), протонообмінний електроліз (РЕМ) та високотемпературний. Останній ще не був реалізований у промислових масштабах, а низька чистота водню не дозволяє використовувати його у паливних елементах. Основною перевагою лужного електролізу є нижчі капіталозатрати на одиницю встановленої потужності. До переваг електролізера РЕМ відносно інших технологій промислового виробництва водню відносять відсутність необхідності використання лужного каталізатора, що збільшує термін роботи, а також унеможливорює викиди токсичних лужних газів через їх відсутність. Із цього випливає наступна перевага – чистота виробленого водню. Ще можна відмітити досить високий електричний ККД, який складає близько 80% і з кожним роком все зростає. Наступною і головною перевагою є здатність працювати у високодинамічних умовах, а також при частковому навантаженні, або перенавантаженні.

Був обраний електролізер NEL MC500 який споживає 0,0044 МВт для вироблення 1Nm³ водню



Рисунок 2.6 Зовнішній вигляд електролізера

Технічні характеристики	MC500
Чистий обсяг видобутку	
Nm ³ /h @ 0°C, 1 bar	492 Nm ³ /h
kg/24 h	1062 kg/24 h
Динамічний діапазон виробничих потужностей	15-100% of flow range
Енергоспоживання в стеку	4.4 kWh/Nm ³
H ₂ Чистота	99.9 fit 0.1 %
H ₂ Чистота (з додатковим очищенням)	99.99-99.999 %
O ₂ -вміст в H ₂	< 2 ppm v
H ₂ O-вміст в H ₂	< 2 ppm v
O ₂ Чистота	99.5 fit 0.2 %
Тиск нагнітання	1-200 barg
Температура навколишнього середовища	5-35° C (41-95° F)

Таблиця 2.6 Технічні характеристики електролізера

Також для наших потреб було обрано установки Mitsubishi Megamie які складаються з твердооксидних паливних елементів та мікротурбін.

3 установки які з 150 Nm³ H₂ виробляють 0.63 МВт енергії.

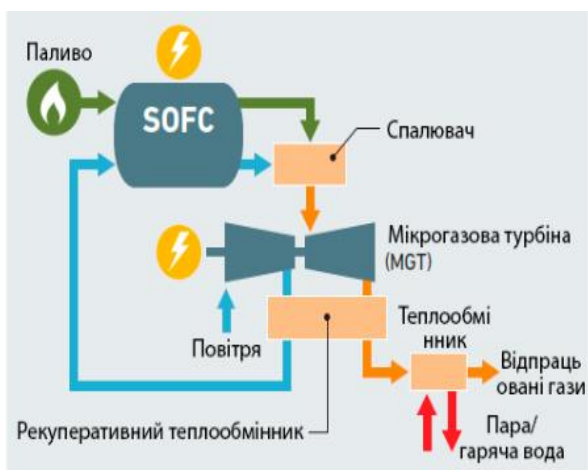
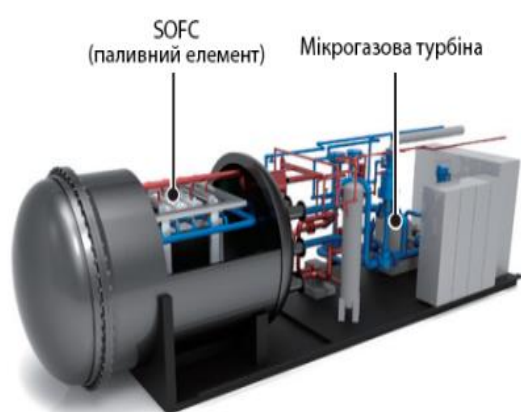


