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

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра відновлюваних джерел енергії

«На правах рукопису»
УДК 621.311

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
Степан КУДРЯ
«___»_____2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою
«Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

на тему: «Автономна система виробництва водню за рахунок відновлюваних джерел енергії поблизу міста Чорноморськ»

Виконав:
студент VI курсу, групи ЕД-91мп
Дудченко Андрій Олександрович _____

Науковий керівник:
докт. техн. наук., доцент
Будько Василь Іванович _____

Рецензент:
_____
_____ _____

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

Київ – 2020 року

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»

Освітньо-професійна програма «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Степан КУДРЯ

«___»_____2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Дудченку Андрію Олександровичу

1. Тема дисертації: «Автономна система виробництва водню за рахунок відновлюваних джерел енергії поблизу міста Чорноморськ», науковий керівник дисертації Будько Василь Іванович докт. техн. наук, доцент, затверджені наказом по університету від «09» листопада 2020 р. № 3260-с.

2. Термін подання студентом дисертації: «17» грудня 2020 р.

3. Об’єкт дослідження: Розширення використання потенціалу вітрової енергетики за рахунок виробітку водню.

4. Вихідні дані: місце розташування – Одеська область, метеорологічні данні, географічне розташування.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

а) розглянути особливості генерації водню за рахунок відновлюваних джерел енергії;
б) оцінити сонячний та вітровий потенціал та обрати місцерозташування майданчику під будівництво;
в) розрахувати та порівняти техніко-економічні параметри забезпечення системи електроенергії за рахунок СЕС або ВЕС та обрати кращий варіант;
г) розрахувати техніко-економічні параметри електролізного обладнання;

ґ) розробити схеми підключення;
д) розрахувати термін окупності;
е) розробити проект стартапу;
є) описати охорону праці.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

а) плакат (назва магістерської дисертації);
б) опис проекту;
в) вибір місцевості за відповідними критеріями;
г) техніко-економічні розрахунки СЕС та ВЕС;
ґ) модель автономної системи генерації водню;
д) розроблення стартап проекту та оцінка терміну окупності;
е) висновки.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1 тези в міжнародному науково-технічному журналі молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики», 2020р.

8. Дата видачі завдання «02» листопада 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Робота з літературою	01.11.2020 – 07.11.2020	
2	Розділ 1 Сучасний стан сонячної та вітроенергетики.	07.11.2020 – 09.11.2020	
3	Розділ 2 Стан та перспективи використання водню.	09.11.2020 – 11.11.2020	
4	Розділ 3 Технічні рішення та розрахунки ФЕС	11.11.2020 – 14.11.2020	
5	Розділ 4 Технічні рішення та розрахунки ВЕС	14.11.2020 – 20.11.2020	
6	Розділ 5 Вибір та розрахунок системи генерації водню	20.11.2020 – 27.11.2020	
7	Розділ 6 Стартап проект	27.11.2020 – 07.12.2020	
8	Розділ 7 Охорона праці	07.12.2020 – 11.12.2020	
9	Загальні висновки	11.12.2020 – 14.12.2020	
10	Оформлення та додатки	14.12.2020 – 17.12.2020	

Студент Андрій ДУДЧЕНКО

Науковий керівник Василь БУДЬКО

Реферат

Магістерська робота складається зі вступу, семи розділів, загальних висновків, переліку відповідних посилань та додатків. Загальний обсяг становить 114 сторінок, серед них 95 сторінок основного тексту, великої кількості рисунків та таблиць, переліку використаних посилань та 3 додатків.

Актуальність теми. З огляду гострої проблеми балансування енергосистем, стрімкого розвитку та популяризації водневої енергетики, а також концепцію переходу країн світу, в тому числі і України, на забезпечення потреб у електроенергії за рахунок відновлюваних джерел енергії, постає актуально розробка автономної системи генерації водню за рахунок ВДЕ.

Зв'язок роботи з планами. Дана робота тісно пов'язана з водневою стратегією Євросоюзу про фінансування України для нарощування потужності генерації водню на рівні 10 ГВт за рахунок відновлюваних джерел енергії, що буде експортуватись до країн ЄС.

Мета. Збільшення використання енергії сонячного випромінювання та вітру в умовах України за рахунок реалізації систем виробництва зеленого водню на основі відновлюваних джерел енергії при врахуванні кращих техніко-економічних показників.

Задачі дослідження.

- Проаналізувати енергетичний потенціал об'єктів відновлюваної енергетики України
- Проаналізувати технічні параметри реалізації системи генерування "зеленого водню" за рахунок ФЕС або ВЕС
- На основі аналізу технічних характеристик обрати основне обладнання, розробити електричні схеми та сформовано техніко-економічне рішення.
- Розробити стартап проект сонячно-водневих та вітро-водневих систем виробництва водню в умовах міста Чорноморськ Одеської області

Об'єкт дослідження. Процеси перетворення енергії сонячного випромінювання та вітру в хімічну енергію водню.

Предмет дослідження. Технічні параметри сонячно-водневих та вітро-водневих систем реалізованих в умовах м. Чорноморськ Одеської області.

Методи дослідження. Наукові роботи про перетворення енергії відновлюваних джерел енергії в енергію водню, статистичні аналізи у середовищах Microsoft Office, моделювання в програмному забезпеченні SolidWorks, Revit, AutoCAD Architecture, AutoCAD, математичне моделювання та обрахунки у середовищі PVsyst.

Наукова новизна. Запропоновано підхід вибору кращого варіанту реалізації системи генерування “зеленого водню” для заданої площадки з урахуванням клімато-метеорологічних умов місцевості.

Практичне значення. Запропоновані схемні рішення вітро-водневої та сонячно-водневої для умов м. Чорноморськ Одеської області.

Ключові слова. Відновлювані джерела енергії, протообмінний електролізер, фотоелектрична станція, вітроелектрична станція, водень.

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВДЕ – відновлювані джерела енергії
ВЕС – вітроелектрична станція
ФЕС – фотоелектрична станція
ФЕМ – фотоелектричний модуль
СЕС – сонячна електростанція
PEM – протонно-обмінна мембрана (proton exchange membrane)
ХХ – холостий хід
КЗ – коротке замикання
ККД – коефіцієнт корисної дії
ПЕЛ – протонообмінний електролізер

ВСТУП

За останні роки Україна почала активно нарощувати потужності відновлюваних джерел енергії, а в подальшому, вже до 2050 року планується досягти рівня 70% частки ВДЕ від загального виробництва електроенергії. Це суттєво вплине на центральну енергомережу країни. Вже сьогодні відчутна проблема балансування енергосистем через нестачу буферних потужностей. Країни усього світу займаються розробками для вирішення цього питання. Однією з концепцій рішення цієї проблеми являється розвиток водневих технологій. Серед них слід відмітити розробку PEM електролізеру, головна перевага якого полягає у здатністі працювати у високодинамічних умовах, а також при частковому навантажені, або перенавантаженні. Це дозволить у деякій мірі опанувати стохастичний характер ВДЕ, розробляючи системи генерації “зеленого” водню в якості буферних потужностей, або в якості автономних виробництв. Згенерований газ також вважають екологічним паливом, що також являється передовою проблемою людства – знайти “чисту” альтернативу викопному паливу.

Головною перепоною у цьому стає висока вартість “зеленого” водню, тому такі технології підтримуються фінансуванням на державному рівні, про що свідчать багаточисленні програми. Прикладом є рішення ЄС про нарощування потужності генерації водню за рахунок ВДЕ у 40 ГВт. Також Євросоюз планує надати фінансову підтримку Україні для встановлення систем генерації водню сумарною потужністю до 10 ГВт. Тому слід провести техніко-економічний аналіз доцільності розширення використання потенціалу ВДЕ за рахунок виробітку водню та кисню, що і було зроблено у даній дисертації на прикладі проекту автономної системи виробництва водню.

РОЗДІЛ 1
СУЧАСНИЙ СТАН СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Стан і перспективи розвитку сонячної енергетики

1.1.1. Поняття сонячної енергетики

Сонячна енергія є одним з основних джерел енергії, на якому базується існування всього життя на Землі. На поверхню планети постійно надходить $174 \cdot 10^9$ МВт сонячного випромінювання, близько 20% поглинаються або відбиваються атмосферою. Половина енергії, що доходить до поверхні представлена у вигляді видимого світла, а інша половина – у вигляді інфрачервоного випромінювання і лише незначна частина в ультрафіолетовому спектрі. Енергія сонячного випромінювання отримана протягом 1 год всією поверхнею планети є достатньою для забезпечення всіх потреб людства протягом року. Завдання людства – освоїти і ефективно використовувати цей потенціал. Наразі, в світі використовують сонячну енергію в таких напрямках:

- Виробництво електроенергії за допомогою фотоелектричних модулів
- Виробництво електроенергії за допомогою теплодинамічних електростанцій
- Часткове або повне теплопостачання та кондиціювання.
- Накопичення сонячної енергії в хімічних речовинах чи фізичних або електрохімічних акумуляторах електроенергії.

В даній роботі буде розглянуто можливість використання енергії сонячного випромінювання для виробництва “зеленого водню” як ефективного та зручного енергоресурсу.

1.1.2. Стан сонячної енергетики в світі

Перший кремнієвий фотоелектричний модуль був розроблений в 1954 році в США, і мав ефективність 4%. З тих часів коефіцієнт корисної дії фотомодулів постійно підвищувався, а собівартість їх виробництва знижувалася. На рис. 1.1 наведено графік зміни вартості кремнієвого фотомодуля потужністю 1 Ват з 2010 по 2020 рік.

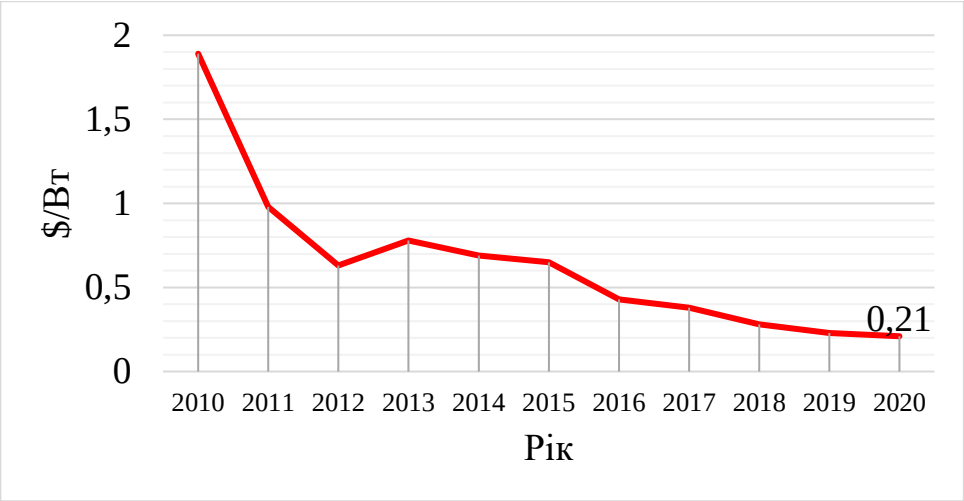


Рисунок 1.1 – Графік зміни вартості кремнієвого фотоелектричного модуля

На сьогоднішній день фотоенергетика є однією з найдешевших галузей виробництва електричної енергії, а вартість готових фотоелектричних станцій становить менше 700$ за 1 кВт встановленої потужності.

В 2019 році майже 75% всіх нових електростанцій працюють на відновлюваних джерелах енергії, більша частина з яких – фотоелектростанції. На рис. 1.2 наведено графік співвідношення типів електростанцій з 2001 по 2019.

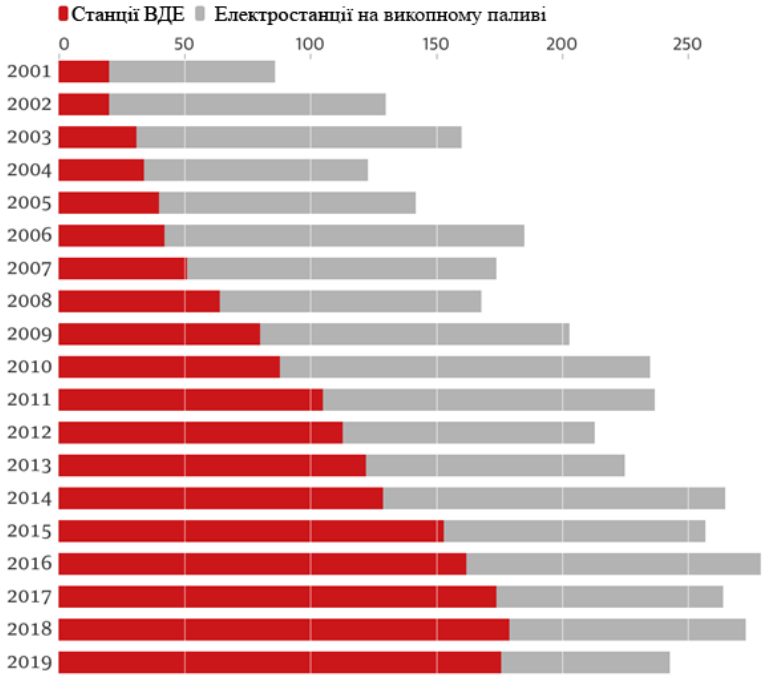


Рисунок 1.2 – Співвідношення типів введених в експлуатацію нових електростанцій

Якщо виокремити фотоенергетику, то 2019 рік став найуспішнішим роком, зростання ринку сонячної енергетики в Європі становило понад 200% і було інстальовано 16,7 ГВт новий електростанцій (для порівняння, 8,2 ГВт було встановлено в 2018 році).

З 1992 року галузь фотоелектричної енергії розвивалася в геометричній прогресії і перетворилася з нішового сегменту енергетики до одного з основних джерел енергії. Станом на 2019 рік було встановлено 116,9 ГВт нових фотоелектричних станції, і загальна встановлена потужність перевищила 600 ГВт. [31] Ці показники наочно показують поточний стан ринку фотоелектричної енергії і показує позитивні тенденції в майбутньому (рис.1.3).

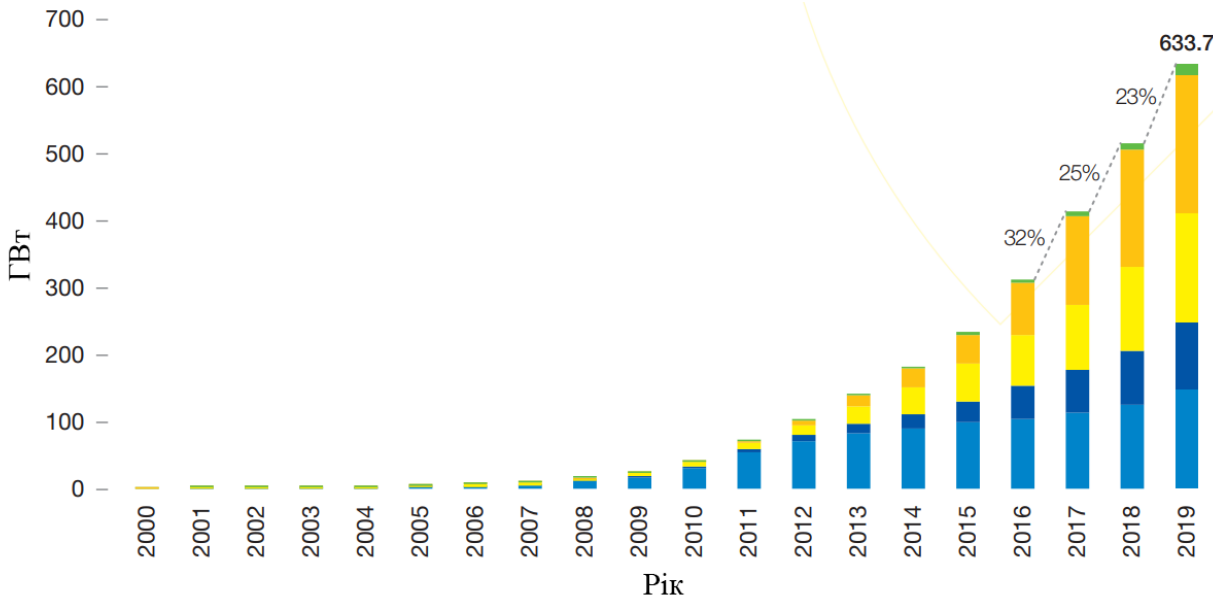


Рисунок 1.3 – Графік зростання загальної встановленої потужності фотоелектростанцій у світі.

1.1.3. Стан сонячної енергетики в Україні

У 2011 році 90% електроенергії в Україні було вироблено ядерними та вугільними електростанціями. Щоб зменшити залежність від викопних видів палив в Україні прийнято закон про зелений тариф на виробництво електроенергії від ВДЕ, який був одним із найвищих у світі - 5,0509 грн (0,46 євро) за кВт·год. Однак високий зелений тариф на виробництво електроенергії створює ризик короткочасного буму на установки з ВДЕ з

подальшим занепадом, застоєм ринку, особливо коли вони залишаються незмінними, як це було в Іспанії.

Уряд оголосив у законі про зелені аукціони, прийнятому в квітні 2019 року, що подача тарифів буде замінена системою квот на основі аукціону, що набуває чинності в 2020 році для всіх сонячних фотоелектричних систем понад 1 МВт, що при ефективному застосуванні може сприяти більшому та стійкому розвитку сонячної енергетики в країні. Домогосподарства до 2020 року все ще зможуть отримати зелений тариф для систем розміром до 50 кВт, які можуть бути сонячними системами на даху або наземними.

Сонячна енергетика для України вважається відносно новою галуззю електроенергетики України, що стрімко розвивається. Станом на перший квартал 2020 року вже встановлено СЕС загальною потужністю 4925 МВт (без урахування близько 407,9 МВт, що перебувають на окупованій території), які генерують близько 1,265 млрд кВт-год електроенергії. На момент 2019 року частка СЕС складає 1,65% від загальної генерації України, або 52% від усіх ВДЕ країни.

В 2019 році в Україні було встановлено більше фотоелектричних станцій ніж за всі роки до цього разом взятих, що видно за табл 1.1. Завдяки великій незанятій площі та високому рівню сонячної інсоляції, Україна є одним з перспективних регіонів розвитку даного напряму енергетики.

Таблиця 1.1 – Встановлена потужність фотоенергетики в Україні

Рік	Встановлено (МВт)	Різниця із попереднім роком (МВт)	Генерація (млд кВт-год)
2010	3	3	n.a.
2011	196	193	n.a.
2012	326	130	n.a.
2013	616	290	563
2014	411	71	485
2015	432	20	475
2016	568	99	492
2017	742	245	715
2018	1388	716	1101
2019	4925	3537	2412

З 15 лютого 2019 року у Вінниці компанія Kness Group запустила завод з виробництва сонячних панелей. На момент запуску на заводі працюють 120 осіб. Потужність першої черги сягатиме 200 МВт панелей на рік.

Щодо географічного розташування України – вона має високий потенціал для проектування та введення в експлуатацію ФЕС. Клімат характерний великою кількістю сонячних днів. Річне надходження сонячного випромінювання перебуває на рівні передових країн світу таких як: Швеція, Німеччина, США та інші. Показники сонячного випромінювання взяті з баз даних Solargis та зображені на рис. 1.4 [1].

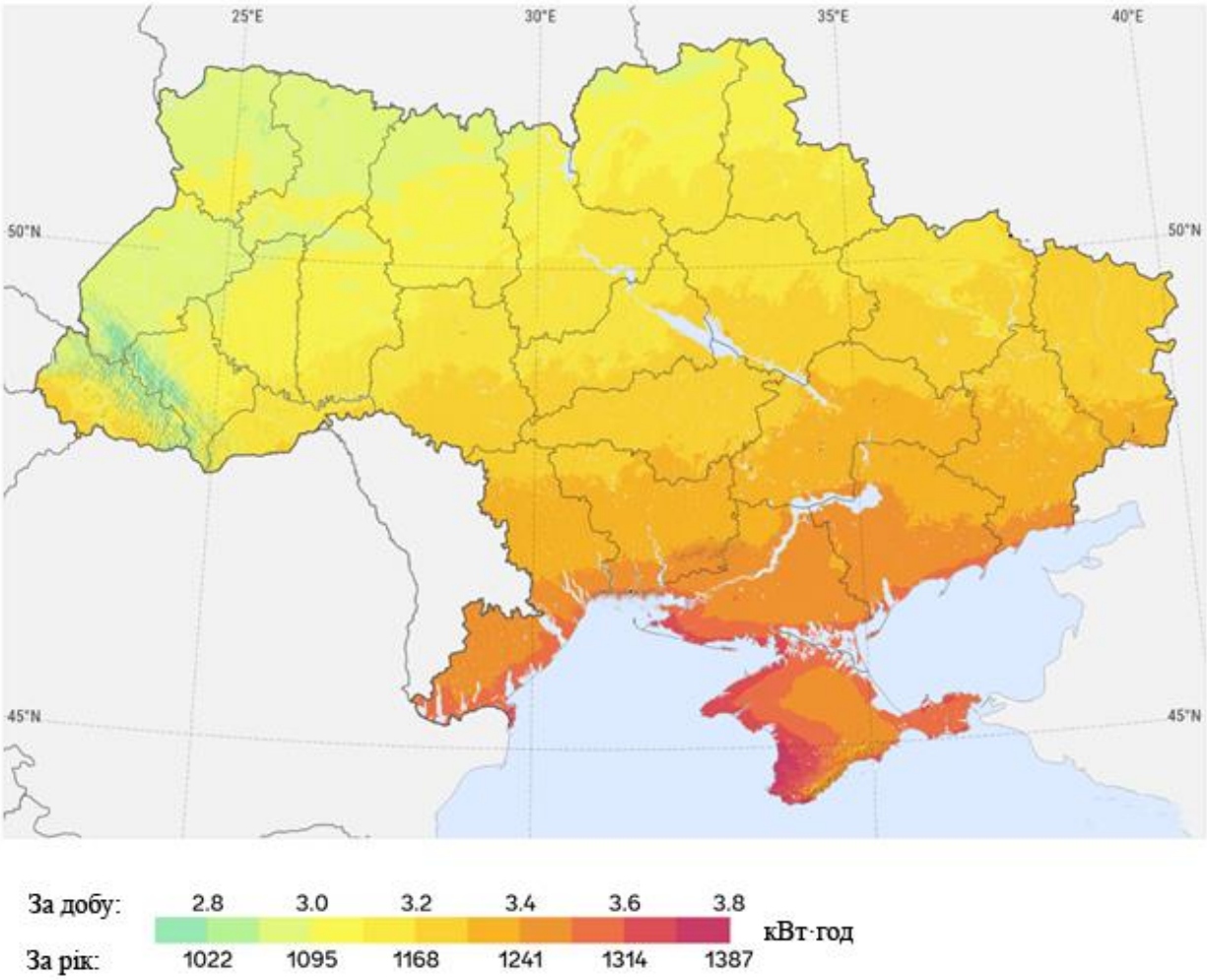


Рисунок 1.4 - Карта сонячної інсоляції по території України

При цьому СЕС європейських країн генерують значно більше електричної енергії, ніж в Україні, що вказує на великі перспективи розвитку сонячної енергетики в нашій країні.

Ще однією перевагою України прийнято вважати той факт, що при високому рівні інсоляції температурний режим можна віднести до помірного. І це має позитивний момент, адже при підвищених температурах обсяг генерації електричної енергії знижується через нагрівання сонячного модуля. В середньому втрати енергії становлять приблизно 5% при відхилені температури панелі на 10 градусів від норми (починаючи з 20 – 25 градусів).

1.1.4. Перспективи сонячної енергетики

Розвиток сонячної енергетики продовжує набирати оберти. Сотні науково-технічних інститутів продовжують свою роботу над збільшенням ефективності перетворення сонячної енергії та зниження собівартості фотоелектричного обладнання. Окремо можна зазначити, що найвищий показник коефіцієнту корисної дії станом на початок 2020 року складає 47,7 %. Промислові зразки вийшли на стабільний показник у 21,5 %. Ціни на нові фотоелектричні модулі також продовжують знижуватися зростання конкуренції серед виробників фотомодулів. Окрім цього, вчені досліджують різноманітні матеріали, конструкції комірок, будову модуля, ефективне керування, зниження втрат при затіненні, усунення гарячих точок, застосування концентраційних лінз, лінз Френеля та багато іншого. Наразі найвищий теоретичний показник ефективності може становити 86,7 %.