Рисунок 2.7 Схема системи з паливного елемента та мікротурбіни

Модел		MEGAMIE
Тип		Твердооксидний паливний елемент [Solidia®]
Паливо		СПГ Макс. 50 Нм3/год (близько 36 Нм3/год при номінальній потужності)
Електричний вихід *1	Номінальна потужність	210 кВт
	Частота, фаза	50/60 Гц, 3 фази
	Напруга	200 В/220 В
Теплова потужність *1	Теплова потужність	86 кВт (утилізація гарячої води) 54 кВт (утилізація пари)
	Витрата гарячої води/пари	15 т/год (гаряча вода від 83°C до 88°C) 80 кг/год (пара 0,78 МПа*2/температура подачі води 60°C)
Ефективність *1	Електрична ефективність	53% ЛГВ
	Загальний ККД (електричний + тепловий)	73% НВВ (рекуперація гарячої води) 65% НВВ (рекуперація пари)
Розмір одиниці виміру		Ш 3,2 м × Д 11,4 м × В 3,3 м
Вага		33 t
Час запуску		Холод 24 год/Гаряча 2 год
Екологічні показники	Вихлопні гази	1 400 Нм3/год
	NOx	15 ppm або менше (16% O2 при номінальній потужності)
	SOx	Менше 0,1 проміле
	Шум	70 дБА або менше (на відстані 1 м від машини)
	Вібрація	45 дБА або менше
Місця встановлення		У приміщенні / на відкритому повітрі
Опції		Можливість острівного режиму

Таблиця 2.7 Технічні характеристики системи системи

2.10 Розрахунок надлишку та недостачі в (Nm³) водню в день

Якщо число від'ємне це показує скільки водню треба виробити установкою.

$$\begin{array}{c} 1\text{Nm}^3 \\ \times \\ 0,0044 \text{ МВт} \\ \text{надлишок} \\ \text{енергії} \end{array}$$

Якщо додатне тоді це показує вироблений електролізером водень з надлишку енергії.

$$\begin{array}{c} 150\text{Nm}^3 \\ \times \\ 0,63 \text{ МВт} \\ \text{недостача} \\ \text{енергії} \end{array}$$

HD- надлишок/недостача вдень

HN- надлишок/недостача вночі

$$HD_{Jan} := \frac{ND_{Jan} \cdot 150}{0.63} = -137.563$$

$$HN_{Jan} := \frac{NN_{Jan}}{0.0044} = 2297.098$$

$$HDFeb := \frac{NDFeb \cdot 150}{0.63} = -79.703$$

$$HNFeb := \frac{NNFeb}{0.0044} = 2370.525$$

$$HDMar := \frac{NDMar}{0.0044} = 39.15$$

$$HNMar := \frac{NNMar}{0.0044} = 2782.246$$

$$HDApr := \frac{NDApr \cdot 150}{0.63} = -206.192$$

$$HNApr := \frac{NNApr}{0.0044} = 1543.667$$

$$HDMay := \frac{NDMay \cdot 150}{0.63} = -562.682$$

$$HNMay := \frac{NNMay}{0.0044} = 1292.854$$

$$HDJun := \frac{NDJun \cdot 150}{0.63} = -891.371$$

$$HNJun := \frac{NNJun}{0.0044} = 1161.898$$

$$HDJul := \frac{NDJul \cdot 150}{0.63} = -1095.597$$

$$HNJul := \frac{NNJul}{0.0044} = 1011.556$$

$$HDAug := \frac{NDAug \cdot 150}{0.63} = -952.379$$

$$HNAug := \frac{NNAug}{0.0044} = 891.321$$

$$HDSep := \frac{NDSep \cdot 150}{0.63} = -936.976$$

$$HNSep := \frac{NNSep}{0.0044} = 1093.767$$

$$HDOct := \frac{NDOct \cdot 150}{0.63} = -433.698$$

$$HNOct := \frac{NNOct}{0.0044} = 1650.761$$

$$HDNov := \frac{NDNov \cdot 150}{0.63} = -129.04$$

$$HNNov := \frac{NNNov}{0.0044} = 2796.282$$

$$HDDec := \frac{NDDec \cdot 150}{0.63} = -205.319$$

$$HNDec := \frac{NNDec}{0.0044} = 2831.78$$

2.11 Розрахунок потреб водню для роботі компресора в (Nm³) в день

Також будемо використовувати компресор діафрагмоий Z подібного типу.