В перспективі сектор зможе забезпечувати більшу частину потреб людства вже в 2060-му, відкинувши традиційну енергетику далеко на задній план. При збереженні існуючої динаміки щорічного приросту потужностей СЕС на 20-25%, вже до кінця 2100 року обсяги виробленої ними енергії в 3-4 рази перевищать можливості вугільної і нафтової енергетики, а атомної – більше, ніж в 6 разів.

Уряди в більшості країн світу визнають сонячну енергію економічно вигідною і ставлять амбітні цілі щодо збільшення її виробництва.

1.1.5. Негативні фактори сонячної енергетики

Використання ресурсів

Відомий негативний вплив енергетичних виробництв на навколишнє середовище. Наприклад, теплові електростанції спалюють в котлах цінну викопну сировину - вугілля, нафту, газ - які протягом мільярда років накопичувалися в надрах Землі в результаті складних процесів. Знищення цих запасів є злочином перед майбутніми поколіннями.

У разі використання сонячних електростанцій є малий вплив на навколишнє середовище під час експлуатації і великий вплив на етапі створення системи.

Потенційні можливості енергетики, заснованої на безпосередньому використанні сонячного випромінювання, надзвичайно великі.

Зауважимо, що використання всього лише 0,0125% кількості енергії Сонця могло б забезпечити всі сьогоднішні потреби світової енергетики, а використання 0,5% - повністю покрити потреби на перспективу.

Сонячна енергетика відноситься до найбільш матеріаломістких видів виробництва енергії, що видно на рис. 1.5. Великомасштабне використання сонячної енергії спричиняє гігантське збільшення потреби в матеріалах, а отже, і в трудових ресурсах для видобутку сировини, її збагачення, отримання матеріалів, виготовлення геліостатів, колекторів, іншої апаратури, їх перевезення. Підрахунки показують, що для виробництва 1 МВт•год електричної енергії за допомогою сонячної енергетики буде потрібно затратити від 10 000 до 40 000 людино-годин. У традиційній енергетиці на органічному паливі цей показник становить 200-500 людино-годин.

У 2016 році Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (IRENA) оцінило обсяг відходів від сонячних панелей в 250 тис. тон. На думку експертів агентства, до 2050 року ця цифра може досягти 78 млн тон. Сонячні панелі нерідко містять свинець, кадмій і інші токсичні елементи, які неможливо видалити, якщо не демонтувати саму панель. Основна проблема сонячних відходів в тому, що їх занадто багато. Для СЕС потрібні сотні тисяч фотоелектричних панелей, і через фізичні причини ця ситуація в доступному для огляду майбутньому не зміниться. Переробка потоку зі скла, свинцю,

кадмію вимагає узгоджених дій на міжнародному, національному та місцевому рівнях.

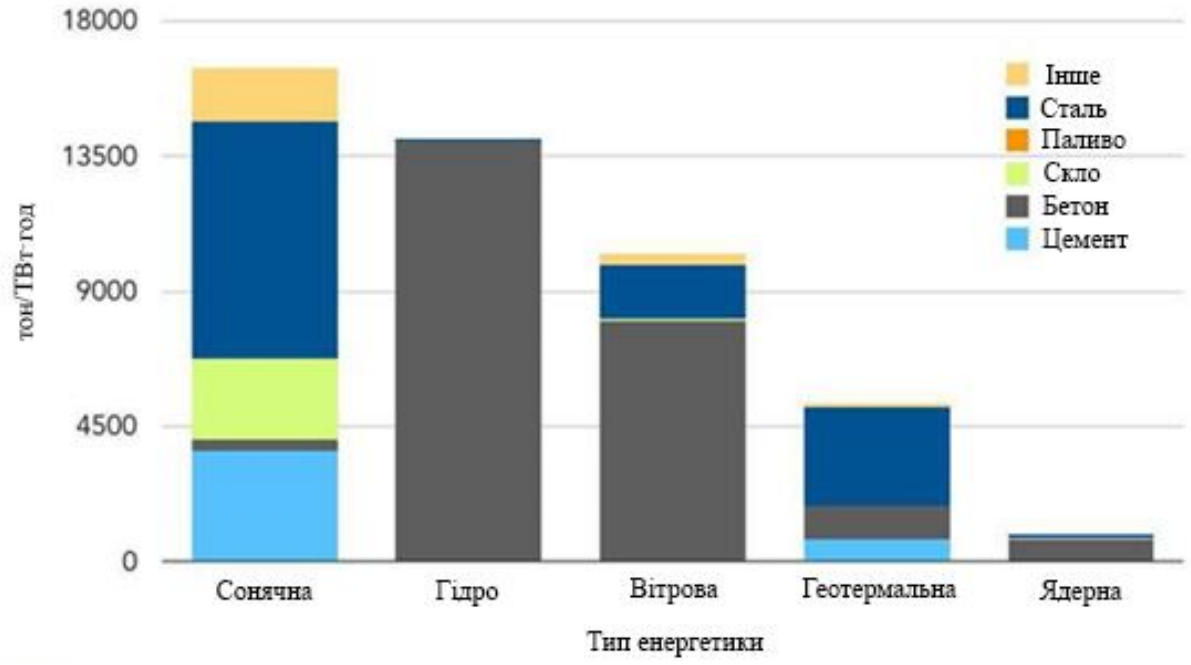


Рисунок 1.5 – Потреба різних галузей енергетики в забезпеченні матеріалами

Робота з енергомережою

Переважна більшість виробленої в усьому світі електроенергії використовується негайно, оскільки зберігання зазвичай дорожче і тому, що традиційні генератори можуть адаптуватися до попиту. І сонячна енергія, і енергія вітру є змінною відновлюваною енергією, це означає, що всю наявну потужність потрібно використовувати одразу, коли вона є в наявності. Оскільки сонячна енергія недоступна вночі, її зберігання може бути важливою проблемою, особливо в умовах автономного режиму споживання та для майбутніх сценаріїв використання відновлюваної енергії, щоб мати постійну доступність електроенергії.

Залежно від місцевих обставин, та при понад 20–40% загальної генерації, переривчасті джерела, пов'язані з мережею, такі як сонячна енергетика, вимагають інвестицій у певну комбінацію мережевих з'єднань, зберігання енергії або управління попитом. Загальні технології акумуляторів, що

застосовуються в сучасних домашніх фотовольтаїчних системах, включають свинцево-кислотні акумулятори, нікель-кадмієві та літій-іонні акумулятори. Виготовлення та утилізація значних об'ємів акумуляторів є досить великою екологічною проблемою та потребує окремого розгляду.

Також проводяться дослідження в галузі штучного фотосинтезу. Він передбачає використання нанотехнологій для зберігання сонячної електромагнітної енергії в хімічних зв'язках шляхом розщеплення води для отримання водневого палива або потім поєднання з вуглекислим газом для отримання біополімерів, таких як метанол.

Фактори впливу на навколишнє середовище

На відміну від технологій на основі викопного палива, сонячна енергія не призводить до шкідливих викидів під час роботи, але виробництво панелей призводить до певних забруднень.

- ***Парникові гази***

Емісія викидів парникових газів сонячної енергії знаходиться в діапазоні від 22 до 46 грам (г) на кіловат-годину (кВт•год) залежно від того, який тип сонячної електростанції розглядається. В майбутньому це значення може зменшитися до 15 г/кВт•год. Для порівняння електростанція комбінованого циклу, що працює на газовій енергії, випромінює приблизно 400–599 г/кВт•год, електростанція на мазуті 893 г/кВт•год, електростанція на вугіллі 915–994 г/кВт•год або із захопленням і зберіганням вуглецю близько 200 г/кВт•год, та геотермальна електростанція 91–122 г/кВт•год. Як і у всіх джерелах енергії, де їх загальні викиди у життєвому циклі головним чином лежить у фазі будівництва та транспортування, перехід на низьковуглецеву енергію у виробництві та транспортуванні сонячних пристроїв ще більше зменшить викиди вуглецю.

- ***Окупність енергії***

Час окупності енергії енергогенеруючої системи - це час, необхідний для вироблення кількості енергії, скільки витрачається під час виробничої та експлуатаційної роботи системи. Завдяки вдосконаленню виробничих

технологій час окупності постійно зменшується з моменту впровадження фотоелектричних систем на енергетичному ринку. У 2000 р. Термін окупності енергоресурсів для фотовольтаїчних систем оцінювався як 8 - 11 років, а в 2013 р. цей показник знизився до 0,75–3,5 років у 2013 році.

- ***Використання води***

Сонячна енергетика включає електростанції з найнижчим рівнем споживанням води на одиницю електроенергії (фотоелектричні), а також електростанції з найвищим рівнем споживанням води.

Фотоелектричні електростанції використовують дуже мало води для роботи. Оцінюється витрата води на життєвий цикл для експлуатаційних послуг в масштабах 45 літрів на мегават-годину для пласких сонячних батарей. Тільки енергія вітру, яка фактично не споживає воду під час роботи, має меншу інтенсивність споживання води.

Концентруючі сонячні електростанції, з іншого боку, мають найбільшу інтенсивність споживання води; більш високі показники інтенсивності води можуть мати лише установки з викопним паливом із захопленням та зберіганням вуглецю. Питання споживання води посилюється через те, що концентруючі сонячні електростанції часто розташовані в посушливих середовищах, де води не вистачає.

- ***Використання токсичних елементів***

Одне питання, яке часто викликає занепокоєння, - це використання кадмію (Cd), токсичного важкого металу, який має тенденцію накопичуватися в екологічних харчових ланцюгах. Він використовується як напівпровідниковий компонент у сонячних елементах. Кількість кадмію, що використовується у тонкоплівкових сонячних батареях, порівняно невелика (5–10 г / м²), і при правильній техніці утилізації та контролю викидів на місці від виробництва модулів може бути майже нульовим. Сучасні технології фотомодулів призводять до викидів кадмію 0,3–0,9 мкг/кВт/год протягом усього життєвого циклу. Більшість цих викидів виникає завдяки

використанню вугілля для виготовлення модулів, а спалювання вугілля та лігніту призводить до набагато вищих викидів кадмію.

У випадку кристалічних кремнієвих модулів матеріал припою, який з'єднує мідні нитки комірок, містить приблизно 36 відсотків свинцю (Pb). Більше того, паста, яка використовується для монтажу переднього та заднього контактів, містить сліди Pb, а іноді й Cd. За оцінками, близько 100 тонн Pb необхідно використати для 100 ГВт сонячних модулів. Однак принципової потреби в свинцю в сплаві припою немає.

Концентровані сонячні електростанції можуть травмувати чи призводити до гибелі великої кількісті птахів через сильну спеку від концентрованих сонячних променів. Цей несприятливий вплив не поширюється на сонячні електростанції з фотомодулями.

1.2. Стан і перспективи розвитку вітроенергетики

1.2.1. Поняття вітроенергетики

Вітрові потоки утворюються в результаті нерівномірного нагрівання поверхні Землі Сонцем. Вони можуть бути використані для приведення в рух вітрових турбін. Принцип дії всіх вітроустановок полягає в тому, що: під натиском вітру обертається вітроколесо з лопатями, яке передає крутний момент через систему передач валу генератора, що виробляє електроенергію. Реальний ККД найкращих вітрових коліс досягає 45 % у разі стійкої роботи при оптимальній швидкості вітру.

Вітроенергетика — галузь альтернативної енергетики, яка спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії вітру у електричну, або механічну. Вітрова енергія є стійкою та поновлюваною енергією і має значно менший вплив на навколишнє середовище порівняно з спалюванням викопного палива. Вітроелектростанції складаються з двох і більше вітрогенераторів, які підключені до мережі передачі електроенергії.

Вітер як джерело енергії є непрямою формою сонячної енергії, і тому належить до відновлюваних джерел енергії. Використання енергії вітру є одним із найдавніших відомих способів використання енергії із

навколишнього середовища. Наземний вітер – це недороге джерело електроенергії, конкурентоздатне або в багатьох місцях дешевше вугільних або газових установок. Морський вітер стійкіший і сильніший, а офшорні ферми мають менший вплив на навколишнє середовище, але витрати на будівництво та обслуговування вищі.

1.2.2. Розвиток вітроенергетики

Енергію вітру людина використовує з прадавніх часів. Спочатку в мореплаванні використовуючи вітрила. Далі в якості простих вітродвигунів в глибокій старовині в Єгипті та Китаї. Станом на сьогодні збереглися залишки кам'яних вітряних млинів.

Наступним досягненням людства було створення досконаліших конструкції (7 столітті н.е. в Персії). Вони мали крильчасті лопоті з горизонтальною віссю обертання. Дещо пізніше вітряні млини поширились і в Західній Європі. У 13 столітті почали застосовувати вітродвигуни для підйому води, приводу верстатів і механізмів.

Млини на козлах, так звані німецькі млини, були до середини XVI століття єдиними. Сильні бурі могли перекинути такий млин разом із станиною. Вдосконалені млини отримали назву шатрових.

У XVI столітті в містах Європи починають будувати водонасосні станції з використанням гідродвигуна і вітряка.

У Нідерландах численні вітряки відкачували воду з земель, огороджених дамбами. Відвойовані у моря землі використовувалися в сільському господарстві. У посушливих областях Європи вітряки застосовувалися для зрошення полів.

Перша вітряна електростанція - «млин» Блайта з діаметром вітроколеса 9 метрів - була побудована в 1887 році на дачі Блайта в Мерікірке (Великобританія). Однак технологію Блайт визнали економічно нежиттєздатною і наступна вітроелектростанція з'явилася у Великобританії тільки в 1951 році. Перша автоматично керована вітряна установка

американця Чарльза Браша з'явилася в 1888 році і мала діаметр ротора 17 метрів.

У Данії в 1890 році була побудована перша вітроелектростанція, а до 1908 року налічувалося вже 72 станції потужністю від 5 до 25 кВт.

Попередниця сучасних вітроелектростанцій з горизонтальною віссю мала потужність 100 кВт і була побудована в 1931 році в Ялті. До 1941 року одинична потужність вітроелектростанцій досягла 1,25 МВт.

У період з 1940-х по 1970-і роки вітроенергетика переживає період занепаду в зв'язку з інтенсивним розвитком передавальних і розподільних мереж, що давали незалежне від погоди енергопостачання за помірні гроші.

Відродження інтересу до вітроенергетики почалося в 1970-х після нафтової кризи 1973 року. Криза продемонструвала залежність багатьох країн від імпорту нафти і призвела до пошуку варіантів зниження цієї залежності. В середині 1970-х в Данії почалися випробування попередників сучасних вітрогенераторів. Пізніше чорнобильська катастрофа також стимулювала інтерес до відновлюваних джерел енергії. Каліфорнія здійснила одну з перших програм стимулювання вітроенергетики, почавши надання податкових пільг для виробників електроенергії з вітру.

1.2.3. Стан вітроенергетики

Світовий ринок розширився майже на 19% у 2019 році та показав високий приріст потужності вітрових станцій, що складає близько 60 ГВт. Серед них 54 ГВт наземних станцій та 6 ГВт офшорних вітроагрегатів. Це було друге найбільше щорічне збільшення потужності в історії (у 2015 році було встановлено 63,8 ГВт) Загальна потужність збільшилася майже на 10% та досягла відмітки у 650 ГВт. Тенденцію росту за останні 10 років видно на рис. 1.6 [32].

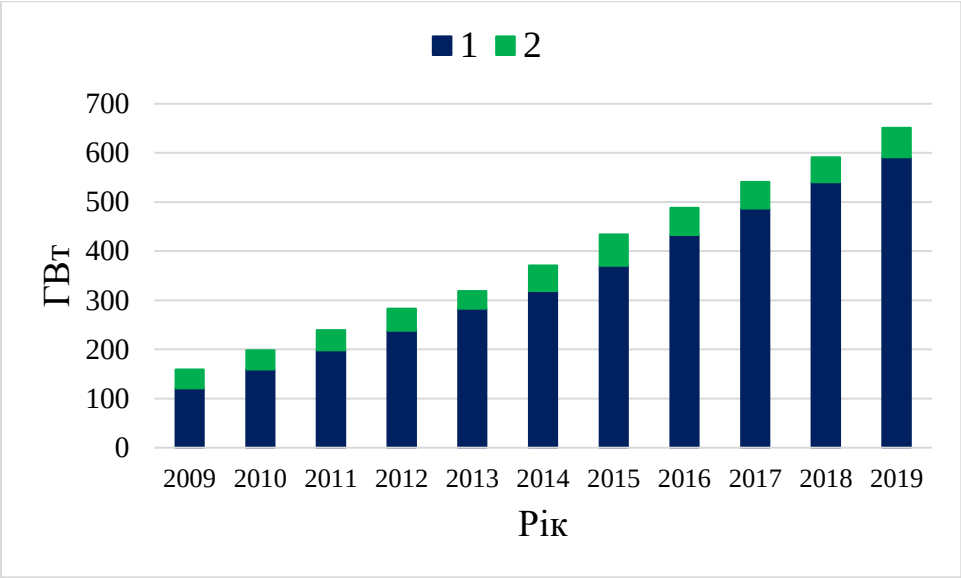


Рисунок 1.6 – Приріст встановленої потужності ВЕС: 1 – встановлена потужність минулих років; 2 – встановлена потужність за останній рік

Значне зростання у більшій мірі обумовлено нарощуванням потужностей у США, Китаї та Європі, проте вже більше 34 країн світу досягли рівня встановленої потужності ВЕУ понад 1 ГВт, а загальна кількість країн, що мають відчутний відсоток ВЕС у своїй енергосистемі, перевищила 100. Серед них країни Африки, Латинської Америки та Південно-Східної Азії.

Щорічне зниження цін на кВт встановленої потужності ВЕС зробило їх ще більш конкурентоспроможними в порівнянні з електростанціями, що працюють на традиційному викопному паливі.

Енергія вітру забезпечує значну частку електроенергії у зростаючій кількості країн. У 2019 році енергії вітру вироблено достатньо, щоб забезпечити приблизно 15% річного споживання електроенергії ЄС. Одним з прикладів слугує Данія, яку енергія вітру задовольнила приблизно на 47% від усіх потреб в електроенергії. Серед інших країн, що перетнули відмітку 20%, модна відмітити Ірландію (32%), Португалію (26,4%), Німеччину (21,8%) та Іспанію (20,9%). Загалом потужності вітроенергетики, що працює у всьому світі, було достатньо, щоб забезпечити 5,9% від загального світових потреб у електроенергії.

Щодо України вітроенергетика представлена лише декількома лідируючими областями зі сумарною встановленою потужністю понад

900 МВт. Серед них лідируюче місце займає Запарізька область, наступною йде Херсонська, а замикає трійку лідерів Миколаївська. Також серед перспективних областей можна відмітити приморську ділянку Одеської області. Загалом з картою вітрів, а відповідно і потенціалом вітроенергетики можна ознайомитись на рис. 1.7 та 1.8 [33].

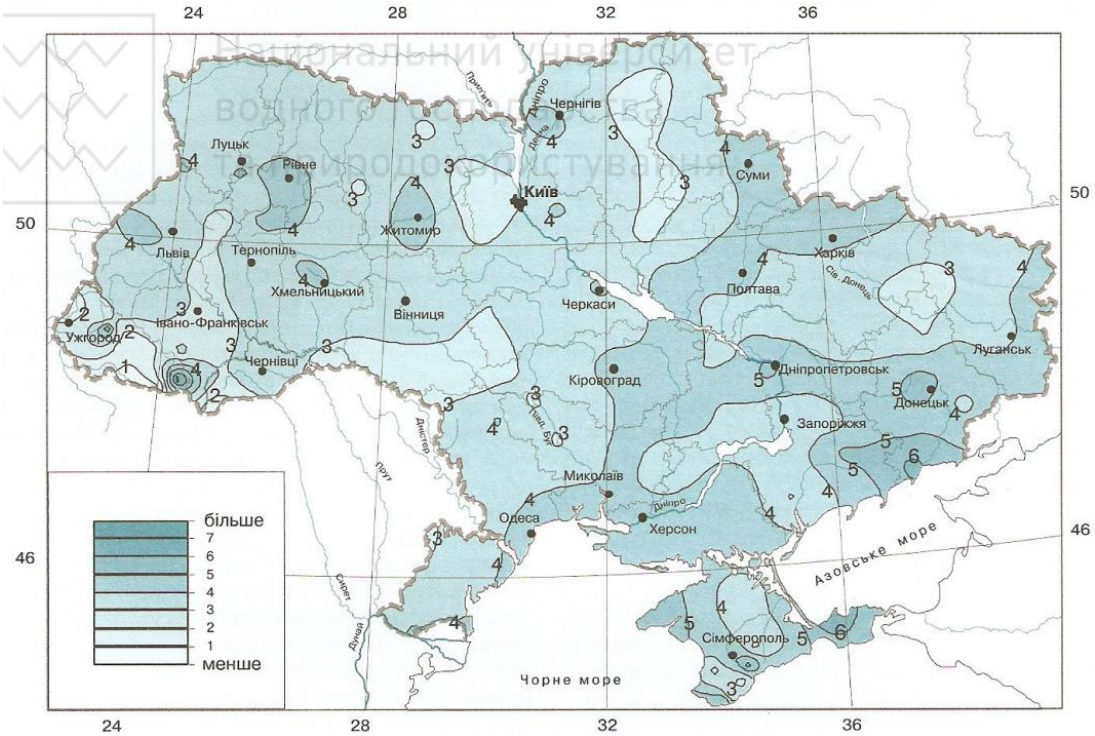


Рисунок 1.7 – Середня швидкість вітру в січні(м/с).

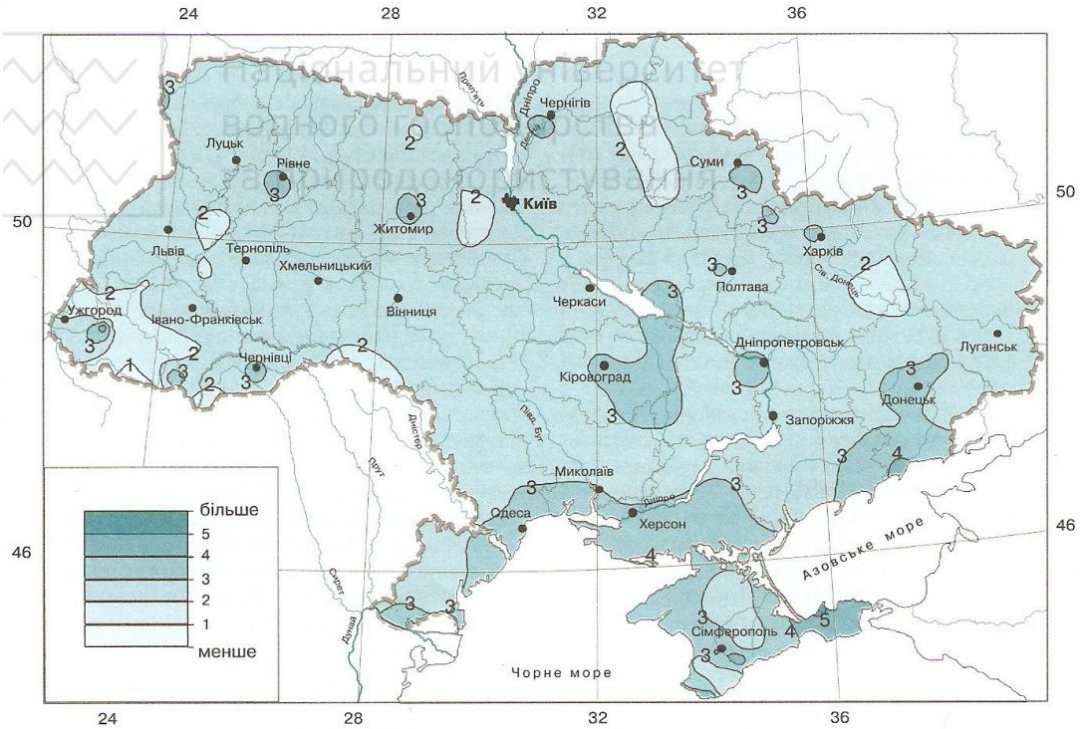


Рисунок 1.8 – Середня швидкість вітру в січні(м/с).

1.2.4. Перспективи вітроенергетики

Прогноз світового ринку вітроенергетики щороку зростає і сьогодні складає в середньому 4 відсотка. Протягом наступних п'яти років очікується встановлення нових ВЕС потужністю понад 355 ГВт. Це понад 71 ГВт нових установок щороку до 2024 року.

Підтримуюча політика ще досі відіграє ключову роль для забезпечення розвитку вітроенергетики. Вона знаходить своє відображення у аукціонах, зеленому тарифі та тендерних програмам і це, як і раніше є головним рушієм для будівництва ВЕУ. Проте з кожним роком вітроенергетика наближається до відмітки, коли зможе на рівних конкурувати з електростанціями на традиційному викопному паливі. А щоб запобігти нагромадженню ВЕУ на територіях земельних угідь різного призначення, планується збільшувати потужності за рахунок ВЕС офшорного типу, що знаходить своє відображення у прогнозі на рис. 1.9 [25].

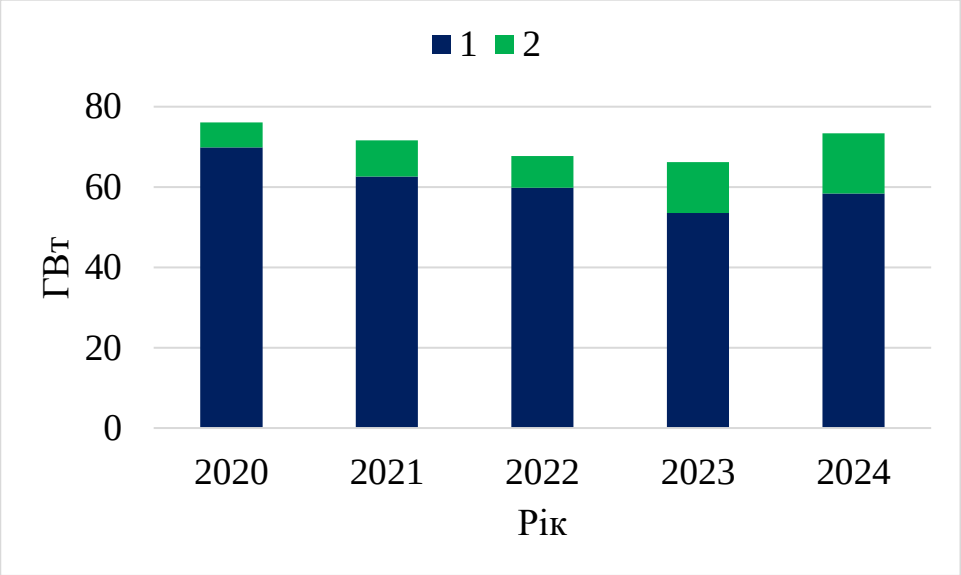


Рисунок 1.9 – Прогнозування приросту встановленої потужності ВЕС: 1 – наземного типу; 2 – офшорного типу.

1.2.5. Фактори впливу ВЕС на навколишнє середовище

Негативні фактори

- ***Ерозія ґрунту.***

Це явище може виникнути при руйнуванні верхнього ґрунтового шару при спорудженні фундаменту ВЕУ, проведенні будівельно-монтажних робіт, будівництві доріг. Особливо це значимо для території пустелі і тундри. У цих районах руйнування верхнього твердого покриву може привести до деградації поверхні на значній площі. При проектуванні ВЕС слід проводити оцінку небезпеки ерозії ґрунту і за наявності такої необхідно передбачати відповідні заходи, в тому числі застосування спеціальної техніки, спеціальні способи прокладки доріг і т.п.

- ***Загроза загибелі птахів.***

Найчастіше найбільшу кількість питань викликає вплив вітропарків на орнітофауну. Дійсно, вітрові електростанції, як вертикальні структури з рухомими елементами, представляють певний ризик для птахів. В якості основних факторів впливу ВЕУ на орнітофауну можна виділити: фізичний вплив ВЕУ при зіткненні з турбінами, лопатями і вежами; порушення середовища проживання; порушення маршруту міграції птахів.

За результатами численних досліджень, проведених за завданням Американської та Європейської вітроенергетичних асоціацій зроблено наступний глобальний висновок – незалежно від майбутнього розвитку вітроенергетики загибель птахів від вітроустановок не досягне 1% від інших джерел людської життєдіяльності, таких як мисливці, домашні кішки, висотні будівлі, автомобілі, лінії електропередачі, телевежі і щогли для зв'язку, пестициди.

- ***Загроза загибелі тварин.***

У зв'язку з відсутністю низькочастотних складових шуму від сучасних вітроустановок, загроза життю тварин відсутня. Звичайна картина для вітростанцій Європи – домашні тварини спокійно пасуться між вітроустановок. На території вітростанцій добре почуваються гризуни і койоти.

- ***Загроза загибелі людей.***

В якості потенційної небезпеки, що загрожує загибеллю людям, є відрив лопатей і падіння башти. Хоча зафіксовані й інші випадки. Так, за весь час

існування вітроенергетики від вітроустановок загинула одна людина в Німеччині. Це був парашутист, якого вітром занесло в зону працюючих вітроустановок. Таким чином на відміну від усіх інших видів електростанцій, на яких загибель людей явище нерідке, вітростанції не являють серйозної загрози для людей навіть в екстремальних умовах: шторм, землетрус, повінь тощо.

- ***Шум.***

Акустичний і звуковий супровід роботи вітроенергетичних установок є головним негативним фактором ВЕС. Основні джерела акустичного шуму ВЕУ – гондола, маточина вітроколеса, лопаті і башта (щогла). Результати вимірювань рівнів шуму, випромінюваного різними частинами ВЕУ, показують їх відносну значимість: гондола – 55, маточина – 47, лопаті – 49, вежа – 29 дБ.

Найбільш сучасні вітроустановки не мають мультиплікатора, в конструкціях їх гондол використовуються ефективні звукоізолюючі і звукопоглинаючі матеріали. Основною складовою шуму таких ВЕУ є аеродинамічний шум, вироблений лопатями вітроустановок.

- ***Вплив на роботу радіо, локаційних і телевізійних пристроїв.***

Лопаті перших вітроагрегатів виконувалися з металу або дерева. Металеві лопаті відбивають радіо- і телевізійні сигнали, а дерев'яні – поглинають їх. Зі зростанням потужностей і розмірів ВЕУ їх лопаті майже повсюдно виконуються із скловолокна, без будь-яких металевих включень, і тому вони напівпрозорі для теле- і радіосигналів. З подальшим збільшенням розмірів та потужностей ВЕУ до I МВт і більше для захисту лопатей від ударів блискавки всередині лопатей стали закладатися алюмінієві провідники досить значного перетину. Такі лопаті стають свого роду дзеркалами для перехожих радіо- і телесигналів.

Перешкоди, викликані відображенням електромагнітних хвиль лопатями вітрових турбін, можуть позначатися на якості телевізійних і мікрохвильових радіопередач, а також на роботі різних навігаційних систем у

районі розміщення вітрового парку ВЕС на відстані декількох кілометрів. Також ВЕУ стає перешкодою для сигналів військових радарів.

- ***Перешкоди повітряному транспорту.***

Можна відзначити два аспекти впливу ВЕУ на роботу повітряного транспорту:

– ВЕУ є перешкодою повітряному транспорту, аналогічно високим будівлям і спорудам;

– ВЕУ впливають на системи комунікації', навігації та спостереження, зокрема, на роботу РЛС, що використовуються в аеронавігації.

Перший з них викликає вимоги авіації до розміщення ВЕУ поблизу аеродромів, безпечній висоті польотів, оснащення ВЕУ маркованими і сигналізуючими пристроями та нанесення ВЕУ на карти; другий накладає вимоги до безпечного розміщення ВЕУ щодо РЛС.

Позитивні фактори

Також слід відзначити ті фактори впливу вітроенергетичних установок на навколишнє середовище, які забезпечують екологічні переваги вітроенергетики в порівнянні з традиційними джерелами і методами виробництва електроенергії.

- ***Наявність викидів вуглекислого газу, шкідливих газів (NO, SO,) твердих речовин і важких металів.***

Кількісна оцінка запобігання шкідливих викидів від теплової енергетики завдяки виробленню електроенергії на ВЕС може бути виконана за даними конкретної електростанції в зоні будівництва ВЕС.

Утворені будівельні відходи при спорудженні ВЕС включають: деревні відходи від підготовки території, забруднений ґрунт, відходи бетону в кусковій формі, відходи бітуму та асфальту, будівельний щебінь, що втратив споживчі властивості, брухт кольорових і чорних металів, залишки і огарки сталевих зварювальних електродів, відходи ізольованих проводів та кабелів, сміття від побутових приміщень, тара, та ін.

- ***Потреба у воді або економія водних ресурсів.***

Використання води – значна проблема у виробництві електричної і теплової енергії, особливо в місцях, де вода в дефіциті. Вода на вітроелектростанціях використовується в основному для промивки лопатей. Таким чином, споживання води на ВЕС в 475 разів менше ніж на АЕС, близько в 400 разів менше, ніж на вугільних станціях і у 275 разів менше, ніж станціях на газі.

На будівельному майданчику потенційними джерелами забруднення поверхневих і підземних вод можуть бути: виробничо-будівельні стічні води, забруднені зливові стоки і господарські побутові стічні води, що утворюються на будівельних майданчиках.

- ***Потреба в земельних ресурсах.***

Практично завжди є можливість для великих ВЕУ обирати землі, непридатні для господарської діяльності. Якщо ж під ВЕС займаються родючі землі, то вони можуть використовуватися для рослинництва і тваринництва. У цьому полягає докорінна відмінність землевідведення під ВЕС від землевідведення під теплові станції та гідростанції.

1.3. Висновки до розділу

Встановлена потужність об’єктів відновлюваної енергетики постійно зростає незважаючи на свій стохастичний характер генерації електроенергії. Здебільшого за рахунок сонячних та вітрових електростанцій. На сьогоднішній день вона складає понад 8% загального балансу системи.

Враховуючи великий енергетичний потенціал ВДЕ в Україні головним завданням є збереження, а по можливості і збільшення темпів приросту об’єктів відновлюваної енергетики за умови мінімального впливу на об’єднану енергосистему, що можливо досягнути впровадженням нових технічних рішень водневим акумулюванням енергії.

РОЗДІЛ 2

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ

2.1. Поняття та способи виробництва водню

Водень представляє собою найпоширеніший і найлегший у світі елемент, найпростіша речовина з нього представлена двома зв'язаними між собою його атомами з однойменною назвою – водень. Він за нормальних умов представлений у вигляді газу без кольору, запаху та смаку. Має високу масову теплотворну здатність.

Сьогодні водень отримують головним чином (90%) з викопних джерел. А одне з найголовніших завдань водневої енергетики - забезпечення компактного та безпечного зберігання водню на борту транспортного засобу, з метою подовжити інтервал між заправками.

На сьогоднішній день найбільшого поширення набули наступні способи:

- Парова конверсія метану і природного газу - метод, виробництва водню з вуглеводнів, наприклад, з метану, природного газу і біогазу
- Електроліз з біокаталізаторами - отримання водню внаслідок проходження сировини через мікробний паливний елемент, також можуть використовуватись різноманітні водні рослини
- Електроліз води - отримання водню електролізом пари за високого тиску або електролізом води за низького тиску.

Також існую інші способи, які були проведені в лабораторних умовах, або які знаходяться на стадії розробки. Найбільш перспективні серед них:

- Термохімічне виробництво - виробництво на основі термохімічних циклів для розкладання води.
- Електроліз за високих температур - отримання водню в процесі високотемпературного електролізу (HTE), що забезпечується енергією у вигляді тепла та електроенергії. Оскільки частина енергії в HTE - теплова, менша кількість енергії потребує подвійного перетворення (з тепла в електрику, а потім в хімічну форму), тому на виробництво кілограму водню витрачається менше енергії. Проте в

результаті цих процесів одержується низькоякісний «промисловий» водень, який є непридатним для використання в паливних елементах

Найбільш ефективною технологією генерації водню з використанням ВДЕ є електроліз на полімерній електролітній мембрані (PEM) - це електроліз води в комірці, оснащеною твердим полімерним електролітом (SPE), який відповідає за провідність протонів, розмежування газів і електричну ізоляцію електродів. Матеріалом анода слугує титан з іридієвим каталізатором. Катоди виготовляють з вуглецю та платиновим каталізатором. Мембрана представлена полімерним електролітом виготовленого з титану з покриттям золота та платини.

На анод надходить деіонізована вода, де розщеплюється на протони, електрони і газоподібний кисень. Протони проходять через мембрану, а електрони рухаються через зовнішнє електричне коло. На катоді протони й електрони з'єднуються, утворюючи спочатку атомарний, а потім і газоподібний водень (H_2). Принцип роботи зображено на рис. 2.1.

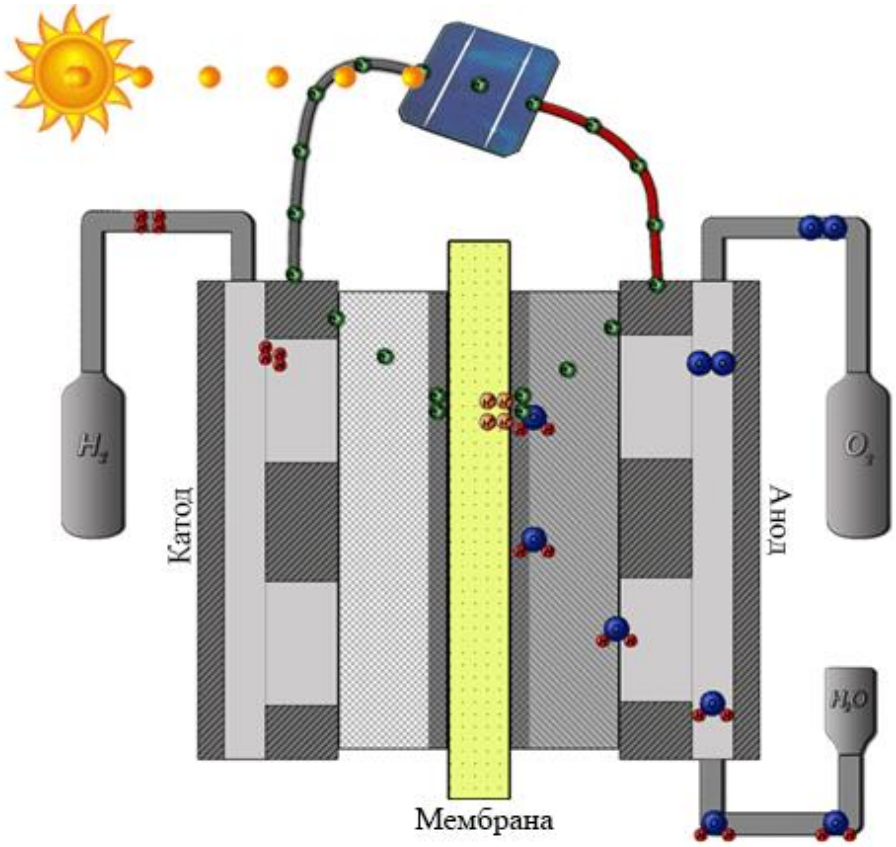


Рисунок 2.1 – Схема роботи PEM електролізеру

В залежності від викиду вуглекислого газу при виробництві водень поділяють на такі три типи:

- Зелений
- Сірий
- Синій

«Зелений» водень на 100% отримують за допомогою відновлюваних джерел енергії. Це означає, що енергія, яка необхідна для виробництва водню шляхом електролізу, отримана з нульовими викидами. Водень, що отримується з викопного палива з такими викидами, як CO_2, може називатися «сірим» або «коричневим» воднем. Якщо вуглекислий газ вловлюють, зберігають (у сховищі уловлювання вуглекислого газу) і використовують повторно, то водень часто називають «синім». На ціноутворення впливає спосіб, яким отримано водень.

2.2. Розвиток водневих технологій в якості енергоносія

Водень – наступний крок людства в енергетиці в якості енергоносія. Як було сказано раніше, він має високу теплотворну здатність за масою. Його можна використовувати в якості пального у транспортній сфері. Вже існує легковий транспорт, що приводиться у рух даним газом, а розробки прототипів літаків майже на стадії завершення. Також це чудовий відновник металів та джерело енергії в металургійній області. Він виступає сировиною для нафтопереробних заводів, хімічної та медичної промисловості тощо. Навіть у житлово-комунальній сфері його вже використовують як енергоносій для забезпечення потреб у тепловій та електричній енергії.

Висока вартість виробництва була і залишається перешкодою для більшого його розповсюдження у життєдіяльності людства. Крім того існує проблема складності зберігання та транспортування цього газу. Краще за все зберігати водень у рідкому стані, але велика ступінь проникнення через свої розміри ускладнює його стиснення, що знов-таки збільшує затрати електричної енергії. Проте технології генерацій, транспортування та

зберігання водню розвиваються з кожним роком. І їх вже активно почали застосовувати передові країни світу, такі як Німеччина, Австрія, Нідерланди, Велика Британія та інші. На сьогоднішній день гостро стоїть питання глобального забруднення планети, тому їх особлива увага звернена саме на “зелений” водень, що, вважають перспективним рішенням цього питання. Його отримують за допомогою ВДЕ.

Одним з головних представників виробітку “зеленого” водню являється компанія SIEMENS, що вже успішно використовують дану технологію. Прикладами слугують такі проекти: “Energiepark Mainz” у Німеччині потужністю 3,8 МВт, “Wind Gas Haßfurt” також у Німеччині потужністю 1,25 МВт,“H2Future” у Австрії потужністю 6 МВт, “DEWA Expo 2020” у ОАЕ потужністю 1,25 МВт [27].

Що стосується України – це відносно новий спосіб для використання ВДЕ. Оскільки в нашій країні з кожним роком великими обсягами збільшується кількість ВЕС та СЕС, то на часі для України є досить актуальною розбудова інфраструктури для цільового виробітку водню, а також в якості акумулювання енергії даним способом.

Головну ж проблему, а саме високу вартість виробництва, вже вирішують на світовому рівні. В момент сьогодення існують договори за якими Україна повинна наростити потужності ВДЕ до 70% від загального енергоспоживання вже до 2050 року. А водневі акумулятори, що здатні швидко балансування великі потужності, будуть відгравати свою велику роль у досягнені цієї цілі. Іншим пом’якшуючим та стимулюючим фактором виступають плани Єврокомісії щодо розвитку кліматично-нейтральної економіки у якому йдеться мова про такі пункти:

- З 2020 по 2024 рік у ЄС планують підтримувати встановлення щонайменше 6 ГВт потужностей для виробництва до одного мільйона тон відновлюваного водню.

- З 2025 по 2030 рік водень повинен стати невід'ємною частиною європейської інтегрованої енергетичної системи, та скласти щонайменше 40 ГВт потужності за рахунок водневих електролізерів.
- З 2030 по 2050 рік технології відновлюваного водню повинні досягти зрілості і широко застосовуватися в усіх секторах, що значно зменшить викиди вуглецю.

2.3. Висновки до розділу

Можна зробити висновок, що електролізери PEM є перспективною технологією для нашої країни. В комбінації з ВДЕ їх можна використовувати в якості автономної системи генерації водню. У свою чергу при приєднані до центральної енергомережі з’являється можливість використовувати їх в якості маневрових потужностей. Це позитивно вплине на вирішення проблеми непостійності генерації електроенергії за рахунок ВДЕ, потужності яких з кожним роком постійно зростають. А також підвищить стійкість енергосистеми та допоможе вирішити питання надлишку електроенергії в Україні [26].

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ТА РОЗРАХУНКИ ФЕС

3.1. Розрахунок параметрів ФЕС

3.1.1. Технічне завдання

1. Найменування та область застосування

Фотоелектрична станція поблизу міста Чорноморськ

2. Підстава для розробки даного проекту

Власна ініціатива.

3. Мета та призначення розробки

Розрахунок ефективності та доцільності роботи ФЕС в умовах обраної місцевості для забезпечення власних потреб.

4. Джерела розробки

Метеорологічні данні місцевості, географічне розташування об’єкта.

3.1.2. Параметри фотоелектричних модулів

Вибір сонячних панелей

Для проектування сонячної фотоелектростанції необхідно обирати найбільш сучасні моделі фотоелектричних панелей з високою ефективністю перетворення сонячного випромінювання у електричну енергію. Це дасть можливість отримати більший виробіток електроенергії за умов розташування їх на меншій території. Для таких цілей було обрано модель провідного виробника у сонячній енергетиці, а саме – фотомодулі JAM60S03-320/PR.

Обраний модуль має монокристалічну будову з використанням технології Half-Cell, яка зменшує втрати виробітку електроенергії, що спричинені затіненням.

Обрані фотомодулі мають такий перелік переваг:

- Високу потужність
- Низьку залежність характеристик від температурного режиму
- Затінення спричиняє менший вплив на виробіток електроенергії (технологія Half-Cell)
- Мають високу стійкість до механічних навантажень

Таблиця 3.1 - Електричні характеристики модуля JAM60S03-320/PR

Номінальна потужність (P_{max})	320 Вт
Напруга під навантаженням (U_{MP})	33,34 В
Напруга холостого ходу(U_{XX})	40,22 В
Струм під навантаженням (I_{MP})	9,6 А
Струм короткого замикання ($I_{КЗ}$)	10,16 А
Ефективність модуля (η)	19,2%
Температурний коефіцієнт зміни напруги (k_U)	-0,289%/°С
Температурний коефіцієнт зміни потужності (k_P)	-0,36%/°С
Температурний коефіцієнт зміни струму (k_I)	0,051%/°С

Геометричні розміри даних сонячних панелей зображені на рис. 3.1.

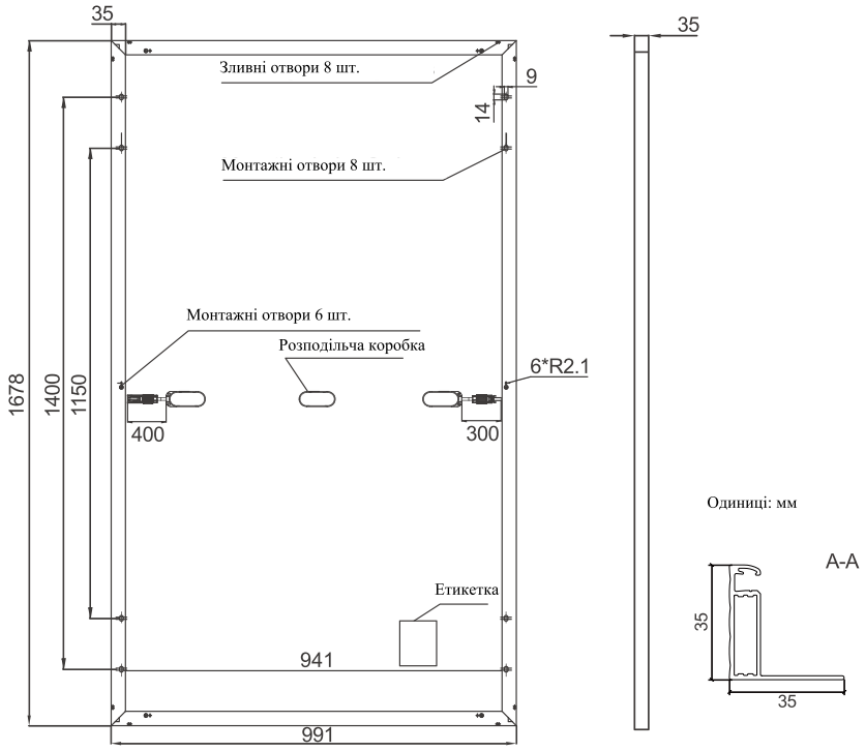


Рисунок 3.1 – Геометричні розміри сонячної панелі

Було розраховано необхідну сумарну кількість сонячних панелей, яка необхідна для досягнення заданої потужності та складає:

$$N_{с.п.} = 38400 \text{ (шт.)}$$

Загальна потужність фотомодулей:

$$P_{сум} = N_{с.п.} \cdot P_{max} = 38400 \cdot 320 = 12{,}28 \text{ (МВт)}$$

Розрахунок параметрів фотомодулей при критичних умовах

Напруга при холостому ході та за критичних умов складає:

$$U_{XXmax} = U_{XX} \cdot (1 + (t_{STC} - t_{min}) \cdot k_u) = 40{,}22 \cdot (1 + (25 - (-12)) \cdot \cdot 0{,}289) = 44{,}52 \text{ (В)}$$

Струм короткого замкнення за критичних умов:

$$I_{КЗmax} = I_{КЗ} \cdot (1 + (t_{max} - t_{STC}) \cdot k_I) = 10{,}16 \cdot (1 + (70 - 25) \cdot \cdot 0{,}051) = 10{,}39 \text{ (А)}$$

Параметри одного стрінгу

Кількість сонячних панелей у одному стрінгу зображено на рис. 3.2 та складає:

$$N_{ф.м.} = 16 \text{ (шт)}$$

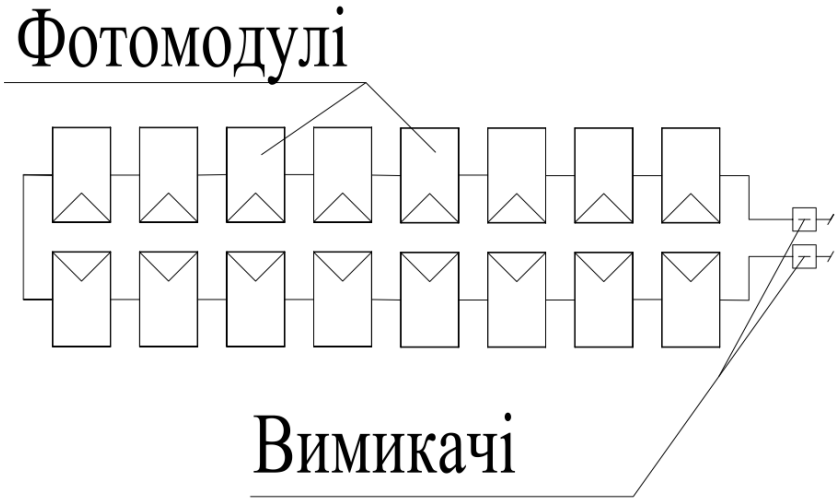


Рисунок 3.2 – Підключення фотомодулей у одному стрінгу

Напруга при холостому ході одного стрінгу складає:

$$U_{XXстр} = U_{XX} \cdot N_{ф.м.} = 40{,}22 \cdot 16 = 643{,}52 \text{ (В)}$$

Струм короткого замкнення:

$$I_{КЗстр} = I_{КЗ} = 10{,}16 \text{ (А)}$$

Розрахунок параметрів одного стрінгу при критичних умовах

Напруга при холостого хода за критичних умов:

$$U_{XXстр.max} = U_{XXmax} \cdot N_{ф.м.} = 44{,}52 \cdot 16 = 712{,}32\ (В)$$

Параметр струму короткого замкнення за критичних умовах:

$$I_{КЗстрmax} = I_{КЗmax} = 10{,}39\ (А)$$

3.1.3. Вибір кріплення

Місце розташування представлене сільськогосподарськими угіддями. Тому, щоб уникнути створення фундаменту, було обрано баластну систему кріплення фотомодулів. Постачається вже готовими системами з усім необхідними обладнанням, що економить час зборки вже на самому об’єкті. Система кріплень має плаваючі опори для компенсації нерівності рельєфу ґрунту, а також присутні поверхні з антиковзними захисними килимками. Кількість можна набирати довільно з готових систем модулів. Кут нахилу був обраний для збільшення генерації взимку та уникнення затінення та складає шістдесят градусів. Закріплення здійснене за рахунок навантажувального баласту. Нижня точка висоти прийнята за тридцять сантиметрів, щоб уникнути вплив від затінення низькою рослинністю. Геометричні розміри підбираються під панелі. Загальний зовнішній вигляд системи кріплення наведений на рис. 3.3 та 3.4.