Компресор в перерахунку на витрати водню для перекачки 150 Nm³ водню потребує 3,1 Nm³ водню з виробітку.



Рисунок 2.8 Зовнішній вигляд компресора

Тип конструкції:	Z-тип
Хід поршня:	70-180 мм
Максимальна сила поршня:	10KN-90KN
Максимальний тиск нагнітання:	70Мра
Діапазон швидкості потоку:	150 Nm ³ /h
Потужність двигуна:	3,1 KW

Таблиця 2.8 Технічні характеристики компресора

C – кількість водню яка необхідна для роботи компресора

150 3,1
 надлишок х

$$C_{Jan} := \frac{HN_{Jan}}{150} \cdot 3.1 = 47.473$$

$$C_{Jul} := \frac{HN_{Jul}}{150} \cdot 3.1 = 20.905$$

$$C_{Feb} := \frac{HN_{Feb}}{150} \cdot 3.1 = 48.991$$

$$C_{Aug} := \frac{HN_{Aug}}{150} \cdot 3.1 = 18.421$$

$$C_{Mar} := \frac{ND_{Mar} + HN_{Mar}}{150} \cdot 3.1 = 57.503$$

$$C_{Sep} := \frac{HN_{Sep}}{150} \cdot 3.1 = 22.605$$

$$C_{Apr} := \frac{HN_{Apr}}{150} \cdot 3.1 = 31.902$$

$$C_{Oct} := \frac{HN_{Oct}}{150} \cdot 3.1 = 34.116$$

$$C_{May} := \frac{HN_{May}}{150} \cdot 3.1 = 26.719$$

$$C_{Nov} := \frac{HN_{Nov}}{150} \cdot 3.1 = 57.79$$

$$C_{Jun} := \frac{HN_{Jun}}{150} \cdot 3.1 = 24.013$$

$$C_{Dec} := \frac{HN_{Dec}}{150} \cdot 3.1 = 58.523$$

2.12 Розрахунок підсумкової кількості водню який можна продати або використати для інших потреб в (Nm³) та (kg) в день

January-December – підсумкова кількість водню в Nm³

jan-dec - підсумкова кількість водню в kg

$$January := HD_{Jan} + HN_{Jan} - C_{Jan} = 2112.061$$

$$jan := \frac{January \cdot 2.205}{11.26} = 413.596$$

$$February := HD_{Feb} + HN_{Feb} - C_{Feb} = 2241.832$$

$$feb := \frac{February \cdot 2.205}{11.26} = 439.009$$

$$March := HD_{Mar} + HN_{Mar} - C_{Mar} = 2763.893$$

$$mar := \frac{March \cdot 2.205}{11.26} = 541.242$$

$$April := HD_{Apr} + HN_{Apr} - C_{Apr} = 1305.572$$

$$apr := \frac{April \cdot 2.205}{11.26} = 255.665$$

$$May := HD_{May} + HN_{May} - C_{May} = 703.453$$

$$may := \frac{May \cdot 2.205}{11.26} = 137.754$$

$$June := HD_{Jun} + HN_{Jun} - C_{Jun} = 246.515$$

$$jun := \frac{June \cdot 2.205}{11.26} = 48.274$$

$$July := HD_{Jul} + HN_{Jul} - C_{Jul} = -104.946$$

$$jul := \frac{July \cdot 2.205}{11.26} = -20.551$$

$$August := HD_{Aug} + HN_{Aug} = -61.058$$

$$aug := \frac{August \cdot 2.205}{11.26} = -11.957$$

$$September := HD_{Sep} + HN_{Sep} - C_{Sep} = 134.186$$

$$sep := \frac{September \cdot 2.205}{11.26} = 26.277$$

$$October := HD_{Oct} + HN_{Oct} - C_{Oct} = 1182.947$$

$$oct := \frac{October \cdot 2.205}{11.26} = 231.652$$

$$November := HD_{Nov} + HN_{Nov} - C_{Nov} = 2609.451$$

$$nov := \frac{November \cdot 2.205}{11.26} = 510.998$$

$$December := HD_{Dec} + HN_{Dec} - C_{Dec} = 2567.937$$

$$dec := \frac{December \cdot 2.205}{11.26} = 502.869$$

Для наших потреб було систему балонів Mahytec 500bar 300L.