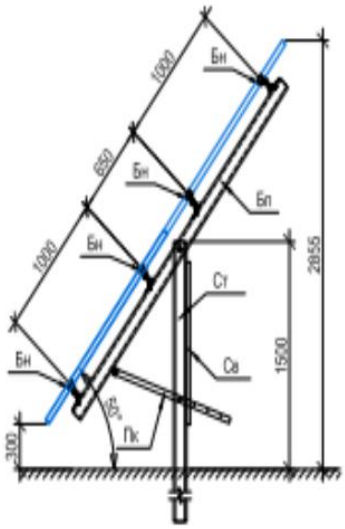


Рисунок 3.3 – Схема кріплень фотопанелей

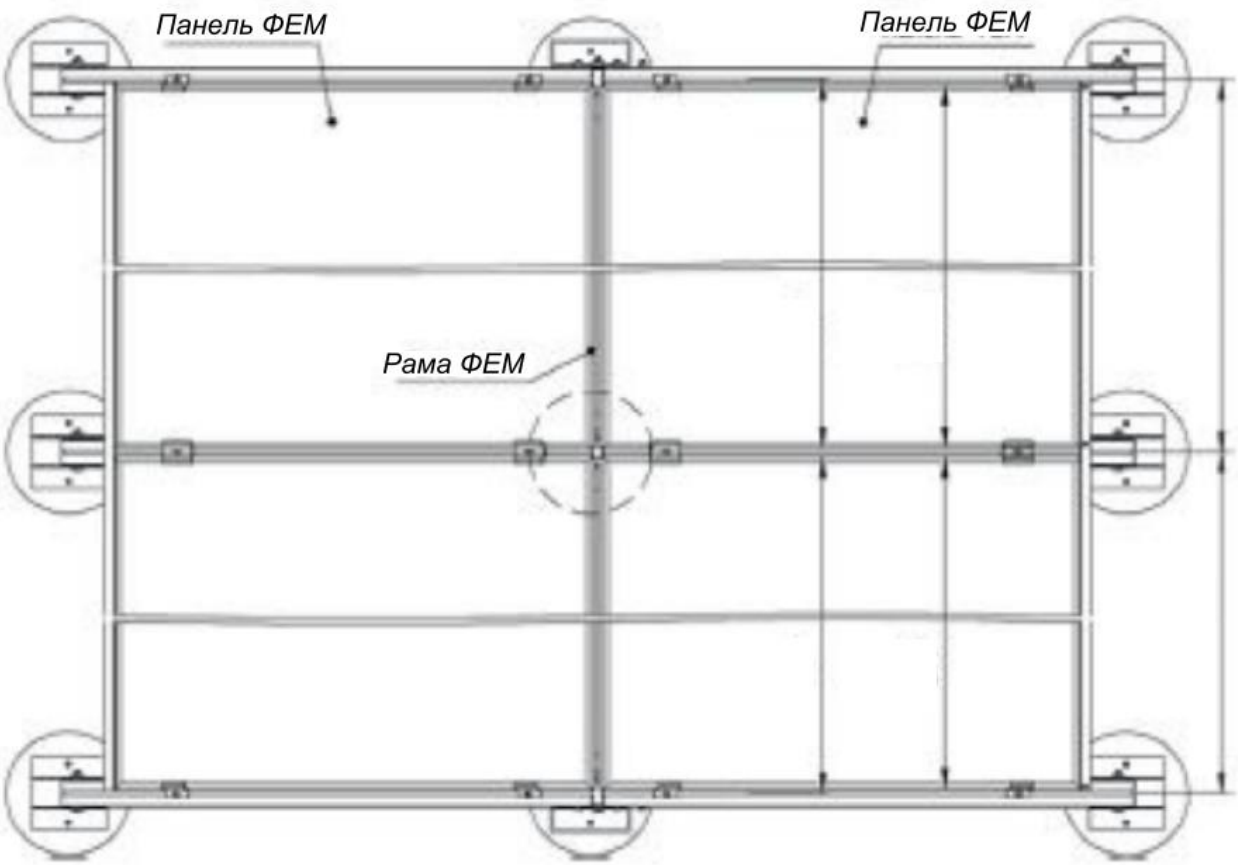


Рисунок 3.4 – Схема розміщення фотопанелей на кріпленні

3.1.4. Вибір та параметри інвертора

За розрахованими значеннями ліній сонячних панелей було обрано трифазний інвертор (Huawei SUN2000-60KTL-HV).

Сонячний інвертор має такі переваги:

- Наявність моніторингу по ланцюгах сонячних модулів, що дозволяє виявити неполадки в ланцюгах сонячних панелей.
- Широкий діапазон робочої напруги, що дає можливість у майбутньому наростити додаткову потужність за рахунок сонячних панелей.
- Компактні розміри та висока ступінь захисту
- Має високу ефективність (98,8%)
- Наявне природнє охолодження
- Чудове співвідношення ціна-якість

Таблиця 3.2 - Характеристики сонячного інвертора

Ефективність	
1	2
Європейська ефективність	98.5%
Максимальна ефективність	98.7%
Вхідні характеристики	
Максимальний струм ($I_{кз}$) короткого замикання на 1 MPP	30 A
Максимальний струм (I_{max}) на 1 MPP	22 A
Максимальна вхідна напруга (U_{max})	1,100 В
Діапазон робочої напруги (U)	300 V ~ 1000 В
Початкова робоча напруга	200 В
Кількість MPP трекерів	6
Кількість вводів	12
Вихідні характеристики	
Максимальна повна потужність AC	55,000 ВА
Номінальна активна потужність	50,000 Вт
Номінальна частота AC	50 Гц / 60 Гц
Номінальна напруга AC	380 В
Максимальний струм AC	100 A
Номінальний струм AC	91.2 A
Максимальний коефіцієнт нелінійних викривлень	＜3%
Діапазон регулювання cosφ	0.8 LG ... 0.8 LD
Захист	
Захист від секціонування	Так
DC вимикач	Так
Захист від перенавантажень по струму	Так

Продовження таблиці 3.2

1	2
Моніторинг PV-стрінгів	Так
Захист від невірної полярності	Так
ОПН на стороні AC	Тип 2
ОПН на стороні DC	Тип 2
Пристрій захисного відключення	Так
Контроль ізоляції	Так
Комунікація	
Дисплей	LED Індикатори, Bluetooth + APP
RS485	Так
USB	Так
Комунікація по AC кабелю	Так
Загальні	
Вага (з монтажною пластиною)	74 кг
Геометричні розміри	1075x 555x 200 мм
Тип системи охолодження	Натуральна конвекція
Температура експлуатації	-25°C – 60°C
Допустима вологість	0 ~ 100%
Максимальна висота експлуатації	4,000 м
AC конектор	Водонепроникний PG Terminal + OT конектор
DC конектор	Amphenol Helios H4
Топологія	Без трансформатора
Ступінь захисту	IP65

Внутрішня схема інвертора зображена на рис. 3.5. Також була розроблено схему приєднання сонячних панелей, яка представлена на рис. 3.6. Мережею представлена автономна система генерації водню.

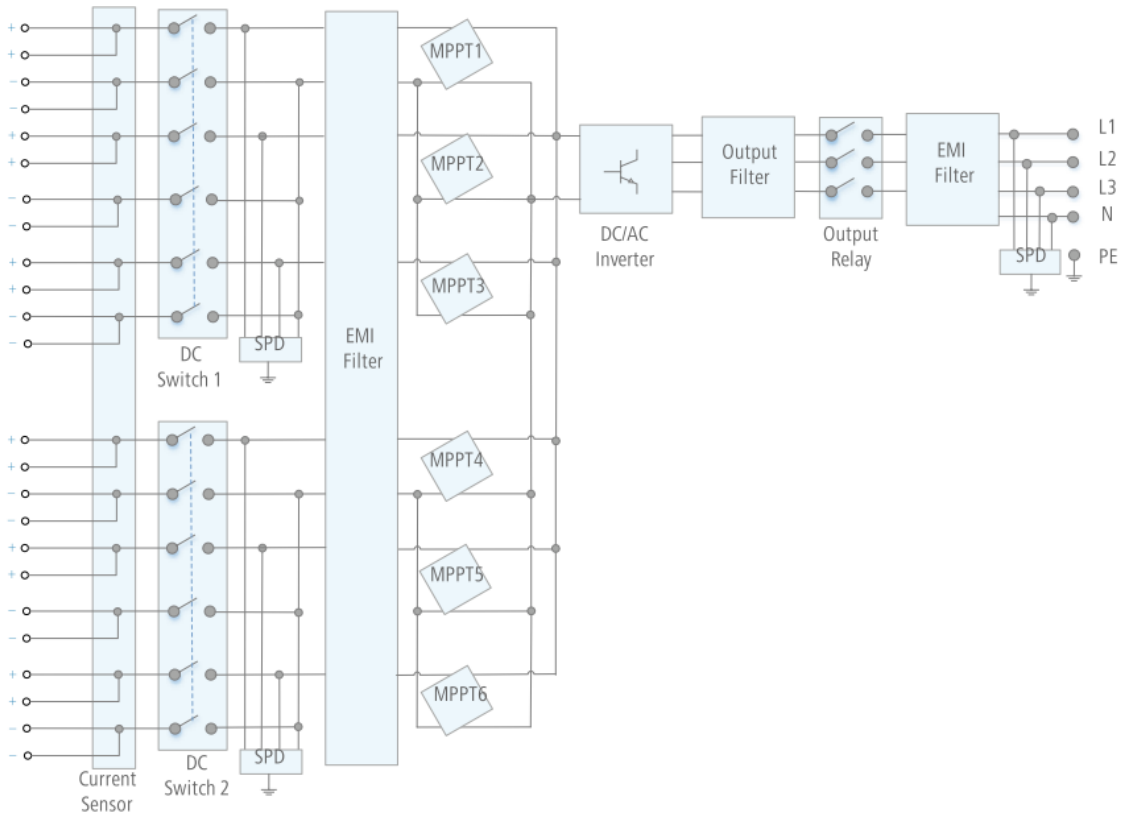


Рисунок 3.5 – Схема сонячного інвертора Huawei SUN2000-60KTL

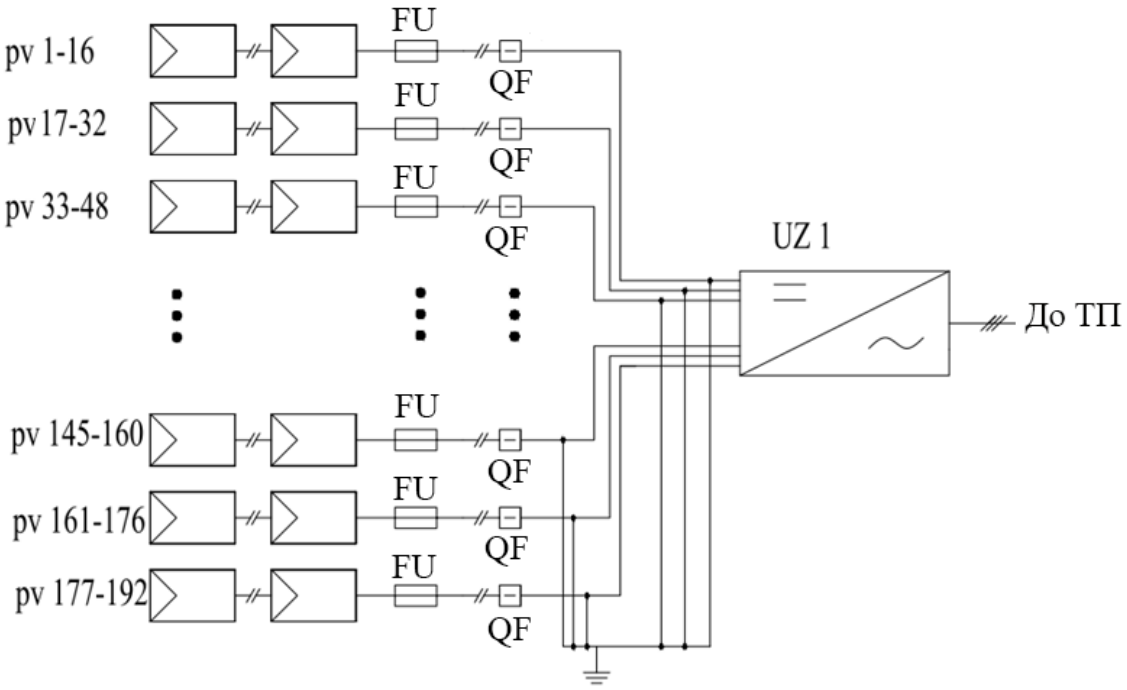


Рисунок 3.6 – Схема приєднання сонячних панелей

3.1.5. Вибір кабелів та їх параметри

Під час вибору кабелів необхідно враховувати наступні фактори:

- Максимально допустимий струм у кабелі

З розрахунків він складає 13 А (округлення до більшого значення)

- Максимально допустимий рівень напруги

За розрахунками значення не складає до 1500 В

- Робочі температури

Характерні короткочасні морози (-30°C) і спекотні аномалії літом (+40°C)

- Тип ізоляції

Спеціальні кабелі для фотомодулів мають усю необхідну ізоляцію, яка повинна витримувати довгочасну дію навколишнього середовища. У той же час повинна не втрачати свої властивості.

За розрахованими необхідними технічними умовами експлуатації кабелю був вибраний з'єднувальний кабель компанії Solar-Energy.

Його характеристики та умови при використанні занесені до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічні параметри кабелю

Характеристика	**Значення**
Номінальний струм	30 А
Номінальна напруга	1500 В
Максимальна температура нагріву	120°C
Переріз кабелю	4 мм²
Термостійкість	-40...120°C > 20.000 годин
Діапазон робочих температур	-40...90°C
Діаметр ізоляції	6.0 ± 0.2 мм

Максимальна протяжність кабелю у одного стрінгу – 30 метрів. Вирішено взяти запас 10 метрів. Отримаємо протяжність одного стрінгу – 40 м. Загальна протяжність складе 96000 м за рахунок усіх стрінгів.

Відстань від інверторів до підстанції з урахуванням висот та нерівності рельєфу за картами сервісу "Google Earth Pro" в середньому складає дев'яносто метрів. Можливу похибка складе десять відсотків. В результаті

отримуємо, що для кожного інвертору необхідно близько сто метрів кабелю, щоб під'єднати їх до трансформаторної підстанції.

Технічні умови та характеристики використання вибраного кабелю занесені у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 - Технічні параметри кабелю ПВС 4х35

Характеристика	**Значення**
Номінальний струм 1 жили	115 А
Номінальна напруга	1000 В
Діапазон робочих температур	-40°С – 90°С
Максимальна температура нагріву	120°С
Переріз 1 жили	35 мм²
Термостійкість	-40°С – 120°С > 20 тис. годин

3.1.6. Вибір захисного обладнання

Для вибору захисного обладнання потрібно звернути увагу на такі самі характеристики, що і при виборі кабелів. Також потрібно знати розрядні струми ураження блискавкою в даній місцевості [11].

Необхідне захисне обладнання складається з обмежувача від перенапруги, роз'єднувача та плавкого запобіжника.

Було підібрано плавкий запобіжник CH 10x85 gPV 16A на кожний стрінг. Для даних запобіжників було підібрано відповідний роз'єднувач – роз'єднувач 10x85 DC.

Також було обрано вимикач навантаження для кожного стрінгу – LS 32 SMA A4 і обмежувач перенапруги – ETITEC B-PV 1500/12,5 Y RC.

Усе інше захисне обладнання вже вмонтоване у інвертор та постачається разом з ним.

3.1.7. Загальні відомості про станцію

Обладнання

- Інвертор Huawei SUN2000-60KTL 200 шт.
- Сонячний фотоелектричний модуль JA Solar 320 Вт 38400 шт.
- Комплект захисного обладнання AC і DC 200 шт.
- Кабель solar 4 мм^2 96000 м
- Баластна система кріплення 38400 шт.

Загальні характеристики

- Номінальна потужність інверторів 12 МВт
- Загальна потужність сонячних панелей 12,28 МВт
- Кількість фаз 3
- Необхідна площа для розміщення сонячних панелей 20 га

Параметри роботи станції

- Прогнозована річна генерація електроенергії 14,9 ГВт•год

3.2. Розрахунок прогнозованого виробітку електроенергії

Розрахунок інсоляції

При розрахунку інсоляції розраховують наступні основні параметри: кут схилення Сонця, часові кути, зенітний кут, справжній сонячний час, сонячний азимутальний кут, висоту сонця. Це дозволяє нам розрахувати повну сонячну радіацію, що надходить на поверхню, та складається з наступних складових: прямої , відбитої та дифузної інсоляції.

$$G_{пов} = G_{прям.} + G_{диф.} + G_{відб.}$$

Оскільки розрахунки характеристик фотоелектричної станції мають велику кількість обрахунків, то для розрахування використовувався власний програмний код написаний у програмі MathLab. Методика та формули розрахунку були взяті з стандартизованого методу розрахунку фотоелектростанцій [6 та 9].

delta.m

```
function d = delta(N)
d0 = 23.45;
d = d0*sind((360/365)*(284+N));
```

insol_hour.m

```
function I = insol_hour(Rd, Rb, m, h)
global beta

%figure(4)
%hold on;
Pg = 0.2;
xx = 1:24;
hours = [0; 6.5; 9.5; 12.5; 15.5; 19.5; 24];
tempDir = csvread('direct.csv');
Id_ni = tempDir(:,m);
Id_ni = Id_ni.*0.698;
Id = interp1(hours,Id_ni,xx,'pchip');

%plot(xx, Id ,'red');

tempDiff = csvread('diffuse.csv');
Ib_ni = tempDiff(:,m);
Ib_ni = Ib_ni.*0.698;
Ib = interp1(hours,Ib_ni,xx,'pchip');
%plot(xx, Ib, 'blue');

IDt = Id.*Rd;
IBt = Ib.*Rb;
IRt = 0.5*(1-cosd(beta))*Pg*(Ib+Id);

%{
figure(5)
hold on;
grid on;
plot(xx, IDt,'red');
plot(xx, IBt, 'blue');
plot(xx, IRt, 'green');
%}

I = IDt+IBt+IRt;
%I = sum(I);

%plot(xx, I, 'black');
```

alpha.m

```
function a = alpha(d, h)
global Long
alp = sind(Long) .* sind(d) + cosd(Long) * cosd(d).* cosd(h)
a = asind(alp)
```

insol_day.m

```
function I = insol_day(Rd, Rb, m, h)
global beta

%figure(4)
%hold on;
Pg = 0.2;
xx = 1:24;
hours = [0; 6.5; 9.5; 12.5; 15.5; 19.5; 24];
tempDir = csvread('direct.csv');
Id_ni = tempDir(:,m);
Id = interp1(hours,Id_ni,xx,'pchip');

%plot(xx, Id ,'red');
```

```
tempDiff = csvread('diffuse.csv');
Ib_ni = tempDiff(:,m);
Ib = interp1(hours,Ib_ni,xx,'pchip');
%plot(xx, Ib, 'blue');

IDt = Id.*Rd;
IBt = Ib.*Rb;
IRt = 0.5*(1-cosd(beta))*Pg*(Ib+Id);

%{
figure(5)
hold on;
grid on;
plot(xx, IDt,'red');
plot(xx, IBt, 'blue');
plot(xx, IRt, 'green');
%}

I = IDt+IBt+IRt;
I = sum(I);

%plot(xx, I, 'black');
```

day_insol.m

```
function W = day_insol(dh,I)

Isum = 0;
for i= 1 : length(I)
    Isum = Isum + I(i);
end

W = dh*Isum;
```

anglesDay.m

```
classdef anglesDay
    properties
        a
        d
        z
        cT
    end
    methods (Access = public)
        function obj =  anglesDay(sD)
           obj.d = delta(sD);
           obj.a = alpha(obj.d, 1:24);
           obj.z = sol_Z(obj.d, 1:24, obj.a);
           obj.cT = cosTeta(obj.a, obj.z);
        end
    end
end
```

anglesYear.m

```
classdef anglesYear
    properties
        a
        d
        z
        cT
    end
```

```
    methods (Access = public)
        function obj =  anglesYear(N)
           obj.d = delta(N);
           obj.a = alpha(obj.d, 11);
           obj.z = sol_Z(obj.d, hour_angle(11), obj.a);
           obj.cT = cosTeta(obj.a, obj.z);
        end
    end
end
```

cosTeta.m

```
function cT = cosTeta(a, z)
global beta Zs;

cT = cosd(beta).*sind(a) + sind(beta).*cosd(a).*cosd(z-Zs);
```

sol_Z.m

```
function z = sol_Z(d,h,a)
z = asind((cosd(d).*sind(h))./cosd(a));
```

cosFi.m

```
function cF = cosFi(alpha)
cF = sind(alpha);
```

hour_angle.m

```
function h = hour_angle(TST)
h = 15*(TST-12);
```

Початкові дані інсоляції взяті з бази даних Nasa за останні 23 роки та представлені на рис. 3.7

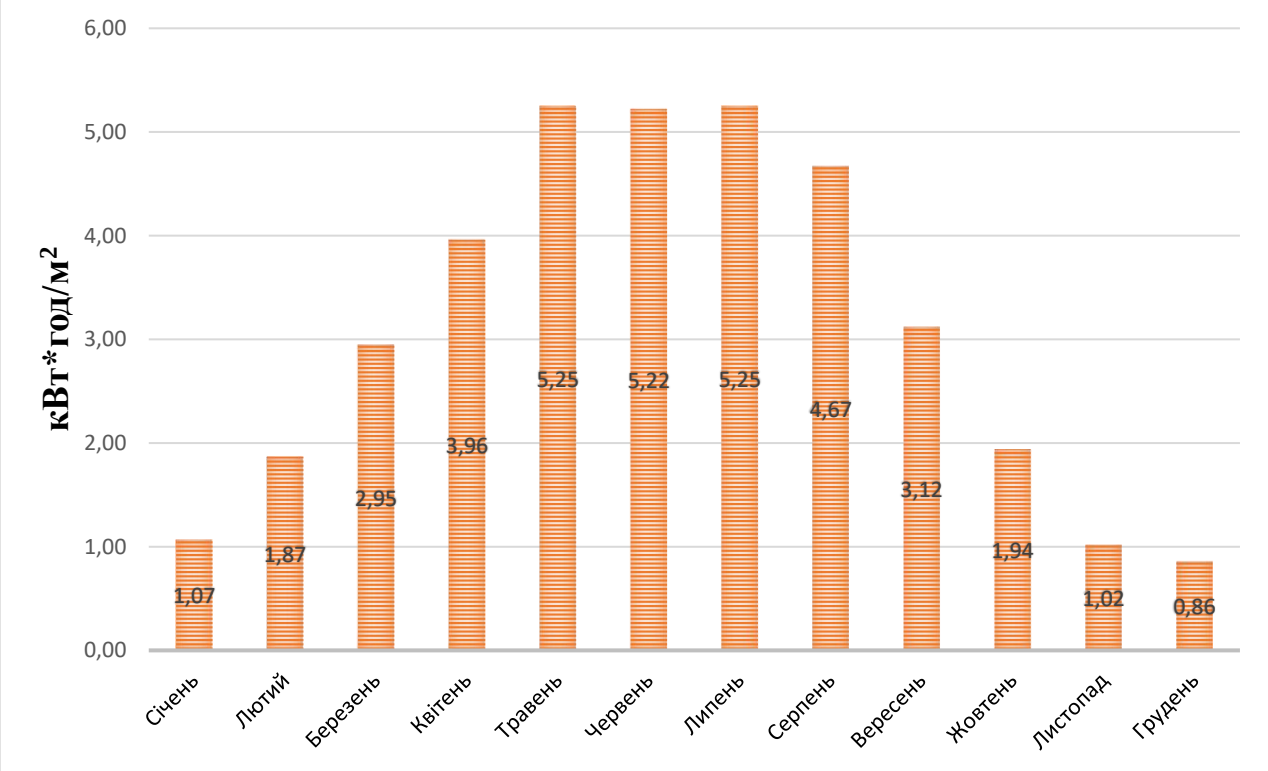


Рисунок 3.7 - Середнє значення випромінювання енергії сонця на квадратний метр за одну добу

За допомогою програмного коду перерахуємо середнє значення генерації електричної енергії впродовж місяця одного квадратного метру панелей нашої сонячної станції при врахуванні особливостей їх розміщення. Отримані результати проілюстровані на рисунку 3.8.