Рисунок 2.9 Зовнішній вигляд балонів для зберігання водню

УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	
МАСА ВОДНЮ, ЩО ЗБЕРІГАЄТЬСЯ ПРИ ТИСКУ 500БАР (15°C)	9.5kg
ТЕМПЕРАТУРА ВИКОРИСТАННЯ	From -40°C to 65°C
МАКСИМАЛЬНИЙ РОБОЧИЙ ТИСК	500bar
МАКСИМАЛЬНИЙ ТИСК ЗАПОВНЕННЯ	500bar
ПОЛОЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ	Vertical or horizontal
РОЗМІРИ	
ВНУТРІШНІЙ ОБ'ЄМ	300L
МАСА ПОРОЖНЬОГО БАКУ	260kg
ЗОВНІШНІ РОЗМІРИ (СМ) (БЕЗ ОПОРИ)	Ø49cm x 307
МАТЕРІАЛИ	
ГІДРОГЕННИЙ БАК	Type IV – Polymer liner reinforced with composite material
НАСАДКА НЕРЖАВІЮЧА СТАЛЬ	x2
РЕГУЛЯТОРНИЙ ТЕСТ	
ТЕРМІН СЛУЖБИ	10 years / 5,000 cycles
ВИПРОБУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНИМ ТИСКОМ	750bar
СХВАЛЕНО ВІДПОВІДНО ДО	EN12245 - PED 2014/68/EU & TPED 2010/35/EU

Таблиця 2.9 Технічні характеристики балонів для зберігання водню

РОЗДІЛ 3. СТАРТАП

3.1 Основа мета стартап-проекту

При автономній роботі вітряної електростанції є періоди, коли генерації ВЕС не достатньо для покриття навантаження споживача. Для того щоб забезпечити безперебійне постачання електроенергії в автономній системі— нам необхідна високоефективна система виробітку електроенергії з накопиченого водню. Нижче приведене описання стартап-проекту, що розробляється.

Зміст ідей: Забезпечення безперебійного електропостачання для автономного споживача, завдяки виробітку електроенергії з водню, на базі генерації від ВЕС.

Напрямок застосування:

- Автономне забезпечення для резервного використання споживачами всіх категорій.
- Масштабування системи для забезпечення мережі.

Вигоди для користувача:

- Надійне та ефективне безперебійне постачання електроенергії.
- Система водневого енергозабезпечення є практичною і не потребує постійного обслуговування (заміна повітряних фільтрів - раз в 2 роки).
- Система не вимагає підтримки особливого мікроклімату.
- Система не створює забруднення довкілля (продуктом реакції є вода).

Таблиця 3.1 – Порівняння слабких (W), сильних (S) та нейтральних (N) характеристик ідеї проекту з звичайними системами паливних елементів

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Mitsubishi Megamie	системами паливних елементів
1	Експлуатація	N	N
2	Компактність	S	N
3	Дешивина/доступність	W	N
4	Екологічність	S	S
5	Енергоефективність	S	N
6	Простота встановлення	S	W
7	Можливість використання різних видів палива	N	N
8	ККД	S	N

Для даного стартапу, слабкою стороною є дуже велика кількість грошових витрат на замовлення та транспортування установок, але за рахунок великого виробітку водню щоденно ці витрати швидко компенсуються. Сильними сторонами проекту є висока енергоефективність запропонованої установки також практичне застосування відпрацьованої води або пару на потребах заводу зокрема в цеху забою курки на потребі якого витрачаються колосальні ресурсі теплового котла який використовується на даний момент, а за допомогою установки та можливого її введення в більшу частку використання замінить використання теплового котла для цієї частини заводу.

Аналізу попиту включає наступні пункти: наявність подібних проектів інших виробників, обсяг продаж, динаміка ринку, наявність обмежень для входу на ринок, вимоги до стандартизації та сертифікації середня норма рентабельності наведено у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	К-ть конкурентів	Декілька компаній зі схожими продуктами (Fusion Fuel Green PLC, Bloom Energy, Plug Power Inc.)
2	Загальний обсяг продаж	~ 4000000€ за рік
3	Динаміка ринку	Стабільна
4	Наявність обмежень для входу	немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності по ринку, %	~20%

За результатами аналізу ринку, вхідні умови є привабливими для впровадження даного проекту.

Таблиця 3.3 – Фактори загроз проекту

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
1	Матеріальний	Зростання тарифів на електроенергію та цін на основне обладнання	Збільшення інвестиційних коштів та збільшення терміну окупності
2	Інвестиційний	Зменшення інвестицій	Зменшення темпів розвитку
3	Соціально-економічний	Зниження темпів впровадження ВДЕ	Зменшення загальної кількості впроваджених проектів
4	Політичний	Війна, революція т.д.	Можлива зупинка будівництва, зменшення інвестицій
5	Кліматичний	Погіршення клімату	Спад генерації енергії та збільшення терміну окупності

Таблиця 3.4 – Фактори можливостей проекту

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Законодавчий	Державна підтримка у реалізації	Збільшення економічної ефективності
2	Соціально-економічний	Збільшення темпів впровадження ВДЕ	Збільшення попиту та продажів
3	Інвестиційний	Збільшення інвестицій	Збільшення розвитку сегменту ринку
4	Технологічний	Розвиток та впровадження нових технологій	Зменшення вартості обладнання
5	Кліматичний	Покращення клімату	Збільшення генерації станції

Проаналізувавши зазначені таблиці, очевидно, що можливість знаходження на сучасному ринковому середовищі є реальною.

Таблиця 3.8 – Визначення ключових переваг концепції

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Забезпечення енергопотреб об'єкта з врахуванням впливу вітряної енергетики	Покриття витрат за електричну енергію, компенсація прогалін енергопостачання від ВЕУ, додаткове використання відпрацьованої води	Відсутність витрат на електроенергію, відсутність постійного технічного обслуговування, простота в експлуатації

Наступний етап – проведення фінансово-економічного аналізу. Розрахунок оцінки рентабельності стартап-проекту. Капіталовкладення розраховуються один раз після введення проекту в експлуатацію.

Капітальні вкладення в проект визначаємо за формулою:

$$K_1 = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_i$$

де C_i – вартість одиниці i -обладнання;

N_i – кількість i -обладнання.

Визначаємо термін окупності системи

$$T_1 = \frac{K_1}{P_i - C_i - K_i}$$

Так як в липні і серпні кожен день необхідний водень для забезпечення електропостачання, для цього потрібно його попередньо накопичити, тому:

накор -кількість водню який треба накопичити

зарас -накопичення за весь червень та останні дні травню

$$\begin{aligned} \text{накор} &:= (-\text{jul} + (-\text{aug})) \cdot 62 = 2015.5 \\ \text{зарас} &:= \text{jun} \cdot 30 + \text{may} \cdot 10 = 2825.8 \end{aligned}$$

Розраховуємо кількість балонів:

$$\text{kilk} := \frac{\text{зарас}}{9.5} = 297$$

Округлимо до 300 балонів.

- Балони для зберігання 300 шт по 110\$
- Електролізер 1 шт 500000
- Компресор 1 шт 10000\$
- Система з паливних елементів та мікротурбін 3 шт по 700000\$
- Вітрові установки 4 шт по 700000\$