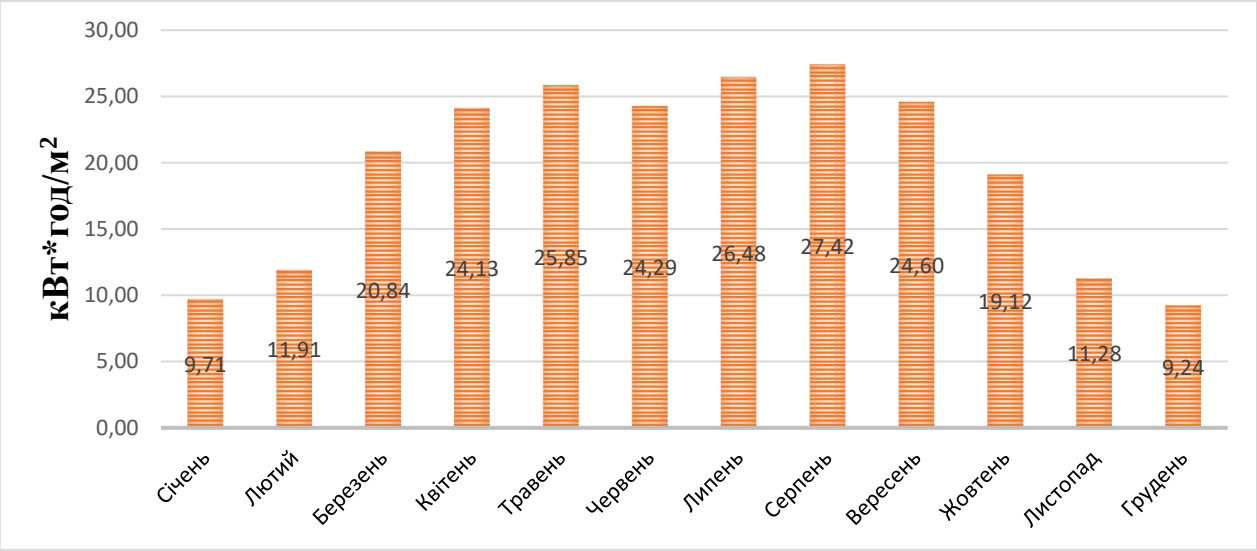


Рисунок 3.8 - Прогнозована генерація електроенергії одним квадратним метром фотопанелей

Розрахунок генерації електроенергії впродовж року

Розрахунки генерації електроенергії умовною сонячною станцією потужністю 12,28 МВт також були отримані за допомогою даного коду. Отриманні дані були занесені та представлені на рис. 3.9.

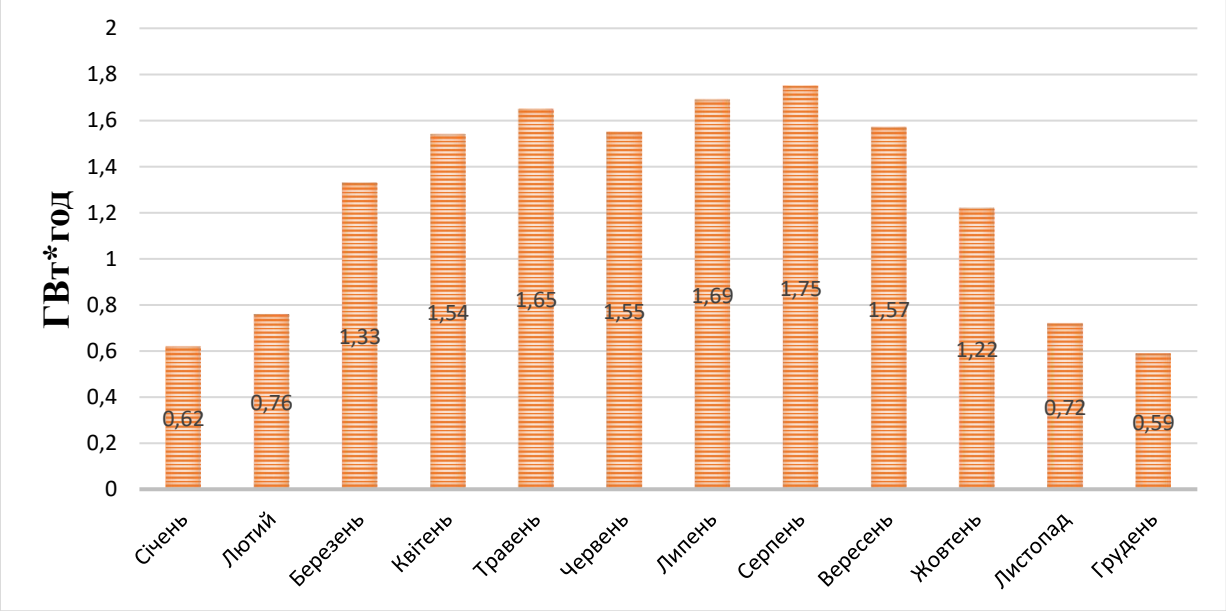


Рисунок 3.9 - Прогнозована генерація електроенергії за рік

3.3. Висновки до розділу

В розділі представлений вибір електричного обладнання, показані їх характеристики, була розроблена відповідна схема підключення сонячних модулів до інверторів. За допомогою програмного коду, що базується на стандартизованому методі розрахунку фотоелектростанцій, було розраховано прогнозований виробіток електроенергії впродовж року. При встановленій потужності СЕС у 12,28 МВт він складає 14,9 ГВт•год за рік. Отриманий результат був порівняний з калькулятором сонячної енергії PVGIS (Додаток А)

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ТА РОЗРАХУНКИ ВЕС

4.1. Аналіз вітроенергетичного потенціалу майданчика

4.1.1. Опис місцевості

Площа майданчика ВЕС 11,75 МВт в Одеській області складає 1,65 км^2 , розташований між 6-ма населеними пунктами: село Санжейка, село Дальник, село Молодіжне, село Грибіка, село Барабой і місто Чорноморськ. Усі пункти входять до Одеської області . Відстань від краю майданчика до найближчої межі населеного пункту більше 1 км. Найближча річка (р. Барабой) знаходиться на відстані 5 км до майданчика. Відстань до Чорного моря складає 3,6 км. На рис. 4.1 зображено топографічна карта, на якій позначено обрану ділянку для встановлення 5 ВЕУ з одиничною номінальною потужністю 2,35 МВт, згідно табл. 4.4.

Рисунок 4.1 - Топографічна карта місцевості із виділеною ділянкою під майданчик ВЕС

4.1.2. Землекористування та рослинність

Цільове призначення землі – сільське господарство. Ґрунт - чорнозем, проте у степах все більше зустрічається опустелювання, тому земля може бути менш придатна для сільського господарства, тому можна розглядати проект

побудови на ній ВЕС. Планується викупити землю у сільської ради. Ціна за 1 Га складає приблизно 36 тис. грн. . Така низька ціна пов'язана з близькістю до зони ООС. Земельна ділянка для будівництва ВЕС використовується під орні землі. Відбуваються посіви сільськогосподарських культур, таких як: жито, пшениця, озимий ячмінь. Обрана територія знаходиться у степовій зоні. Степи області мають густий трав'яний покрив, що складається з ковили, тонконогу, конюшини, молочаю степового тощо. Найбільш поширеними лісовими породами на місцевості є дуб черешчатий, насадження якого займають більше половини всієї площі лісів, сосна звичайна. У посадках також ростуть ясен та клен гостролистий, польовий і татарський, липа, в'яз, осика, різні чагарники тощо.

4.1.3. Клімат місцевості

Клімат майданчика помірно-континентальний з помірно холодною зимою і тривалим, часом посушливим, жарким літом. Середньорічна температура повітря становить 4-7,7 °С. Річна кількість опадів — 390-460 мм. Обраний майданчик знаходиться у зоні степу, випаровуваність помітно перевищує опади, особливо влітку. Опади випадають досить рівномірно. Як і в усьому помірному поясі, опадів випадає найбільше в літні місяці, пов'язано це головним чином з переміщенням Сонця по екліптиці, його високе положення над горизонтом стимулює випаровування вологи і формування дощів і гроз. Найбільш вологі місяці — червень та липень з нормою опадів 61 мм. Найбільш сухі місяці — лютий — квітень. Причина цього в малій активності циклонів і в недостатній 7 ще енергії Сонця для утворення конвекції. У березні опадів випадає в середньому 33 мм. Атмосферна посуха — порівняно часте явище і може виникати неодноразово протягом року. Висота над рівнем моря складає від 20 м у приморській низовині до 140 м на межі Волино-Подільської височини. Середньорічна швидкість вітру – 4,25 м/с. Середньорічна температура складає – (10,7) ºС. Найхолодніший місяць – (-2,8) ºС, найтепліший – (27,0) ºС.

4.1.4. Моніторинг швидкості вітру

Щоб оцінити вітроенергетичний потенціал необхідно проаналізувати середньомісячну швидкість вітру та врахувати максимальну швидкість вітру на висоті опори (98 м) та на висоті флюгера (10 м). Необхідні дані про середньомісячну швидкість вітру були отримані з метеостанції поблизу міста Білгород-Дністровський. Висота флюгера складає 10 м. Отримані дані відображено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Середньомісячна швидкість вітру

	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Середньомісячна швидкість, м/с	4,4	4,5	4,7	4,5	4,3	4,0	3,8	3,6	3,6	3,8	4,4	4,4

Дану інформацію також зображено у вигляді графіку на рис. 4.2. Найбільша середньорічна швидкість вітру сягає 5,1 м/с, найнижча – 3,2 м/с.

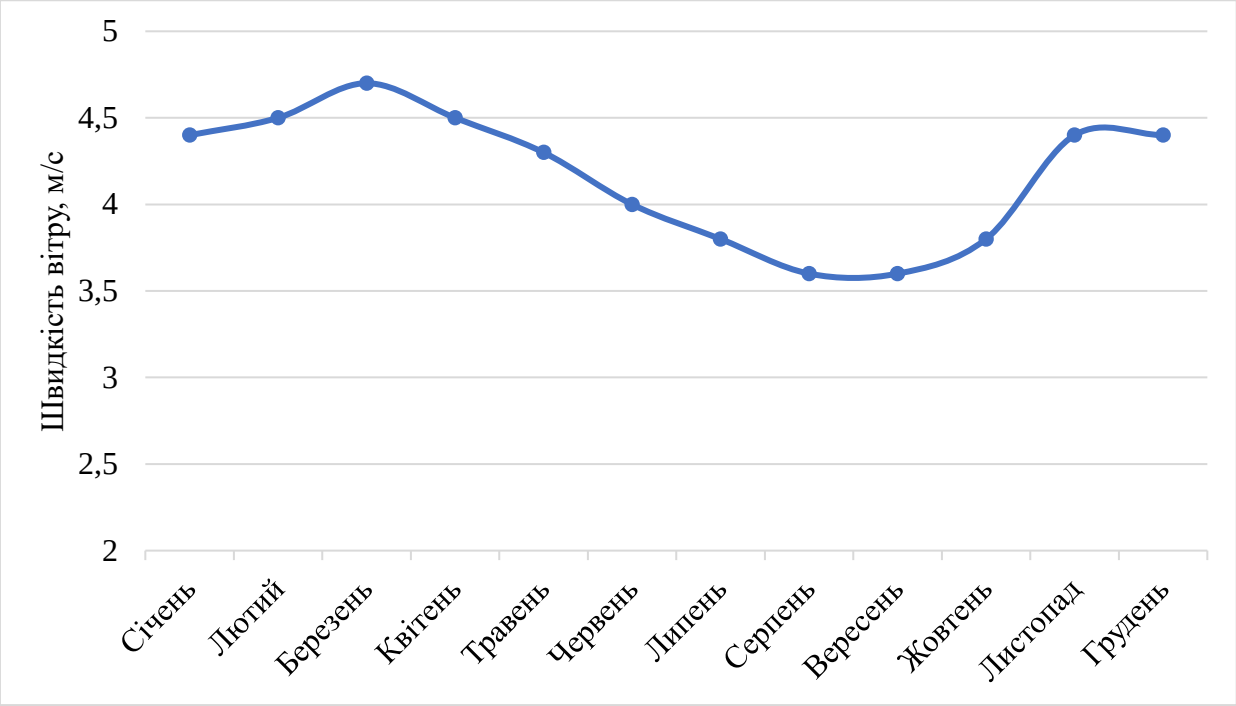


Рисунок 4.2 - Графік середньомісячної швидкості вітру

4.2. Вибір та обґрунтування типів та параметрів вітроенергетичного обладнання

4.2.1. 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. 4.3.

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. 4.2 наведені найбільші значення швидкості вітру з зазначеною імовірністю повторення в роках на висоті флюгера та перераховані для умовної висоти і для висоти гондоли.

Таблиця 4.2 – Максимальна швидкість вітру по роках

Максимальна швидкість (м/с) на висоті h, м.	1 рік	5 років	10 років	15 років	20 років
Метеопост № 37 (h = 11 м)	19,00	21,00	22,00	23,00	24,00
Умовна висота (h = 100 м)	27,52	30,41	31,86	33,31	34,76
Висота башти (h = 98 м)	27,44	30,33	31,77	33,22	34,66

Таблиця 4.3 – Класифікація ВЕУ по стандарту IEC 642000-1

Клас ВЕУ	**I**	**II**	**III**	**S**
$V_{екстр}$, м/с	50	42,5	37,5	Спеціальний клас
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	

Для того, щоб обрати клас ВЕУ, необхідно розрахувати максимальну швидкість вітру на висоті ротора вітроагрегату, що становить 98 м. Для перерахунку швидкості вітру скористаємось формулою Д.Т. Лайхтмана:

$$V = V_p \cdot \frac{\lg\left(\frac{h}{h_0}\right)}{\lg\left(\frac{h_1}{h_0}\right)} \tag{4.1}$$

де h – шукана висота, м;

h_0 – висота, на якій відсутній вітер (в діапазоні 0,5 см. – 20 см.);

h_1 – висота флюгера на метеопосту, м;

V_p – швидкість вітру на висоті флюгера, м/с.

Згідно табл. 2.1., максимальна швидкість вітру за останні 20 років вимірювань складає 24 м/с, враховуючи шорсткість поверхні приймемо висоту, на якій відсутній вітер, рівну 8 см, отже:

$$V = 24 \cdot \frac{\lg\left(\frac{98}{0{,}08}\right)}{\lg\left(\frac{11}{0{,}08}\right)} = 34{,}66 \text{ (м/с)} \tag{4.2}$$

Перерахунок максимальної швидкості вітру на висоту гондоли показав, що для обраної ділянки будівництва ВЕС максимальна швидкість може сягати 34,66 м/с. Турбулентність вітру за довідниковими даними становить 16%. Відповідно до табл. 4.3. та враховуючи отримані дані, необхідно обрати клас ВЕУ IIIA.

4.2.2. Аналіз ринку виробників ВЕУ

- Enercon

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.

- Gamesa Corporacion Tecnologica

Це передова компанія виготовлення вітрогенераторів на іспанському ринку. Також являється дочірньою компанією Siemens. Постачає свою продукцію у більш ніж 20 країн світу. Базується у Самудио (Бискайя), Іспанія. Проте офіс підрозділу по офшорній вітроенергетиці знаходиться в Лондоні. Має більше 30 заводів по виготовленню частин ВЕУ: лопатей, башт та іншого. Також займається і фотоенергетикою.

- GE Wind Energy

Це дочірня компанія GE Renewable Energy. Базується у Ферфілді, штат Коннектикут, США. Представляє собою підприємство, яке пропонує широкий

вибір вітроагрегатів (від 1,5 – 12 МВт). Розташовує свої станції на землі, а також будує ВЕС офшорного типу.

- Goldwind

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.

- Nordex SE

Nordex SE – європейська компанія заснована у 1985 році. Розташована у Ростоку, Данія. На сьогодні пропонує свої вітрогенератори потужністю від 1,5 МВт до 4,5 МВт. Стала першою компанією, яка розпочала масове виробництво турбін потужність 1 МВт. На сьогоднішній день по різним даним входить у десятку лідерів серед постачальників ВЕУ.

4.2.3. 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 2 до 3 МВт кожна. Обраний клас вітру - IEC IIIA. З вибором вітроагрегатів можна ознайомитись по табл. 4.4, де наведений порівняльний аналіз моделей вітроенергетичного обладнання. Дані взяті з об’єднаної бази по вітровим агрегатам [22], та перевірена на офіційних сайтах представників [24].

Зеленим кольором виділено обраний вітроагрегат - Enercon E-103 EP2. 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). Великою перевагою є ще те, що ВЕУ від компанії Enercon вже мають свої підстанції, які підвищують рівень напруги до 10 кВ. А також легка можливість співпраці.

Таблиця 4.4 – Порівняльна таблиця ВЕУ

Параметр		Siemens	Enercon	Goldwind
Модель		SWT-2,3-108	E-103 EP2	GW 109/2500
Клас ВЕУ		IEC IIB	IEC IIIA	IEC IIIA
Номінальна потужність	*кВт*	2300	2350	2500
Мінімальна робоча швидкість вітру	*м/с*	3,0	2,5	3,0
Номінальна робоча швидкість вітру	*м/с*	11,0	34,0	25,0
Діапазон робочих температур	*°С*	-30 ÷ +40	-20 ÷ +45	-20 ÷ +45
Діаметр ротора	*м*	108	103	109
Висота опори	*м*	80	78 – 138 (98)	90 – 120
Питома потужність	*Вт/м²*	251,5	282,0	262,7

Goldwind у свою чергу, як і будь-яка китайська компанія більш спрямована на забезпечення власної держави. Це пов’язано з політичним устроєм. А ще має свої стандарти електромереж, які інколи нам не підходять. Ще серед малих переваг Enercon можна відмітити широкий вибір висоти опор в порівнянні з аналогами. Це полегшить саме транспортування конструкцій, а також зменшує матеріалоємність, що у свою чергу зменшить витрати на будівництво.

4.3. Розробка компоновки ВЕС

4.3.1. Схема розміщення ВЕУ на земельній ділянці

На рис. 4.3 зображено план розміщення ВЕУ станції на земельній ділянці. Загальна площа земельної ділянки складає 1,65 км^2, що складає 165 га. Діаметр ротора складає 103 м, тому для уникнення аеродинамічного затінення необхідно розташовувати ВЕУ між собою на відстані не менше 6 діаметрів ротора – 618 м. На схемі взято з малим запасом, а саме - 650 м. Ближче до центру розташована Автономна система виробництва водню.

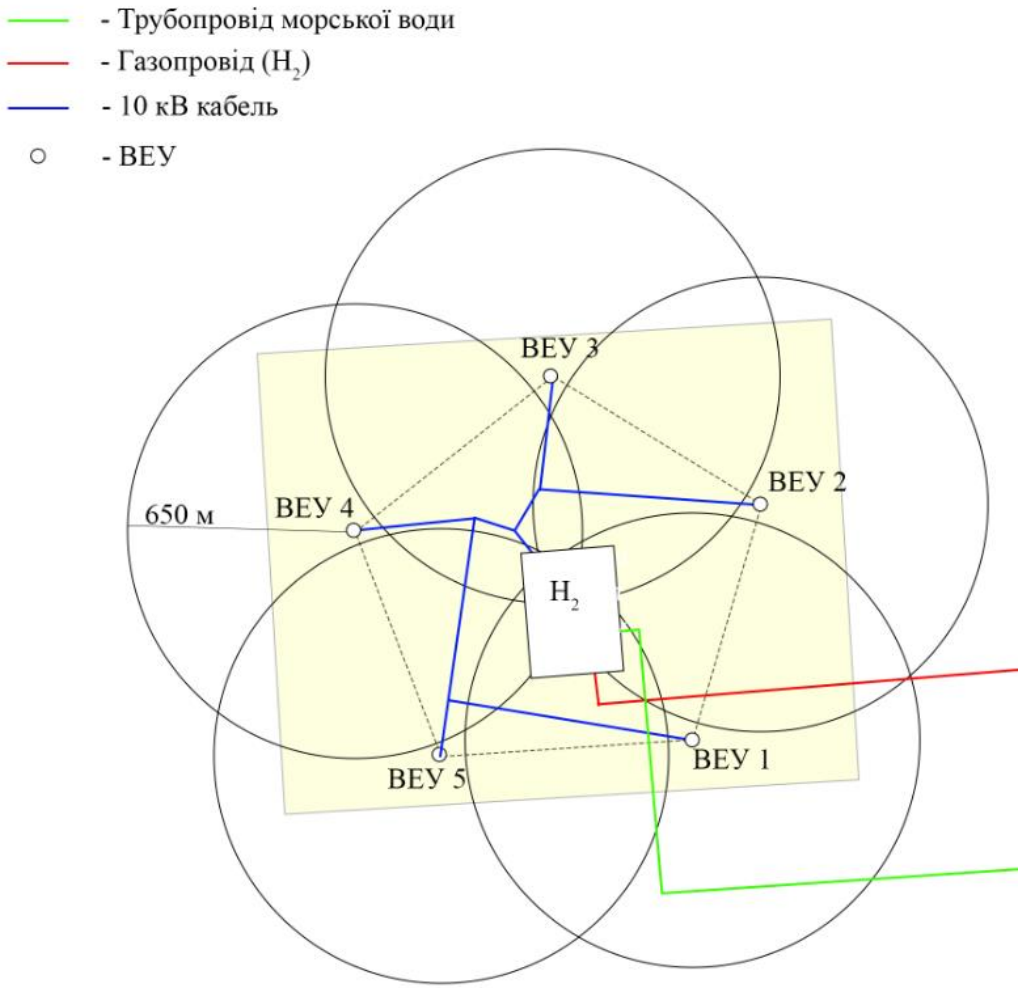


Рисунок 4.3 – План розміщення ВЕУ на карті місцевості

В табл. 4.5 вказано точні координати розташування кожної ВЕУ та висоту над рівнем моря, а також мінімальну відстань до найближчої ВЕУ. Виміри були зроблені у програмі Google Earth.