Р-Прибуток з продажу водню(\$):

$$\text{jan} := \text{jan} \cdot 4.5 \cdot 31 = 57697 \quad \text{feb} := \text{feb} \cdot 4.5 \cdot 28 = 55315 \quad \text{mar} := \text{mar} \cdot 4.5 \cdot 31 = 75503$$

$$\text{apr} := \text{apr} \cdot 4.5 \cdot 30 = 34515 \quad \text{may} := \text{may} \cdot 25 = 3444 \quad \text{sep} := \text{sep} \cdot 4.5 \cdot 31 = 3666$$

$$\text{oct} := \text{oct} \cdot 4.5 \cdot 31 = 32315 \quad \text{nov} := \text{nov} \cdot 4.5 \cdot 30 = 68985 \quad \text{dec} := \text{dec} \cdot 4.5 \cdot 31 = 70150$$

$$P := \text{jan} + \text{feb} + \text{mar} + \text{apr} + \text{sep} + \text{oct} + \text{nov} + \text{dec} + \text{may} = 401590$$

$$K := 300 \cdot 110 + 10000 + 700000 \cdot 3 + 500000 + 900000 \cdot 4 = 6243000$$

$$T := \frac{K}{P} = 16$$

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

1. Загальні положення

1.1. Дія інструкції поширюється на всі підрозділи підприємства.

1.2. Інструкція розроблена на основі ДНАОП 0.00-8.03-93 "Порядок опрацювання та затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві", ДНАОП 0.00-4.15-98 "Положення про розробку інструкцій з охорони праці", ДНАОП 0.00-4.12-99 "Типове положення про навчання з питань охорони праці", ДНАОП 0.00-1.07-94 "Правил будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском", "Правил пожежної безпеки в Україні".

1.3. За даною інструкцією робітник інструктується перед початком роботи на підприємстві (первинний інструктаж), а потім через кожні 3 місяці (повторний інструктаж). Результати інструктажу заносяться в "Журнал реєстрації інструктажів з питань охорони праці", в журналі після проходження інструктажу повинен бути підпис особи, яка інструктує, та робітника.

1.4. Власник повинен застрахувати робітника від нещасних випадків та професійних захворювань. В разі пошкодження здоров'я з вини власника, він (робітник) має право на відшкодування заподіяної йому шкоди.

1.5. За невиконання даної інструкції робітник несе дисциплінарну, матеріальну, адміністративну та кримінальну відповідальність.

1.6. До обслуговування балонів допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання за спеціальною програмою, атестовані і мають посвідчення на право їх обслуговування, вступний інструктаж з охорони праці та інструктаж на робочому місці.

1.7. Періодична перевірка знань робітників, які обслуговують балони, проводиться не рідше 1 разу в 12 місяців.

1.8. Позапланова перевірка знань проводиться: - при переході на інше підприємство; - в разі внесення змін в інструкцію по режиму та безпечному обслуговуванню балонів;

1.9. У разі перерви в роботі по обслуговуванню балонів понад 12 місяців робітник після перевірки знань повинен перед допуском до самостійної роботи пройти стажування.

1.10. Допуск до самостійного обслуговування балонів оформляється наказом по підприємству.

1.11. Інструкція з безпечного обслуговування балонів повинна бути видана на руки під розписку або вивішена на робочому місці.

1.12. Робітник, який обслуговує балони повинен:

1.12.1. Виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку.

1.12.2. Пам'ятати про особисту відповідальність за виконання правил охорони праці та безпеку товаришів по роботі.

1.12.3. Вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим від нещасних випадків.

1.12.4. Вміти користуватись первинними засобами пожежегасіння.

1.12.5. Утримувати робоче місце в чистоті і порядку.

1.12.6. Дотримуватись правил експлуатації, транспортування та зберігання балонів.

1.13. Балони повинні мати вентиля, щільно вкручені в отвори горловини або у витратно-наповнювальні штуцери у спеціальних балонів, що не мають горловини.

1.14. Балони для стиснених, зріджених і розчинених газів місткістю більше повинні бути забезпечені паспортом.

1.15. На балони місткістю понад повинні встановлюватися запобіжні клапани. При груповому встановленні балонів допускається встановлення запобіжного клапана на всю групу балонів.

1.16. Бокові штуцери вентилів для балонів, які наповнюються воднем та іншими горючими газами, повинні мати ліву різьбу; а для балонів, які наповнюються киснем та іншими негорючими газами, - праву різьбу.

1.18. Вентилі в балонах для кисню повинні вкручуватись із застосуванням ущільнювальних матеріалів, загоряння яких в середовищі кисню виключається.

1.19. На верхній сферичній частині кожного металевого балона повинні бути вибиті (чітко видні) такі дані: - товарний знак підприємства-виготовлювача; - номер балона; - фактична маса порожнього балона (кг): для балонів місткістю до включно - з точністю до , понад 12 до включно - з точністю до ; маса балонів місткістю понад указується відповідно до нормативної документації (НД) на їх виготовлення; - дата (місяць, рік) виготовлення і наступного опосвідчення; - робочий тиск (Р), МПа (кгс/см²); - пробний гідравлічний тиск (П), МПа (кгс/см²); - місткість балонів, л: для балонів місткістю до включно – номінальна; для балонів місткістю понад 12 до включно – фактична з точністю до ; для балонів місткістю понад - відповідно до НД на їх виготовлення; - клеймо відділу технічного контролю (ВТК) підприємства-виготовлювача круглої форми діаметром (за винятком стандартних балонів місткістю понад); - номер стандарту для балонів місткістю понад .

1.20. Висота знаків на балонах повинна бути не менше , а на балонах місткістю - не менше .

1.21. Маса балонів, за винятком балонів для ацетилену, вказується з урахуванням маси нанесеної фарби, кільця для ковпака і башмака, якщо такі передбачені конструкцією, але без маси вентиля і ковпака.

1.22. На балонах місткістю до або товщиною стінки менше паспортні дані можуть бути вибиті на пластині, припаяній до балона або нанесені емалевою чи олійною фарбою.

1.23. Балони для розчиненого ацетилену повинні бути заповнені відповідною кількістю пористої маси і розчинника за стандартом. За

якість пористої маси і за правильність наповнення балонів відповідальність несе підприємство, яке наповняє балон пористою масою. За якість розчинника і за правильне його дозування відповідальність несе підприємство, яке здійснює заповнення балонів розчинником. Після заповнення балонів пористою масою і розчинником на його горловині вибивається маса тари (маса балона без ковпака, але з пористою масою і розчинником, башмаком, кільцем і вентилем).

1.24. Написи на балони наносять по обводу на довжину не менше $1/3$ обводу, а смуги - по всьому обводу, причому висота літер на балонах ємністю понад має бути , а ширина смуги - . Розміри написів і смуг на балонах ємністю до повинні визначатися в залежності від величини бокової поверхні балонів.

1.26. Фарбування балонів і написи на них можуть виконуватися масляними, емалевими або нітрофарбами. Фарбування наново виготовлених балонів і нанесення написів здійснюється підприємствами-виготовлювачами, а під час експлуатації - наповнювальними станціями або випробувальними пунктами. Маркірування та фарбування неметалевих балонів повинні проводитися у відповідності до ТУ на балон.

1.27. Головні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які діють на робітника, який обслуговує балони: - загазованість робочої зони; - недостатня освітленість робочої зони; - порушення правил транспортування балонів; - порушення правил зберігання балонів;

1.28. Робітники, які обслуговують балони, забезпечуються спецодягом: - комбінезон бавовняний; 69 - рукавиці брезентові; - черевики кожані; - взимку додатково: куртка та брюки бавовняні на теплій підкладці.

2. Описування балонів

2.1. Описування балонів, за винятком балонів для ацетилену, включає:

2.1.1. Огляд внутрішньої і зовнішньої поверхні балонів.

2.1.2. Перевірку маси і місткості.

2.1.3. Гідравлічне випробування. Перевірка маси і місткості безшовних балонів ємністю до включно і понад , а також зварних балонів, незалежно від місткості, не проводиться.

2.2. При задовільних результатах підприємство, на якому проведено опосвідчення, вибиває на балоні своє клеймо круглої форми діаметром , дату проведеного і наступного опосвідчення (в одному ряду з клеймом). Результати технічного опосвідчення балонів ємністю понад заносяться в паспорт балонів. Клейма на балонах в цьому випадку не ставляться.

2.3. Результати опосвідчення балонів, за винятком балонів для ацетилену, записуються особою, яка проводила опосвідчення балонів, у журнал випробувань.