Таблиця 4.5 – Розташування ВЕУ

№ ВЕУ	**Координати**		**Висота над рівнем моря, м**	**Відстань до найближчої ВЕУ**
	Східна довгота	**Північна широта**		
ВЕУ – 1	46˚15'25"	30˚36'14"	27	> 6D до ВЕУ – 2
ВЕУ – 2	46˚15'46"	30˚36'20"	18	> 6D до ВЕУ – 3
ВЕУ – 3	46˚15'56"	30˚35'54"	28	> 6D до ВЕУ – 4
ВЕУ – 4	46˚15'43"	30˚35'31"	38	> 6D до ВЕУ – 5
ВЕУ – 5	46˚15'23"	30˚35'44"	35	> 6D до ВЕУ – 1

Важливо відмітити, що для дотримання умов будівництва ВЕС та розміщення ВЕУ, а також для забезпечення генерації водню були заплановані наступні роботи:

- Прокладка ЛЕП від ВЕУ до місця генерації водню;
- Будівництво нових доріг та розширення існуючих;
- Проведення газопроводу водню до місця збуту товару;
- Підведення морської води та будівництво очисних споруд;

На рис. 4.4 зображена ділянка обрана ділянка, на вершинах п’ятикутника планується побудувати ВЕУ.

Рисунок 4.4 – План розміщення ВЕУ на карті місцевості

4.3.2. Створення моделі системи

Наступним кроком було створення моделі автономної системи виробництва водню за рахунок ВЕУ та зображено на рис. 4.5. На ньому присутні вітроагрегати, будівля під розташування в ній електролізерів, водоочисна споруда зворотного осмосу, ЛЕП та газопровід по якому планується експортувати вироблений водень.

Рисунок 4.5 – Кінцева 3d модель автономної системи генерації водню

4.4. Оцінка річного виробітку ВЕС

Щоб визначити можливий прибуток від роботи ВЕС необхідно розрахувати виробіток електроенергії ВЕС за рік. Для цього необхідно провести загальний розрахунок виробітку електроенергії ВЕС за рік та визначити і врахувати можливі втрати енергії.

4.4.1. Розрахунок загального виробітку електроенергії за рік

Щоб оцінити річний виробіток нашої ВЕС необхідно врахувати вірогідність появи певних швидкостей вітру протягом року. Дані вірогідності швидкості вітру взяті з довідника. [21]

Далі рахуємо виробіток електроенергії нашою ВЕС по формулі (4.3). Такі розрахунки проводяться для кожного місяця та для кожної швидкості вітру, при цьому необхідно враховувати, що при швидкості вітру до 2,5 м/с вітрогенератор ще не працює, а при 34 м/с необхідно виводити ВЕУ з під вітру. Тому ці 2 проміжки не враховуються при обчисленні. Отримані результати сумуємо та отримуємо річний виробіток електроенергії.

$$E = \frac{\pi D^2}{4} \cdot 0{,}63 \cdot {V_i}^3 \cdot \eta \cdot t_i \cdot 10^{-3} \text{ (кВт} \cdot \text{год)}, \quad (4.3)$$

де D – діаметр ротора ВЕУ, м;

0,63 – потужність вітрового потоку;

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

η – коеф. використання встановленої потужності;

t_i – час, протягом якого очікується певна швидкість вітру

$$t_i = 730 \cdot i/100 \text{ (год.)}, \tag{4.4}$$

де 730 – кількість годин за місяць, год.;

i – вірогідність швидкості вітру, %.

Розрахуємо прогнозований виробіток електроенергії однієї ВЕУ за місяць січень при діапазоні швидкості вітру 2-3 м/с, ймовірності появи даної швидкості вітру складає 26,9%:

$$E_{\text{ВЕУ}} = \frac{3{,}14 \cdot 103^2}{4} \cdot 0{,}63 \cdot 3{,}61^3 \cdot 0{,}242 \cdot \frac{730 \cdot 26{,}9}{100} \cdot 10^{-3} = \\ = 11{,}78 \text{ (МВт} \cdot \text{год)} \tag{4.5}$$

Виробіток електроенергії ВЕС при тих же умовах складає:

$$E_{\text{ВЕС}} = \sum_{i=1}^{5} E_{\text{ВЕУ}\,i} = 58{,}91 \text{ (МВт} \cdot \text{год)} \tag{4.6}$$

Для зручності усі обрахунки вже розраховані та зведені у табл. 4.6

Таблиця 4.6 – Виробіток електроенергії за січень

	Діапазон швидкості, м/с	*Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с*	*Швидкість вітру на висоті опори, м/с*	*Імовірність даної швидкості, %*	*Тривалість даного вітру, год*	*Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс*	*Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс*
Січень	0-1	0,5	0,72	21,5	156,95	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	26,9	196,37	11,78	0,06
	4-5	4,5	6,50	21,8	159,14	100,26	0,50
	6-7	6,5	9,39	13,6	99,28	170,66	0,85
	8-9	8,5	12,28	8,4	61,32	144,10	0,72
	10-11	10,5	15,16	4,7	34,31	80,63	0,40
	12-13	12,5	18,05	1,8	13,14	30,88	0,15
	14-15	14,5	20,94	0,8	5,84	13,72	0,07
	16-17	16,5	23,83	0,5	3,65	8,58	0,04
			Сума:	100	730	560,61	2,80
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			573,05		

Аналогічно розраховано інші місяці (Додаток А). Результати зведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Виробіток електроенергії за рік

Місяць	*Тривалість робити ВЕС, год.*	*Виробіток електроенергії однією ВЕУ, ГВт•год/міс.*	*Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.*
Січень	573,05	0,561	2,803
Лютий	591,3	0,582	2,908
Березень	576,7	0,619	3,093
Квітень	602,25	0,581	2,905
Травень	599,33	0,521	2,604
Червень	587,65	0,474	2,368
Липень	579,62	0,425	2,124
Серпень	560,64	0,395	1,976
Вересень	556,99	0,406	2,032
Жовтень	549,69	0,462	2,309
Листопад	582,54	0,600	3,001
Грудень	530,71	0,529	2,645
Загалом:	6890,47	6,15	30,77

Для зручності виробіток за рік поданий у вигляді графіку на рис. 4.6.

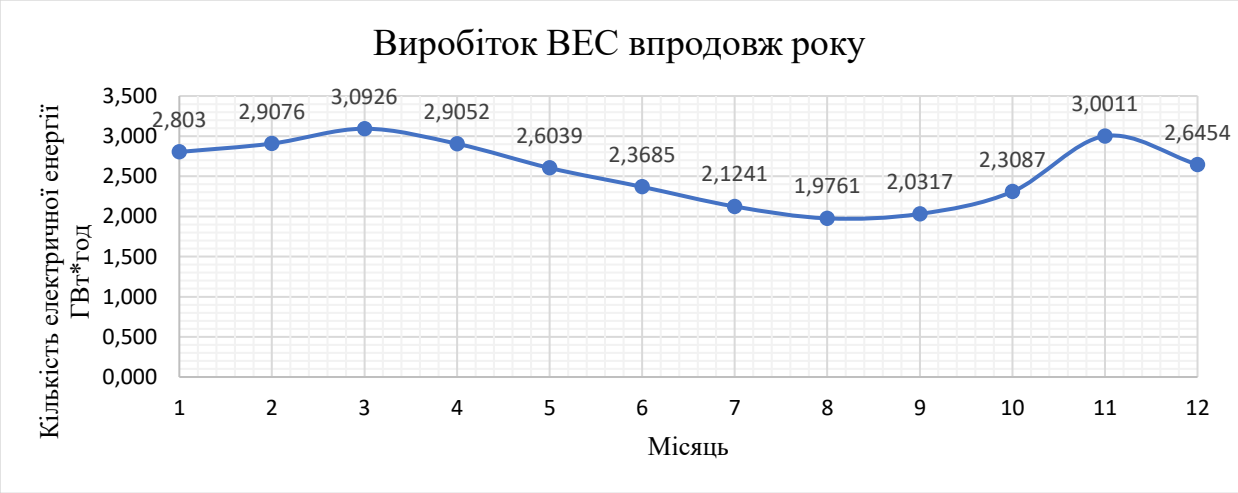


Рисунок 4.6 – Графік виробітку ВЕС впродовж року

Далі знайдемо прогнозований виробіток електроенергії нашою ВЕС протягом року за даною формулою:

$$E_{\text{заг.}} = \sum_{i=1}^{12} E_{\text{ВЕС міс. } i} = 30{,}77 \text{ (ГВт} \cdot \text{год)} \quad (4.7)$$

4.4.2. Визначення втрат

Щоб визначити чистий реальний виробіток ВЕС необхідно розрахувати втрати електричної енергії.

Втрати описуються у відсотках від загального виробітку ВЕС за рік. До втрат електричної енергії відносяться:

- Електричні втрати – відбуваються в трансформаторах, турбінах, кабелях і тд. (2,5%);
- Витрати по технічній готовності (5%);
- Витрати пов’язані зі зміною шорсткості поверхні лопаті (0,3%);
- Втрати на гістерезис при вмиканні і вимиканні ВЕУ (0,1 – 0,2%);
- Втрати на обмерзання (до 2%);
- Витрати при відключенні мережі (до 1%).

Дані розрахунку втрат електроенергії для ВЕС наведено в табл. **0**.8.

Таблиця 0.8 – Розрахунок величини втрат електричної енергії

Тип втрат електроенергії	*Частка від загального річного виробітку, %*	*Втрати електроенергії, ГВт•год/міс.*
Електричні	2,5	0,77
По технічній готовності	5	1,54
Пов'язані зі зміною шорсткості поверхні лопаті	0,3	0,09
На гістерезис	0,13	0,04
При обмерзанні лопаті	1,4	0,43
При відключенні мережі	1	0,31
Загалом:	10,33	3,18

Загальні втрати електричної енергії складають:

$$E_{\text{з.втр.}} = \sum_{i=1}^{6} E_{\text{втр. } i} = 3{,}18 \text{ (ГВт} \cdot \text{год)} \quad (4.8)$$

Чистий реальний виробіток за рік ВЕС з урахуванням втрат електричної енергії становить:

$$\text{E} = E_{\text{заг.}} - E_{\text{з.втр.}} = 30{,}77 - 3{,}18 = 27{,}59 \text{ (ГВт} \cdot \text{год)} \quad (4.9)$$

4.5. Будівництво ВЕС

Майданчик ВЕС відповідає наступним вимогам:

- Максимальний виробіток електроенергії;
- Сприятливі природні умови для будівництва ВЕС;
- Мінімальний обсяг земельних робіт;
- Мінімальні затрати на монтаж і доставку ВЕУ;
- Мінімальний вплив на навколишнє середовище та населення.

Фундамент розраховується з дотриманням вимог статичної міцності, стійкості, витривалості та твердості. Глибина закладення фундаменту обирається з врахуванням наступних факторів:

- Від рельєфу місцевості;
- Від гідрологічних умов місцевості;
- Від геологічних умов місцевості;
- Глибини промерзання ґрунту;
- Тип ґрунту.

Під час монтажу і експлуатації ВЕУ також необхідно врахувати додаткові навантаження на ґрунт:

- Гравітаційні;
- Інерційні навантаження;
- Аеродинамічні (обтікання вітром рухомих і нерухомих частин ВЕУ);
- Експлуатаційні (викликані в процесі використання);
- Навантаження на фундамент в результаті вібрації.

4.6. Конструктивні та технічні рішення транспортування ВЕУ

4.6.1. Транспортна схема доставки вантажів на будівельний майданчик

Шлях транспортування починається з порту Arthur-Transvaal, Німеччина. Морським шляхом до Чорноморського морського порту. Далі по трасі Т1641 до будівельного майданчику. Усі обрані траси відповідають вимогам транспортування, а також не проходять крізь великі міста. Тому це полегшить транспортування. Доставка по країні виробника та до Херсонського морського порту здійснює виробник. Транспортування на території України також ведеться виробником, або можна найняти логістичні компанії.

Перелік необхідних вантажів, що потрібно доставити на місце будування ВЕС:

1. Компоненти ВЕУ (масо-габаритні показники зазначені в табл. 4.9.);

Таблиця 4.9 – Масо-габаритні розміри частин 5 ВЕУ

Кількість, шт.	*Опис*	*Макс. довжина, м.*	*Макс. ширина, м.*	*Макс. висота, м.*	*Маса, т.*	*Загальна маса, т.*
15	Лопать	50,0	4,0	–	12	180
5	Ротор	4,0	3,8	3,2	42	210
5	Маточина	3,5	3,5	3,0	30	150
5	Гондола	7,5	4,0	4,0	88	440
25	Частина башти	19,0	4,3	4,3	40	1000
	Загалом:					1980

2. Основний та допоміжний монтажний кран;
3. Спеціальна транспортна техніка для перевезення великогабаритних та великовагових вантажів;
4. Будівельна техніка (підйомно-транспортне обладнання, дорожньо-будівельна техніка, обладнання для виробництва будівельних матеріалів, техніка для земельних робіт, ін.);

5. Будівельні матеріали (сипучі матеріали, арматура, дрібноштучні матеріали, металеві конструкції, ін.);
6. Електротехнічне обладнання та кабельна продукція;
7. Господарсько-побутові блоки;
8. Паливно-мастильні матеріали.

4.6.2. Основні вимоги до перевезень

До основних вимог щодо перевезень та транспортних питань відносяться наступні:

1. Мінімальна ширина доріг – 5 м;
2. Мінімальна ширина узбіччя – 1 м;
3. Мінімальні габарити по висоті транспортування – 6 м;
4. Мінімальні габарити по висоті крана – 8 м;
5. Максимальні увігнуті та опуклі повздовжні радіуси доріг – 500 м;
6. Навантаження на дорогу – 16 т на вісь;
7. Покриття – щебінь або гравій.

Параметри автошляхів та технічні рішення щодо транспортування під час будівництва об’єкту повністю задовольняють основним вимогам до перевезень.

4.7. Висновки до розділу

З врахуванням усіх вимог було обрано майданчик під будівництво ВЕУ. Землю планується викупити у власників та провести зміну цільового призначення землі (Земельний кодекс України, стаття 20) та розробляється в порядку, встановленому законом.

Також було обрано ВЕУ. Розраховано прогнозований виробіток ВЕС, який з урахуванням усіх втрат 27,58 ГВт•год за рік, при встановленні потужності – 11,75 МВт. Розроблено 3d модель розташування. Також було описано шлях транспортування високогабаритних частин установок з врахуванням вимог транспортування та їх встановлення.

РОЗДІЛ 5

ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ВОДНЮ

5.1. Вибір місця розташування автономної системи генерації водню

При виборі місця розташування та будівництва систем генерації водню за рахунок відновлюваних джерел енергії слід враховувати декілька головних факторів. В першу чергу слід враховувати потенціал ВДЕ місцевості. Розглядались варіанти в межах України, окуповані території та прилеглі до них не розглядались. Прихід сонячної інсоляції на поверхню було розглянуто в Розділі 1 та був зроблений висновок, що з цього боку найкраще розглядати південні області країни. Про потенціал вітру згадувалось у Розділі 1 та більше детально описано у Розділі 4. З чого можна зробити вибір, що підходить Одеська область. Зона Карпатських гір відкидається через меншу кількість надходження сонячної енергії та недоступність морської води. Крим та інші прибережні території окуповані, або прилягають до окупованих території. Оскільки для електролізу необхідно велика кількість води (приблизно 10 літрів на 1 кг водню), то наступним фактором розглядався доступ до морської води. Це зменшить витрати на її закупівлю, а головне це дозволить не витрачати дорогі запаси прісної води, яких і так вже недостатньо для забезпечення населення необхідною кількістю. Наступним фактором, не менш важливим, являється вибір території, яка не являється зоною заповідників тощо. Інші особливості враховані в Розділі 4.

5.2. Вибір установки електролізу

На сьогоднішній день існує три головні технології електролізу води: лужний електроліз (ALK), протонообмінний електроліз (PEM) 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 PEM відносно інших технологій промислового виробництва водню відносять відсутність необхідності використання лужного каталізатора,

що збільшує термін роботи, а також унеможливлює 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 навантажені, або перенавантаженні. Головним представником у даній технології, як було сказано раніше, являється компанія Siemens. Тому була обрана їх найновіша модель – SILYZER 300. Зовнішній вид електролізерної комірки можна побачити на рис. 5.1.

Рисунок 5.1 – Електролізна комірка SILYZER 300

SILYZER 300 є новітньою і найпотужнішою лінійкою продуктів в діапазоні десятків мегават в лінійці продукції для PEM-електролізу компанії «Сіменс». Модульна конструкція SILYZER 300 дозволяє використовувати унікальні властивості масштабування для мінімізації інвестиційних витрат для

великих промислових електролізних установок. Його компоновка можлива у двох варіантах може включати в себе 12 або 24 модуля (рис. 5.2).

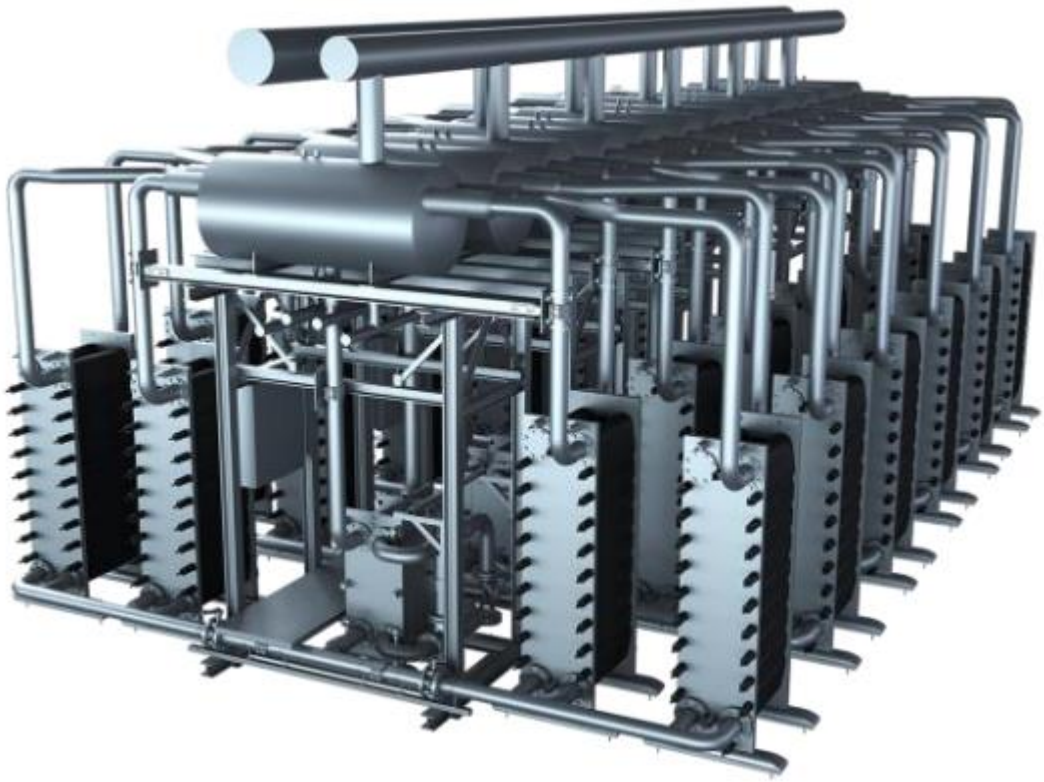


Рисунок 5.2 – Електролізер PEM SILYZER 300

З технічними характеристиками можна ознайомиться у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики електролізеру SILYZER 300

Ефективність роботи всієї системи	75%
Швидкість регулювання потужності	10%/с
Номінальна потужність (12 модулів)	6 МВт
Номінальна генерація водню	120 кг/год
Чистота виробітку продукту	> 99.9 H_2 ; > 99,5 O_2
Споживання води	≈ 10 л/кг H_2
Споживання електроенергії	≈ 50 кВт · год/кг H_2
Час пуску	≈ 1 хв
Мінімальне навантаження	5%
Деградація системи генерації H_2	1,5%/рік
Геометричні розміри	14,0 х 8,0 х 3,5 м

Схема генерації водню зображена на рис. 5.3.

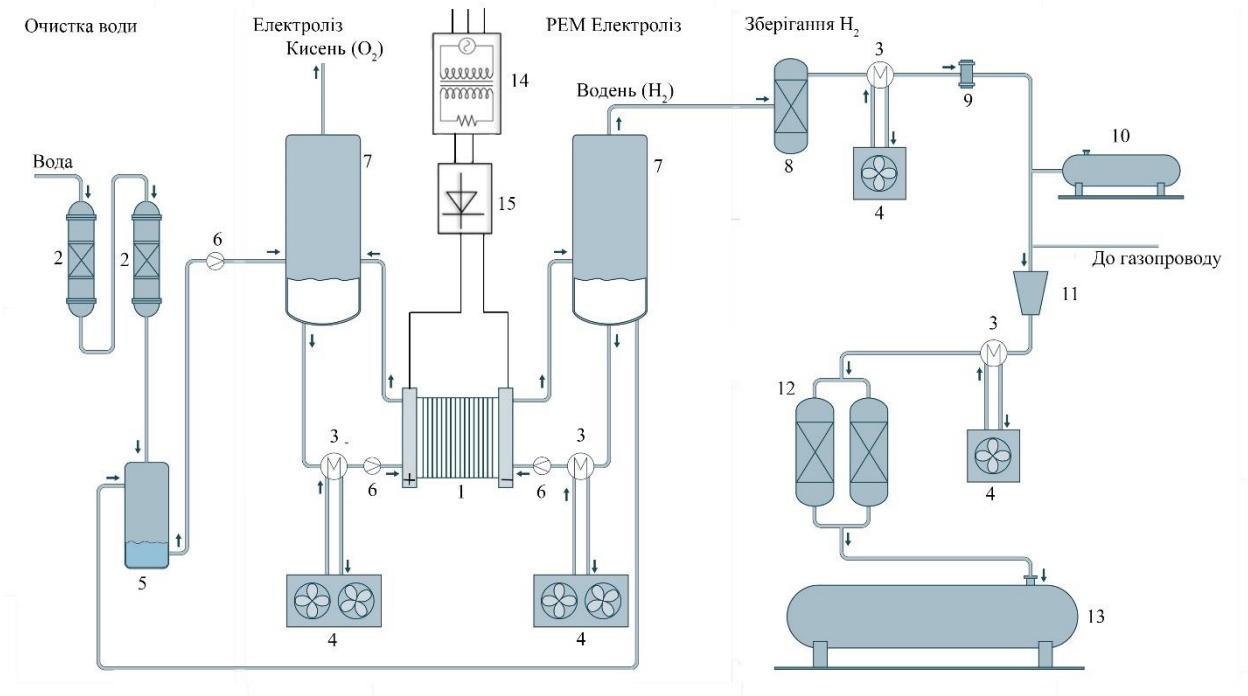


Рисунок 5.3 – Принципова схема генерації водню: 1 – PEM стек; 2 – система грубої очистки води та зворотного осмосу; 3 – теплообмінники; 4 – системи охолодження; 5 – резервуар для води; 6 – циркуляційні насоси; 7 – сепаратори; 8 – розкислювач; 9 – конденсатоуловлювач; 10 – система зберігання водню тиском 30 атм (буферна ємність); 11 – компресорна станція; 12 – осушувач; 13 – система зберігання водню високого тиску; 14 – трансформатор; 15 – випрямляч.

5.3. Допоміжне обладнання

Разом з електролізерами компанія постачає усе необхідне відповідне обладнання. До них входять: трансформатори, випрямлячі, датчики, циркуляційні насоси, системи контролю та безпеки, системи очистки, система охолодження, система зберігання водню (3000 кг). Також у вартість входить будівництво приміщення, де буде розташоване усе необхідне обладнання. Планується побудувати споруду фабричного типу 60х50х8м.

5.4. Подача води до електролізерних установок

Шлях води для нашої системи починається з басейну Чорного моря через водоочисну станцію поблизу села Санжійка, де відбувається груба

очистка від солей. Далі постачання йде по прокладеному підземному водопроводу до майданчика протяжністю до 3,5 км. Це вирішить питання постачання води під час будівництва, а в подальшому буде використовуватись в якості джерела води, що потребує очистки. Наступним і фінальним кроком виступає система зворотного осмосу Ecosoft MO-2 ECONNECT, яку можна побачити на рис. 5.5.