2.4. Огляд балонів для ацетилену повинен здійснюватися на ацетиленових наповнювальних станціях не рідше, ніж через 5 років, і складатися із:

2.4.1. Огляду зовнішньої поверхні.

2.4.2. Перевірки пористої маси.

2.4.3. Пневматичного випробування.

2.5. Стан пористої маси в балонах для ацетилену повинен перевірятись на наповнювальних станціях не рідше, ніж через 24 місяці. При задовільному стані пористої маси на кожному балоні повинні бути вибиті:

2.5.1. Рік і місяць перевірки пористої маси.

2.5.2. Клеймо наповнювальної станції.

2.5.3. Клеймо (діаметром із зображенням літер Пм,), що засвідчує перевірку пористої маси.

2.6. Балони для ацетилену, які наповнені пористою масою, під час опосвідчення випробовують азотом під тиском 3,5 МПа (35 кгс/м²).

Чистота азоту, який застосовується для випробування балонів, повинна бути не нижче 97% за об'ємом.

2.7. Результати опосвідчення балонів для ацетилену заносять в журнал випробувань.

2.8. Огляд балонів здійснюється з метою виявлення на їх стінках корозії, тріщин, вм'ятин та інших пошкоджень (для визначення придатності балонів до подальшої експлуатації). Перед оглядом балони мають бути ретельно очищені і промиті водою, а в необхідних випадках промиті відповідним розчинником або дегазовані.

Висновки

До складу автономної гібридної установки енергозабезпечення на базі водневої електростанції буде входити:

- чотири вітрові устанавки;
- три модуля паливних елементів та мікротурбін;
- один електролізер;
- один компресор;
- 58 балонів для зберігання водню.

Встановлено, що розроблена автономна система енергопостачання на базі ВЕС з водневою акумулюючою системою сумарною вартістю основних витратних , згідно з розрахунками теперішнього часу, склала 1406380\$, при розрахунковому терміні служби більше 20 років. Окрім балонів які розраховані на 10 років приблизно.

Враховуючи, що реалізація водневої системи накопичення на паливних елементах, є достатньо дорогою, на сьогоднішній день, привертає все більше увагу. Так як цю систему з легкістю можна використовувати як в промисловому виробництві, так і для житлових будівель. Водень безпечний для довкілля, не токсичний. Також не несе жодної загрози людині та тваринам.

Водень без проблем транспортується і зберігається в балонних накопичувачах під тиском до 50 МПа, не побоюючись за життя. Також окупність системи склала приблизно 4 роки завдяки високому виробітку водню в нічний час коли основна потужність споживання відсутня.

При досягненні дешевої технології отримання та перетворення водню в електроенергії, можна буде в найшвидший період відмовитися від традиційної енергетики.

Список використаної літератури

1. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Вітроенергетика” для студентів денної форми навчання за напрямком підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології», спеціальність 7.05070107 та 8.05070107 «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» денної форми навчання. Укладач: Головка В.М., – К.: ФЕА НТУУ “КПІ”, 2015. – 14 с.
2. В.М, Головка. Вітроенергетика (курс лекцій). – К.:ФЕА НТУУ «КПІ», 2015 – 87 с.
3. С.О. Кудря, В.М. Головка. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії. - К.:ФЕА НТУУ «КПІ», 2011 – 184 с.
4. Довідник з клімату СРСР. Гідрометеорологічне видавництво. Ленінград, 1967. – 696 с.
5. http://uwea.com.ua/uploads/docs/uwea_2021_en_web_2.pdf
6. <https://www.nrel.gov/docs/fy09osti/44082.pdf>
7. <https://core.ac.uk/download/pdf/19877796.pdf>
8. Fuel Cell Handbook. U.S. Department of Energy. 2004
9. Digital image [PEM Mechanism]. Third Orbit Power Systems. 7 June 2007
10. Brunner TA (2006) Liquid Hydrogen Storage- Roadmap to Mass Market. Hydrogen Storage Challenges for Mobility, 7 Dec 2006, SAE International
11. https://rusecounion.ru/ru/transport_23319