Ecosoft MO-2 ECONNECT – сучасна автоматизована і компактна система зворотного осмосу продуктивністю до 2 м^3/год. У комплект входить все необхідне обладнання, зокрема насос високого тиску, мембранні елементи наднизького тиску, електромагнітні клапани і регулюючі клапани. Також система оснащена автоматизованим контролером і комплектом основних необхідних контрольно-вимірювальних приладів.

Рисунок 5.5 – Система зворотного осмосу Ecosoft MO-2 ECONNECT

Технічні характеристики обраної установки наведено в табл. 5.2

Таблиця 5.2 - Характеристики Ecosoft MO-2 ECONNECT

Технічні характеристики	
Номінальна продуктивність	2 м^3/год
Ступінь вилучення пермеату	до 75%
Витрата води (виробництво)	3-6 м^3/год
Витрата води (промивка)	10 м^3/год
Електричні характеристики	3 × 380 В, 50 Гц
Електрична потужність	4 кВт
Габаритні розміри	1,85 × 0,85 × 1,95 м

Схема очищення води представлена на рис. 5.6.

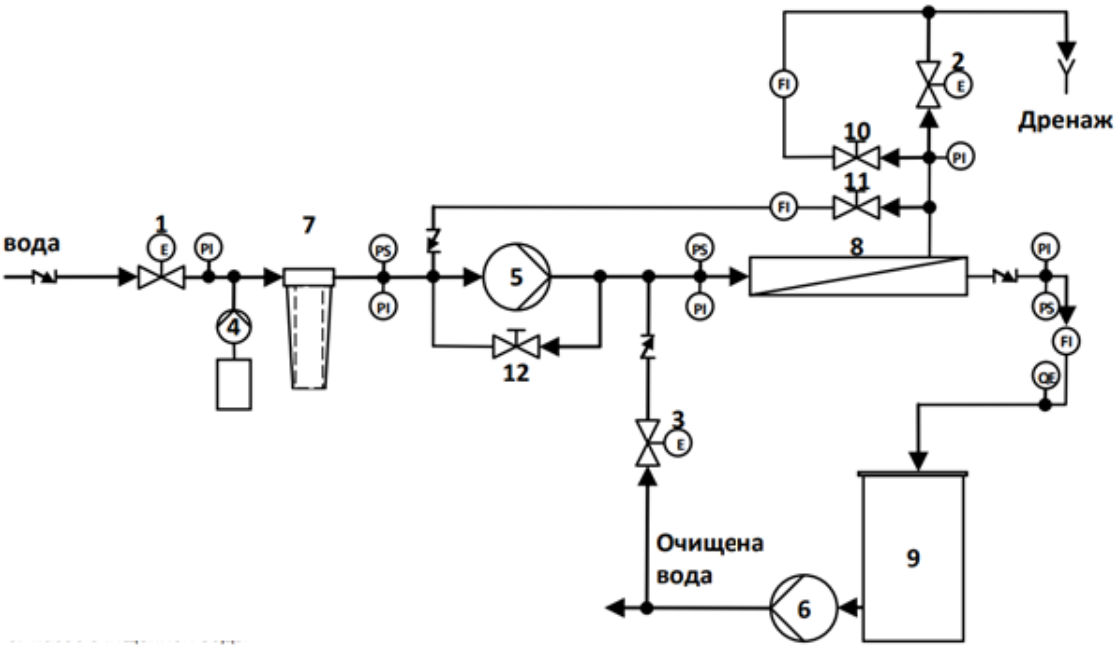


Рисунок 5.6 – Схема зворотного осмосу: 1 – вхідний електричний клапан; 2 – електричний клапан промивки; 3 – Електричний клапан промивки очищеною водою; 4 – насос-дозатор; 5 – насос високого тиску; 6 – насос очищеної води; 7 – фільтр грубої очистки; 8 – мембранний модуль; 9 – резервуар для пермеату; 10 – редуктор скидання; 11 – редуктор рецикла; 12 – обхідний кран насосу високого тиску

Дана установка у повному обсязі забезпечує систему генерації водню очищеною до відповідного рівня водою. Надлишки йдуть у накопичувальний резервуар та на забезпечення водою персоналу.

5.5. Прогнозування виробітку водню

Для прогнозу генерації водню за рахунок ВЕС були опрацьовані данні розрахунків Розділу 4 та Додатку Б і В, що дозволило оцінити забезпечення електролізерів електроенергією. Отримані результати зведені у діаграму та зображено на рис. 5.7.

Рисунок 5.7 – Діаграма забезпечення електролізера електроенергією впродовж року за рахунок ВЕС(8760 годин)

Далі за спрощеною формулою було пораховано прогноз генерації водню за 1 рік та склав:

$$m_{H_2/\text{рік}} = \sum_{i=1}^{9} m_{H_2 i} \cdot t_i = 566{,}7(\text{тис. кг}) \quad (5.1)$$

де $m_{H_2/\text{рік}}$ – генерація водню впродовж року, тис. кг;

$m_{H_2 i}$ – генерація водню при і-тому забезпечені електролізерів електроенергією;

t_i – прогнозований час і-того забезпечення електролізерів електроенергією;

Аналогічно розрахована генерація водню для варіанту забезпечення за рахунок СЕС:

$$m_{H_2/\text{рік}} = \sum_{i=1}^{n} m_{H_2 i} \cdot t_i = 288{,}2(\text{тис. кг}) \quad (5.1)$$

5.6. Порівняння компоновки системи з ВЕС та ФЕС

Проаналізувавши результати попередніх розділів та отримані розрахунку генерації водню можна прослідкувати, що при відносно однаковій потужності електростанції генерація водню відрізняється майже у два рази. Також слід враховувати, що навіть при орієнтуванні сонячних панелей на зимовий період прослідковується тривалий час простою електролізерного обладнання за рахунок відсутності генерації електроенергії, або лише часткового забезпечення нею. Ще слід враховувати тривалість дня, від якого напряму залежить генерація фотоелектричних модулів (в середньому це 8 годин повного простою у літній період та 16 годин у зимній). Наступну перевагу ВЕС над СЕС можна відмітити у більшій інертності системи при перепадах генерації. Це знаходить своє відображення у тому, що при затуханні вітру вітроколесо ще деякий час крутиться і продовжується генерація електроенергії, у свою чергу фотоелектричний модуль майже миттєво втрачає високий відсоток генерації електроенергії вже при малому затіненні.

Підсумком слугує те, що на сьогоднішній день для автономної системи генерації водню без інших акумулюючих систем ВЕС виступає кращим варіантом для забезпечення усього виробництва електроенергією.

5.7. Видача згенерованого водню

Малу частину згенерованого водню планується зберігати у сховищах високого тиску з подальшим транспортуванням у місця збуту . Головну ж частину готового продукту планується транспортувати вантажівками зі спеціальними причепами для транспортування водню до Одеського припортового заводу, що знаходиться в 70 км від місця розташування майданчику. Також на близькі відстані можливе постачання водню газотранспортною системою, наприклад до Одеського Нафтопереробного заводу. І ще одним перспективним ринком збуту продукції може стати система автомобільних заправок, що вже розвивається у передових державах світу.

5.8. Висновки до розділу

Обрано технологію генерації водню промислового масштабу серед існуючих на момент сьогодення, розраховано попередній прогноз генерації водню за рахунок ВЕС та ФЕС та порівняно їх переваги.

За отриманими даними у цьому розділі можна зробити висновок, що ВЕС на сьогоднішній день виступає кращим варіантом забезпечення системи електричною енергією.

РОЗДІЛ 6

СТАРТАП ПРОЕКТ

6.1. Опис стартап-проекту

Головна ідея стартапу – це виробництво та продаж водню високої чистоти. Загальний опис ідеї поданий у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Загальний опис ідеї стартапу

Зміст ідеї	Напрям застосування	Вигода
Розширення використання потенціалу ВДЕ за рахунок виробітку водню та кисню методом електролізу.	Енергетична галузь, нафтопереробна, хімічна та металургійна промисловість	Прибуток за рахунок продажу продуктів електролізу – водню та кисню високої чистоти.

Даний проект спрямований на аналіз доцільності реалізації системи генерації водню в умовах сьогодення на основі техніко-економічних розрахунків.

Суттєвою перевагою в порівнянні к пропозиціями конкурентів виступає те, що даний проект дозволяє скоротити період окупності автономної системи генерації водню за рахунок впровадження систем зберігання, транспортування та продажу кисню у медичну, хімічну та металургійну сфери. Продаж здійснюється за тарифом 0,16$ за кг. Опис інших слабких та сильних сторін поданий у табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Визначення сильних та слабких сторін ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики	Мій проект	Компанія Siemens	Компанія ДТЕК	MTU CFC Solutions	Слабка сторона	Нейтральна сторона	Сильна сторона
Чистота продукції	>99%	>99%	≈95%	≈95%			+
Транспортування	Газоносні системи та наземний транспорт	Газоносні системи	наземний транспорт	наземний транспорт			+
Вартість	4-7$	6-7$	2-3$	3-4$		+	
Побічні продукти	Продаж	Скид у атмосферу	Необхідна утилізація	Необхідна утилізація			+
Забруднення довкілля	Відсутнє	Відсутнє	Вуглецеве забруднення	Вуглецеве забруднення			+
Підтримка зі сторони держави	Відсутня	Присутня	Немає необхідності	Немає необхідності	+		

Окрім сторін наведених у таблиці, ще однією слабкою стороною проекту є збільшення кількості сховищ для збереження кисню та будівництво нового шляху транспортування продукції, що збільшує капіталовкладення усієї системи.

З аналізом ринку можна ознайомитись у табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Попередня оцінка потенційного ринку

Кількість головних гравців	Сьогодні в Україні схожу продукцію виробляють лише декілька компаній. При цьому їх обсяги продукції досить незначні.
Обсяг продажу	До 550 тис. кг за рік, що принесе прибуток у розмірі 60 – 110 млн. грн в залежності від ціни продукції
Динаміка ринку	Зростаюча
Обмеження для входу	Головними обмеженнями для входу являться висока вартість системи та непідготовленість законодавства України (відсутність підтримки галузі)
Специфічні вимоги стандартизації	Галузь для України вважається відносно новою, тому необхідно розробити нові стандарти. (Наприклад охорона праці використовується ще часів СССР)

Головними клієнтами являються великі компанії, що мають великі виробничі потужності, тому для них основними критеріями виступають якість та ціна товару. Фактори можливостей та загроз впровадження проекту подані у табл. 6.4 та 6.5.

Таблиця 6.4 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Реакція компанії
Ціна продукту	Технологія стрімко розвивається, тому ціна продукту знижується	Перегляд цінової політики як реакція на зниження ціни у світі
Ринок збуту	Компанія ще невідома, тому виникає необхідність самому знаходити базу клієнтів	Створення відділу по пошуку та аналізу потенційних клієнтів
Технологічний прогрес	Поява нових технологій, що випереджають технологічний процес компанії.	Проведення енергетичних аудитів та впровадження нових технологій в систему.

Таблиця 6.5 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Реакція компанії
Важкість транспортування	Важке транспортування продукції зменшує вірогідність вторгнення на обраний ринок конкурентів.	Перегляд цінової політики відповідно до залежності потенційних клієнтів від нашої продукції.
Новизна сфери	Дана технологія вважається новою для нашого регіону, а тому ще немає великих потужностей виробництва цього продукту.	Можливість зайняти передові позиції у даній галузі та ведення агресивної економіки, щоб зменшити кількість конкурентів та створити свої умови диктування ринку.

6.2. Економічний розрахунок та порівняння

Проведемо економічний розрахунок для системи генерації водню при різних компоновках (генерація електричної енергії за рахунок СЕС чи ВЕС) без додаткових витрат для продажу кисню та з ідеєю стартапу.

6.2.1. Структура витрат на реалізацію проекту СЕС

Оцінка вартості будівництва СЕС

Капітальні вкладення в будівництво ФЕС складаються з вартості обладнання, витрат на проектування, монтаж і налагодження обладнання, будівельної частини. Структура та відповідні значення витрат при будівництві і монтажі ФЕС наведено в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Структура капітальних витрат

Стаття капітальних витрат	*Частка від суми капітальних витрат, %*	*Сума витрат, млн. грн.*
1. Підготовчі роботи	3	7,26
2. Вартість ФЕС	85,1	206,08
3. Фундамент	1	2,42
4. Електромонтажні роботи	4,5	10,90
5. Будування доріг	2	4,84
6. Консультаційні послуги	1,4	3,39
7. Земельні витрати	3	7,26
Загалом:	100	242,16

Розрахунки вартості обладнання ФЕС з усіма актуальними цінами представлені у таблиці 6.7

Таблиця 6.7 - Актуальні ціни на обладнання

Назва	**Кількість**	**Ціна за одиницю (грн)**	**Сумарна вартість (млн. грн)**
Фотоелектрична панель	38400	3390	130,176
Кабель	96000	26	2,496
Інвертор	200	125000	25,000
Кріплення	38400	1100	42,240
Плавкий запобіжник	4800	550	2,640
Обмежувач перенапруги	200	8800	1,760
Вимикач навантаження	1200	1470	1,764
Загальна вартість			**206,076**

Поточні витрати

Значення поточних витрат при експлуатації і обслуговувані ВЕС за перший рік наведено в табл. 6.8.

Таблиця 6.8 – Структура поточних витрат

Стаття поточних витрат	*Частка від суми поточних витрат, %*	*Сума витрат, млн. грн.*
1. Експлуатація	67,3	28,76
1.1. Ремонт	80	23,01
1.1.1. Поточний	94	21,63
1.1.2. Капітальний	6	1,38
1.2. Обслуговування	20	5,75
2. Інші витрати	32,7	13,97
Загалом:	100	42,73

Інвестиційні затрати

Щодо сумарних інвестиційних витрат, то вони складаються із сумарної вартості поточних витрат при першому році експлуатації та вартості сумарних капітальних витрат. Значення інвестиційних витрат для експлуатації та будівництва об’єкту приведені в табл. 6.9.

Таблиця 6.9 – Інвестиційні затрати

Стаття інвестиційних витрат	*Частка від суми поточних витрат, %*	*Сума витрат, млн. грн.*
1. Капітальні витрати	85	242,16
2. Поточні витрати	15	42,73
Загалом:	100	284,89

Сумарні інвестиційні витрати для монтажу, будівництва та експлуатації ФЕС встановленою потужністю 12,288 МВт становлять 284,89 млн. грн.

6.2.2. Структура витрат на реалізацію проекту ВЕС

Оцінка вартості будівництва ВЕС

Загальні інвестиційні витрати складають – 480,36 млн. грн. До них входять 336,25 млн. грн (70%) капітальні витрат, а також 144,11 млн. грн (30%) поточних витрат.

Основна частина вартості ВЕС складається з обладнання ВЕУ, підготовчих робіт, будівельних заходів, витрат на планування та транспортування. На сьогоднішній день (27.11.20) вартість ВЕС мегаватного класу складає 1 мільйон доларів за 1 МВт встановленої потужності. Курс долара на сьогодні складає 28,25 грн. Потужність у 11,75 МВт обійдеться у 336,25 млн. грн.

Планується купити 165 Га землі у Одеській області. Ціна за 1 Га землі складає – 34,67 тис. грн. Значення капітальних витрат наведені у табл. 6.10.

Таблиця 6.10 – Структура капітальних витрат

Стаття капітальних витрат	*Частка від суми капітальних витрат, %*	*Сума витрат, млн. грн.*
1. Підготовчі роботи	8	26,90
2. Вартість ВЕУ	74,4	250,17
3. Фундамент	5	16,81
4. Електромонтажні роботи	6,5	21,86
5. Будування доріг	2	6,73
6. Консультаційні послуги	2,4	8,07
7. Земельні витрати	1,7	5,72
Загалом:	100	336,25

Оцінка поточних витрат

Значення поточних витрат при експлуатації і обслуговувані ВЕС за перший рік наведено в табл. 6.11.

Таблиця 6.11 – Структура поточних витрат

Стаття поточних витрат	*Частка від суми поточних витрат, %*	*Сума витрат, млн. грн.*
1. Експлуатація	67,3	96,98
1.1. Ремонт	80	77,59
1.1.1. Поточний	94	72,93
1.1.2. Капітальний	6	4,66
1.2. Обслуговування	20	19,40
2. Інші витрати	32,7	47,12
Загалом:	100	144,11

Сумарні інвестиційні витрати

Сумарні інвестиційні витрати складаються із вартості поточних витрат за перший рік та капітальних витрат на будівництво ВЕС. Їх значення приведені у табл. 6.12.

Таблиця 6.12 – Інвестиційні затрати

Стаття інвестиційних витрат	*Частка від суми поточних витрат, %*	*Сума витрат, млн. грн.*
1. Капітальні витрати	70	336,25
2. Поточні витрати	30	144,11
Загалом:	100	480,36

Сумарні інвестиційні кошти для побудови та введення в експлуатацію ВЕС 11,75 МВт складають – 480,36 млн. грн.

6.2.3. Структура витрат на обладнання генерації водню

Розрахунок з усіма цінами представлений у таблиці 6.13. Ціни були взяті з прайс листу постачальника та порівнянні з дослідженням цін на даний тип обладнання [29 та 30].

Таблиця 6.13 - Прайс на обладнання та монтаж №1

Система	**Для 1 МВт ($)**	**Для нашої системи ($)**
Система живлення	198225	1189350
Деіонізація та циркуляція води	87082	522492
Переробка водню	83880	503280
Система охолодження	28679	172074
Різне	6000	36000
PEM стеки	241225	1447350
Коефіцієнт націнки на обладнання виробника	322545	1935270
Вартість установки та налагодження	212880	1277280
Вартість транспортування	85000	510000
Разом	1265516	7593096

За розрахованими даними виробітку водню у Розділі 5 та сумарними капітальними витратами було розраховано період окупності системи для двох варіантів компоновки та обрано кращий. Вартість виробленого “зеленого” водню на момент сьогодення (01.12.2020) варіюється від 3-5$/кг для індустрії до 7$/кг для автомобільної промисловості. Результати обрахунків зведені у графіки та подані на рис. 6.1 та 6.2. Порівнявши їх можна зробити висновок, що для обраної місцевості доцільнішим варіантом являється автономна система генерації водню саме за рахунок вітроелектричних установок. Тому надалі розширення технології розглядалось лише для цього варіанту компоновки системи.

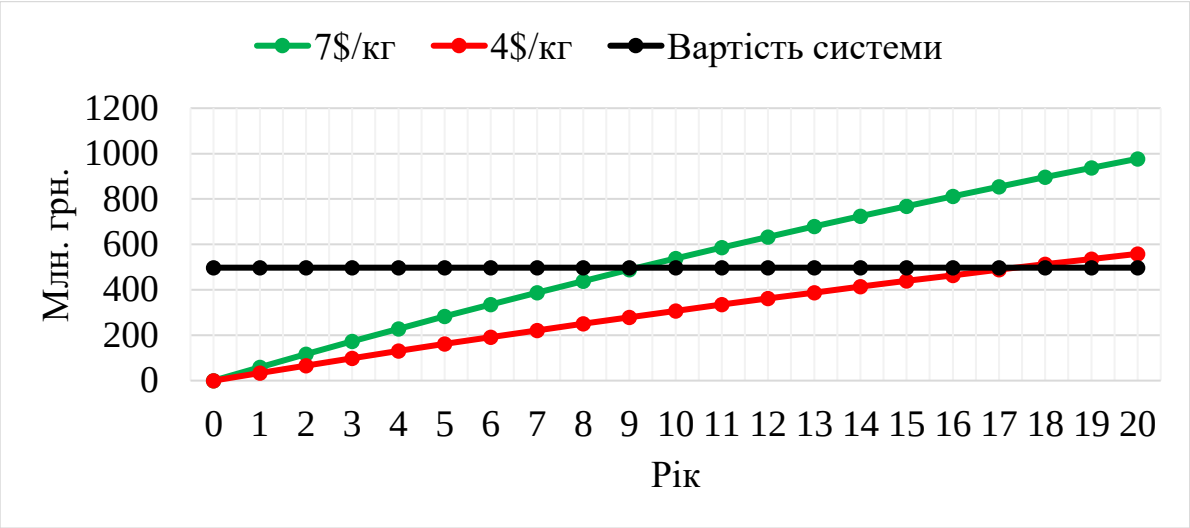


Рисунок 6.1 – Період окупності системи в компоновці з СЕС за рахунок продажу водню

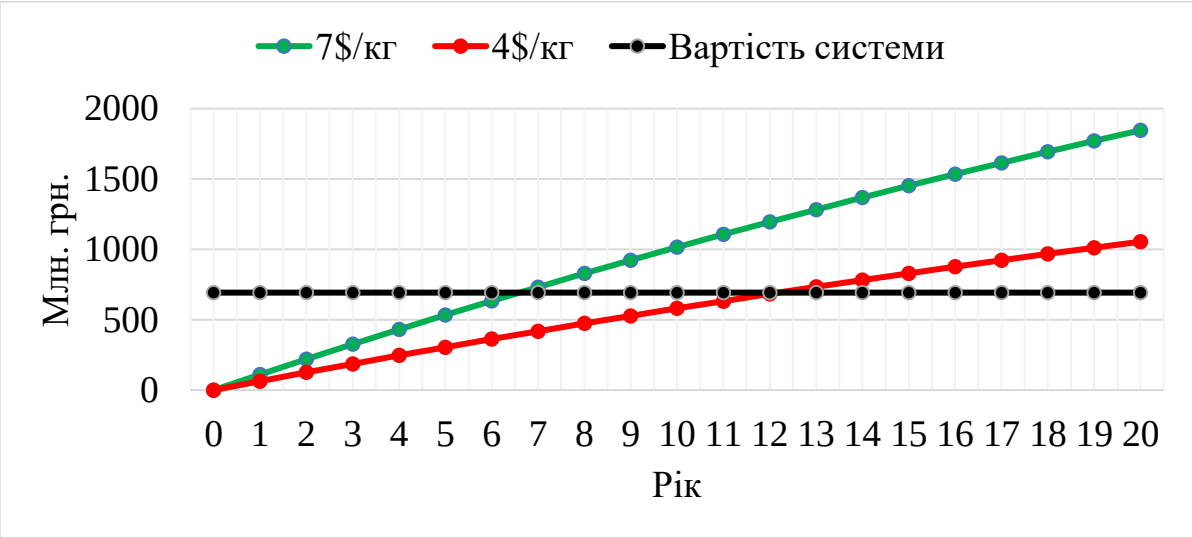


Рисунок 6.2 – Період окупності системи в компоновці з ВЕУ за рахунок продажу водню

6.2.4. Структура витрат на обладнання генерації водню при використанні ідеї стартапу

Як було вже сказано у попередніх розділах кисень являється побічним продуктом генерації водню шляхом електролізу води, при чому досить високої чистоти. Тому було б доцільно його збирати та реалізовувати у різних сферах життєдіяльності людства, наприклад у медичній, хімічній, металургійній, космічній тощо.

Щоб це реалізувати необхідно впровадити додаткове обладнання для збору, компресії та зберігання кисню. Також слід додати витрати на додаткове

транспортування при підрахунку капітальних витрати. Витрати на будування ВЕС залишаються незмінні. Зміни вартості системи можна побачити у табл. 6.14.

Таблиця 6.14 – Прайс на обладнання та монтаж №2

Система	Для 1 МВт($)	Для нашої системи ($)
Система живлення	198225	1189350
Деіонізація та циркуляція води	87082	522492
Переробка водню	83880	503280
Переробка кисню	20000	120000
Система охолодження	28679	172074
Різне	6000	36000
PEM стеки	241225	1447350
Коефіцієнт націнки на обладнання виробника (50%)	322545	1935270
Вартість установки та налагодження (20%)	212880	1277280
Вартість транспортування	170000	1020000
Разом	1370516	8223096

Окупність системи була розрахована аналогічним способом, була зведена у графік, що зображений на рис. 6.3.

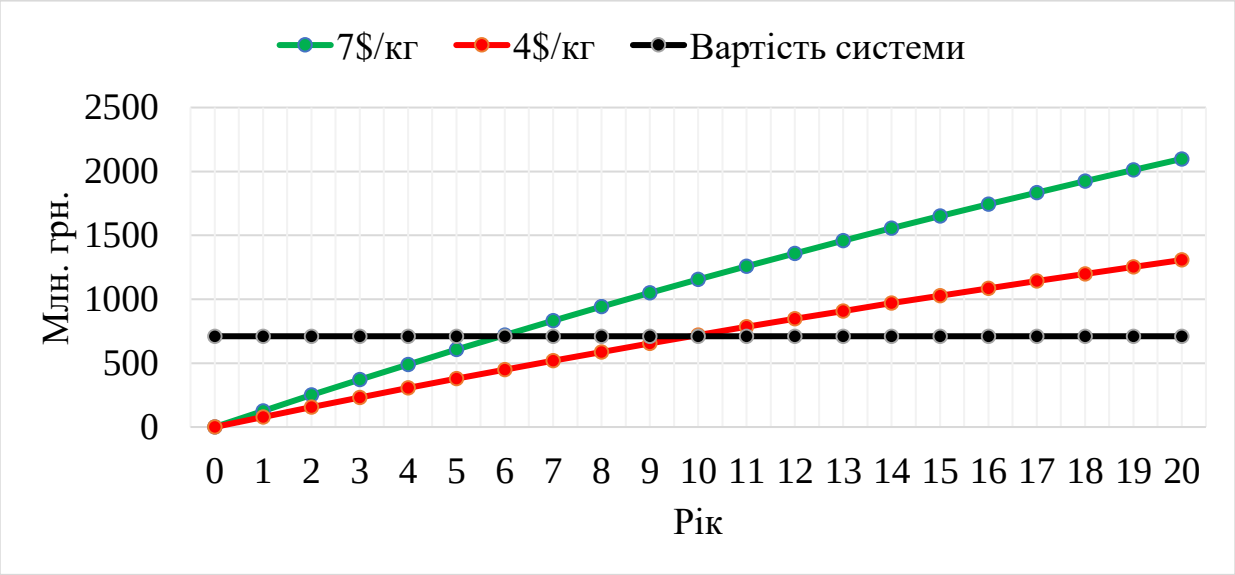


Рисунок 6.3 – Період окупності системи за рахунок продажу водню та кисню

6.3. Висновки до розділу

Проведено попередню оцінку вартості автономної системи генерації водню у різних компоновках для обраного майданчику. Встановлено, що загальна вартість системи у компоновці з СЕС складає 497,49 млн. грн, а при забезпеченні електроенергією за рахунок ВЕС – 692,61 млн грн. Також для кожного варіанту було розраховано період окупності при різній ціновій політиці виробництва. За отриманими даними було обрано кращий варіант та проведено додаткові розрахунки періоду окупності при впроваджені модернізації виробництва. Період окупності склав від 6 до 10 років в залежності від ринку на який буде спрямоване виробництво продукції.

Були розглянуті сильні та слабкі сторони ідеї стартапу. Також оцінено фактори можливостей та загроз. У поєднанні з попередньою оцінкою потенціального ринку, а також аналізу ризиків будівництва проекту можна зробити висновок, що на момент сьогодення впровадження автономних систем генерації водню досить ризиковане через свою високу вартість та довгий період окупності.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Перелік нормативних документів

Перед початком роботи персоналу слід ознайомитись з наступними нормативними документами:

- «Правил улаштування електроустановок» (далі ПУЕ)
- НПАОП 0.00-1.15-07. Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті
- НПАОП 24.11-1.03-78. Правила безпеки при виробництві водню методом електролізу води
- НПАОП 0.00-1.81-18 Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском
- «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕЕ)
- НПАОП 40.1-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок

7.2. Загальні вимоги до персоналу

Власник повинен забезпечити організацію експлуатації певного обладнання (розробити і затвердити виробничу інструкцію для персоналу, який обслуговує обладнання, забезпечити працівників цими правилами, інструкціями, що діють у межах підприємства, розробити і затвердити виробничу інструкцію для персоналу), призначити особу відповідальну за відповідне господарство та особу, яка буде її заміщувати (окремих спеціалістів для кожної сфери). Відповідальна особа забезпечує повний обсяг організаційних і технічних заходів з експлуатації.

До проведення робіт та обслуговування обладнання допускаються лише спеціально підготовлені працівники, що мають необхідну кваліфікацію та яким виповнилось 18 років. Дані працівники повинні проходити інструктажі – вступний, первинний повторний, позаплановий, цільовий з записом у відповідному журналі. Працівники в процесі трудової діяльності проходять навчання – професійне, періодичне, щорічне. Перевірка знань проводиться 1

раз на рік, а у відповідальної особи – 1 раз на 3 роки з питань техніки експлуатації електроустановок.

7.3. Загальні вимоги для безпечної експлуатації електричного обладнання об’єкту

Для уникнення електротравм від контакту з струмопровідними елементами електроустаткування, потрібно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях, до яких обмеженим доступом, або у металевих шафах;
- використовувати засоби для орієнтації в електроустаткуванні - таблички, написи, попереджувальні знаки;
- підвід кабелів електроживлення до споживачів здійснювати у закритих конструкціях у стінах та підлозі;

При підключенні однофазних споживачів струму до трифазної мережі при напругах до 1000 В необхідно використовувати нульовий захисний провідник. При пробої на корпус відбувається КЗ. В результаті цього спрацьовує система захисту від КЗ, що у свою чергу відключає пошкодженого споживача від мережі.

Згідно з нормативами, необхідно забезпечити кратність струму КЗ в залежності від типу запобіжника, а також необхідно забезпечити цілісність нульового захисного провідника.

Персонал, що обслуговує електроустановки та його обладнання, повинен мати необхідні засоби захисту. Перед застосуванням захисного спорядження персонал повинен перевірити їх справність, оглянути на відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити від пилу, перевірити дату наступної перевірки за штампом. Використовувати засоби захисту, термін придатності яких сплинув, забороняється.

Використовують основні та допоміжні засоби електрозахисту. Основними засобами електрозахисту називають засоби, ізоляція яких витримує робочу напругу протягом тривалого часу, що захищає персонал при

дотику до струмопровідних частин, які підключені до мережі та знаходяться під напругою. До них відносяться: діелектричні рукавиці; ізолювальні штанги; інструмент з ізольованими ручками; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги.

Додатковими засобами електрозахисту називають засоби, які захищають персонал від напруги кроку, напруги дотику, попереджають персонал про можливу помилкову дію. До них належать: діелектричні килимки; діелектричні калоші; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки.

Роботи по обслуговуванню електричного обладнання.

При роботі, яка пов’язана з доторками до струмоведучих частин обладнання, необхідно на пусковому пристрої розмістити попереджувальний знак " ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ,НЕ ВМИКАТИ ".

Відключені комутаційні апарати напругою до 1000 В з неможливими для огляду контактами (рубильники в закритому виконанні, пакетні вимикачі, автоматичні вимикачі тощо) визначають перевіркою відсутності напруги та струму на їх затискачах або на шинах, проводах, які відключаються цими комутаційними апаратами. В електрообладнанні до 1000 В при роботі на збірних шинах розподільного пристрою, щитків напруга повинна бути знята та шини повинні бути заземлені (окрім шин, які виконані з ізольованим проводом). Можливість та необхідність встановлення та приєднання на цих розподільчих пристроях, щитках, збірках і підключеного до них обладнання визначає спеціальний працівник, який видає розпорядження.

7.4. Експлуатація обладнання під тиском

Кожне обладнання під тиском повинно супроводжуватись експлуатаційною документацією. До журналу нагляду (паспорта) має прикладатися настанова (інструкція) з монтажу і експлуатації, що містить вимоги до відновлення і контролю металу при монтажі і експлуатації в період розрахункового строку служби. Виробники (їх уповноважені представники) або постачальники (імпортери) обладнання під тиском або їх складових частин

закордонного виробництва мають забезпечити їх експлуатаційними документами (паспорти, настанови щодо монтажу та експлуатації), табличками і маркуваннями, викладеними технічним файлом.

Елементи обладнання під тиском, в яких можливий нагрів стінок вище допустимої температури, повинні бути теплоізольовані.

Конструкція газоходів повинна виключати можливість утворення вибухонебезпечного скупчення газів.

Місця, які з технічних причин не можна забезпечити природнім освітленням, повинні мати електричне освітлення. Освітленість повинна відповідати вимогам НД. Крім робочого освітлення, в приміщенні повинно бути аварійне електричне освітлення.

Не дозволяється доручати обслуговувальному персоналу, який знаходиться на чергуванні, виконання інших робіт під час роботи обладнання під тиском, не передбачених виробничою інструкцією.

Допускається експлуатація системи без постійного нагляду за їх роботою обслуговувальним персоналом за наявності автоматики, сигналізації і захисту, що забезпечують ведення безпечного режиму роботи, ліквідацію аварійних ситуацій з пульта керування, а також зупинку обладнання при порушеннях режиму роботи.

Перевірка справності роботи манометрів, запобіжних клапанів, покажчиків рівня води і живильних пристроїв повинна проводитись не рідше одного разу на добу. Про результати перевірки робиться запис у змінному журналі.

Обладнання під тиском має бути негайно зупинено і відключено персоналом у випадках, передбачених виробничою інструкцією, а також у випадках:

1) виявлення несправностей запобіжних пристроїв через підвищення тиску;

2) припинення роботи живильних пристроїв;

3) припинення роботи покажчиків рівня води прямої дії;

4) якщо в основних елементах обладнання під тиском будуть виявлені тріщини, випини, пропуски в їх зварних швах, обрив анкерного болта або в’язі;

5) недопустимого підвищення або зниження тиску;

6) несправності автоматики безпеки або аварійної сигналізації, включаючи зникнення напруги на цих пристроях;

7) виникнення пожежі, яка загрожує обслуговувальному персоналу, посудині, що знаходиться під тиском;

8) несправності манометра і неможливості визначити тиск за допомогою інших приладів.

7.5. Загальні вимоги до балонів

- Балони для стиснених, зріджених і розчинених газів місткістю більше 100 л повинні супроводжуватися журналом нагляду (паспортом).
- На балони місткістю понад 100 л повинні встановлюватися запобіжні клапани. При груповому встановленні балонів допускається встановлення запобіжного клапана на всю групу балонів.
- 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.
- Кожний вентиль балонів для вибухонебезпечних горючих речовин, шкідливих речовин 1 і 2 класів небезпеки повинен бути забезпечений заглушкою, яка накручується на боковий штуцер.
- Вентилі в балонах для кисню повинні вкручуватись із застосуванням ущільнювальних матеріалів, загоряння яких в середовищі кисню виключається.

- Під час експлуатації балонів необхідно нанести відповідне фарбування та написи. (табл. 7.1)

Таблиця 7.1 – Таблиця відповідності фарбування балонів

Назва газу	Колір балонів	Текст напису	Колір напису
Водень	Темно-зелений	Водень	Червоний
Кисень	Голубий	Кисень	Чорний

- Балони з газами необхідно перевозити транспортом всіх видів в відповідності до правил перевезення небезпечних вантажів, що діють на транспорт даного виду і правилами безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском, затверджених Держгірпромнаглядом.
- Балони зберігають в спеціальних складських приміщеннях або на відкритих майданчиках під навісом, що захищає балони від атмосферних опадів і прямих сонячних променів. Зберігання балонів з різними типами газів допускається тільки в приміщеннях, ізольованих один від одного. При цьому наповнені та порожні балони зберігають окремо, місця зберігання позначають відповідними табличками

7.6. Експлуатація фотоелектричних установок

Фотоелектричні установки встановлюються на спеціальних конструкціях, які забезпечують надійне їхнє кріплення на наземній ділянці. Фотоелектричні установки укомплектовані кабелями із з'єднувачами («+» і «-») для сполуки між собою при паралельній або послідовній роботі групи модулів і під’єднані їх до інших компонентів системи. Усі роботи повинні виконуватися із застосуванням засобів індивідуального захисту персоналом, що має необхідний кваліфікаційний рівень.

Планове технічне обслуговування фотоелектричної установки:

Раз на місяць:

- Зовнішній огляд, перевірка кріплень, огорож і конструкцій обладнання;
- Очищення панелей сонячних батарей;

- Перевірка електричних силових кабелів, що з'єднують блок з розподільним щитом, на відсутність порізів, тріщин, і ознак старіння ізоляції, в разі потреби проводити підтягування різьбових з'єднань обладнання;
- Контроль і запис стану автоматики і показань контрольно-вимірювальних приладів, рівня зарядження акумуляторних батарей;
- Контроль стану конструктивних вузлів та блоків на предмет корозії, міцність кріплень панелей кожуха;

Раз на півроку:

Підтягування різьбових з'єднань проводів від панелі, при необхідності заміна запобіжників, наконечників, зачистка контактів;

7.7. Експлуатація вітроелектричних установок

Організація експлуатації ВЕУ повинна забезпечувати їх безперебійну роботу в допустимих режимах, надійне функціонування пристроїв контролю, захисту й автоматики. В основі успішного виконання даного завдання є дотримання вимог інструкції з експлуатації заводу-виробника.

Експлуатація ВЕУ вимагає виконання наступних умов:

- виконання заходів безпеки під час роботи з даним типом ВЕУ;
- технічне обслуговування ВЕУ повинно здійснюватися тільки персоналом, що пройшов спеціальну підготовку;
- для кожної ВЕУ повинні бути заведені формуляри чи журнали результатів профілактичних оглядів і технічного обслуговування;
- зняття пломб з устаткування, опломбованого заводом-виробником, дозволяється тільки з його згоди та у присутності його представника;
- у період гарантійного терміну експлуатації у випадку виходу зладу елементів складових частин повинні надсилатися рекламації заводу-виробнику.

Згідно діючим «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» експлуатація вітроелектричних установок розглядається в розділі

автономних електростанцій. На кожну установку повинні бути встановлені регламент технічного обслуговування її обладнання, технологія і періодичність регламентних робіт. Регламент технічного обслуговування повинен передбачати:

- візуальний огляд обладнання;
- контроль кріплення обладнання і вузлів;
- перевірку справності систем автоматики, захистів і діагностики стану засобів вимірювальної техніки;
- проведення спеціальних вимірів, перевірок, регулювання і змащення вузлів, облік окремих деталей, що вичерпали ресурс;
- заміну масла, деталей чи вузлів, зношених у процесі експлуатації;
- відновлення лакофарбних покрить у разі їх пошкодження;
- перевірку та випробування електрообладнання.

Огляд станції, що перебуває в резерві, повинен проводитися не рідше 1разу на 3 місяці.

Особливості експлуатації вітроелектроустановок полягає у:

- можливості установлення без огородження і розміщення її під відкритим небом;
- розташуванні основного обладнання на висоті;
- електромагнітному випромінюванні, що може впливати на роботу систем радіозв’язку;
- неможливості сталого забезпечення виробітку електроенергії;
- розкидання деталей на значні відстані у разі аварійного руйнування ротора ВЕУ;
- високому ступені автоматизації керування роботою ВЕУ;
- залежності роботи ВЕУ від швидкості вітру, що вимагає прийняття спеціальних рішень щодо організації та обсягів приймальних випробувань, комплексної документації і технічних засобів.

До завдань метрологічної забезпеченості ВЕУ входить:

- вимірювання і реєстрація фактичних параметрів вітру (напрям, швидкість) на території розташування ВЕУ;
- одержання поточних і прогнозних даних метеорологічної служби для даної місцевості (швидкість, напрямок вітру, температуру, атмосферний тиск, вологість, кількість опадів, утворення ожеледиці, штормове попередження).

У процесі експлуатації, на підставі спостережень і показів засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), повинна проводитися параметрична діагностика ВЕУ, яка передбачає:

- визначення відповідності потужності швидкості вітру;
- контроль параметрів роботи генератора;
- контроль температурного режиму вузлів, а також повітря в гондолі ВЕУ, якщо це передбачено її конструкцією.

Експлуатація ВЕУ без реєстраторів швидкості і напрямку вітру заборонена. Також не допускається експлуатація установок без необхідної компенсації реактивної потужності.

Система автоматичного керування і контролю ВЕУ повинна забезпечувати виконання таких функцій:

- пуск ВЕУ;
- контроль і діагностику пристроїв і устаткування;
- стійке підтримування номінального навантаження незалежно від швидкості вітру;
- програмну та аварійну зупинку ВЕУ;
- надійне обмеження частоти обертання ротора в допустимих межах у разі миттєвого скидання навантаження;
- орієнтацію ротора (контроль орієнтації) за напрямком вітру.

Перевірка систем керування ВЕУ миттєвим скиданням навантаження повинна проводитися шляхом від’єднання її від мережі в таких випадках:

- під час приймання ВЕУ в експлуатацію після монтажу чи капітального ремонту;

- після ремонту чи модернізації системи керування ротором.

Вітродвигуни агрегатів при правильній експлуатації роблять безвідмовно, обслуговуючому персоналу не потрібне кожноденне спостереження за ними. Необхідне тільки регулярне змащення всіх вузлів і не рідше одного разу в 10 днів перевіряти всі болтові з'єднання та підтягувати гайки до відказу. Не рекомендується робота двигуна на холостому ході або коли в ньому нема потреби.

Пуск ВЕУ забороняється:

- у разі несправностей у системі діагностики, технологічних і електричних захистів;
- у випадку сейсмічних та інших природних явищ (обледеніння, град, снігопад), що перевищують допустимі показники, наведені в заводській документації.

Вітрова електроустановка повинна бути негайно вимкнена і зупинена дією захистів або черговим персоналом у таких випадках:

- підвищення рівня вібрації окремих вузлів понад допустимий;
- підвищення температури контрольованих вузлів понад допустиму;
- витікання оливи;
- підвищення частоти обертання ротора ВЕУ понад допустиму величину;
- швидкості вітру, що перевищує значення швидкості вимикання, установлене заводом-виробником;
- виникнення коротких замикань у системі генерування;
- перевантаження генератора за потужністю понад допустимі значення;
- виникнення пожежі;
- виникнення ситуації, небезпечної для обслуговуючого персоналу.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

В даній дисертації було проведено виконано наступні задачі:

1. Проаналізовано сучасний стан сонячної та вітроенергетики світу та України в цілому. За аналізом було обрано майданчик під будівництво.
2. Було проведено вибір електричного обладнання СЕС, показані їх характеристики, була розроблена відповідна схема підключення сонячних модулів до інверторів та розраховано прогнозовану генерації електроенергії.
3. Обрано ВЕУ та розроблено план їх розміщення, створено 3d модель об’єкту, розраховано прогнозований виробіток ВЕС.
4. Було розглянуто та обрано технологію генерації водню промислового масштабу серед існуючих на момент сьогодення, розраховано попередній прогноз генерації водню за рахунок ВЕС та ФЕС та порівняно їх переваги.
5. Проведено попередню оцінку вартості автономної системи генерації водню у різних компоновках для обраного майданчику та обрано кращий.
6. За результатами технічно-економічних розрахунків був проведений аналіз доцільності розширення використання потенціалу вітрової енергетики за рахунок виробітку водню та кисню.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії України / [С. О. Кудря, Л. В. Яценко, Г. П. Душина, Л. Я. Шинкаренко та ін.]. — К., 2001. — 41 с.
2. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч. / С. О. Кудря. — К. : НТУУ «КПІ», 2012. — 492 с.
3. Сонячна енергетика. Режим доступу: https://pidruchniki.com/1579122737970/ekologiya/sonyachna_energetika
4. В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. Электроника: Учеб. Пособие для приборостроит. спец. Вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк. 1991. – 622с.: ил.;
5. Типи сонячних електростанцій. Режим доступу: http://www.gigavat.com/ses_tipi.php
6. “Фотоенергетика”. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи для студентів за спеціальністю 7/8.05070107 “Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії” / укл. О.Ю. Гаєвський – К.: ФЕА НТУУ “КПІ”, 2016. – 32с.
7. Сонячні панелі. Режим доступу: http://www.jasolar.com/html/en/
8. Інвертор. Режим доступу: http://huawei.energy/
9. Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук, О.І. Сіріков, доц., канд. Техн. наук, М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист. //Алгоритм визначення густини потоку сонячного випромінювання на довільно-орієнтовану поверхню. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація., 2012, вип. 25, ч.І, - 312с;
10. Баластні системи кріплення сонячних панелей. Режим доступу: https://kripter.com.ua/
11. Каталог захисного обладнання. Режим доступу: https://eti.nt-rt.ru/images/showcase/catalog.pdf

12. Небезпечні та шкідливі фактори. Режим доступу: http://docs.cntd.ru/document/5200224
13. Закон про охорону праці. Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12
14. Основи охорони праці. Режим доступу: http://elib.hduht.edu.ua/bitstream/123456789/1840/1/%D0%BF%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%9E%D0%A5%D0%9E%D0%A0%D0%9E%D0%9D%D0%90%20%D0%9F%D0%A0%D0%90%D0%A6%D0%86.pdf
15. Основи охорони праці. Режим доступу: http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/108579/CD498.pdf?sequence=1&isAllowed=y
16. ABISolar. Режим доступу: https://abi-solar.com/uk/про-компанію;
17. LONGI Solar. Режим доступу: http://www.longi-solar.com.ua/about.html;
18. JA Solar. Режим доступу: https://ja-solar.com.ua/#kompaniya;
19. Калькулятор виробітку СЕС. Режим доступу: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP
20. Програмне забезпечення PVsyst. Режим доступу: https://www.pvsyst.com/
21. Справочник по климату СССР. Выпуск 10. Украинская ССР. Часть III – Ветер. 1967р.
22. Сайт даних по вітровим агрегатам. Режим доступу: https://en.wind-turbinemodels.com/
23. Офіційний сайт компанії Enercon. Режим доступу: https://www.enercon.de/home/
24. Паспортні данні вітроустановок Enercon. Режим доступу: https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/EC_Datenblaetter_WEA_en_082019.pdf

25. Стан та перспектива розвитку вітроенергетики. Режим доступу: https://gwec.net/global-wind-report-2019/
26. Міністерство енергетики України. Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/
27. Приклади систем генерацій зеленого водню. Режим доступу: https://assets.new.siemens.com/
28. Плани щодо “очищення” виробництва водню. Режим доступу: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1259
29. Ціна електролізного обладнання. Режим доступу: https://www.ice2017.net/-/media/Sites/Ice2017/Uploads/ICE2017_007_Waidhas.ashx?la=da&hash=E461655B8824CBD990E98554E629FCC40DD64586
30. Manufacturing Cost Analysis for Proton Exchange Membrane Water Electrolyzers. Режим доступу: https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72740.pdf
31. Global Market Outlook. Режим доступу: https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2020/07/31-SPE-GMO-report-hr-hyperlinks.pdf?cf_id=22857
32. Стан вітрової енергетики. Режим доступу: https://www.ren21.net/gsr-2020/
33. Середня швидкість вітру. Режим доступу: http://ep3.nuwm.edu.ua/591/1/01-03-16.pdf

Додаток А

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

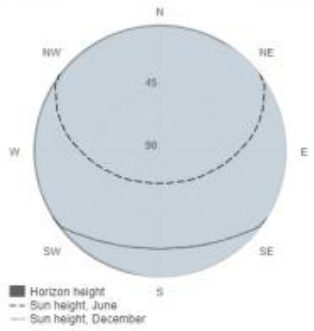
Provided inputs:

Latitude/Longitude:	46.259, 30.600
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed:	12280 kWp
System loss:	10 %

Simulation outputs

Slope angle:	60 °
Azimuth angle:	3 °
Yearly PV energy production:	15050560.28 kWh
Yearly in-plane irradiation:	1453.1 kWh/m²
Year-to-year variability:	657368.65 kWh
Changes in output due to:	
Angle of incidence:	-2.93 %
Spectral effects:	1.02 %
Temperature and low irradiance:	-4.42 %
Total loss:	-15.65 %

Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:

Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:

ДОДАТОК Б

Січень	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс
	0-1	0,5	0,72	21,5	156,95	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	26,9	196,37	11,78	0,06
	4-5	4,5	6,50	21,8	159,14	100,26	0,50
	6-7	6,5	9,39	13,6	99,28	170,66	0,85
	8-9	8,5	12,28	8,4	61,32	144,10	0,72
	10-11	10,5	15,16	4,7	34,31	80,63	0,40
	12-13	12,5	18,05	1,8	13,14	30,88	0,15
	14-15	14,5	20,94	0,8	5,84	13,72	0,07
	16-17	16,5	23,83	0,5	3,65	8,58	0,04
			Сума:	100	730	560,61	2,80
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			573,05		

Лютий	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс.	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.
	0-1	0,5	0,72	19	138,7	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	25,6	186,88	11,21	0,06
	4-5	4,5	6,50	24,3	177,39	111,76	0,56
	6-7	6,5	9,39	16,3	118,99	204,66	1,02
	8-9	8,5	12,28	8,1	59,13	138,96	0,69
	10-11	10,5	15,16	3,9	28,47	66,90	0,33
	12-13	12,5	18,05	1,3	9,49	22,30	0,11
	14-15	14,5	20,94	0,8	5,84	13,72	0,07
	16-17	16,5	23,83	0,7	5,11	12,01	0,06
			Сума:	100	730	581,53	2,91
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			591,3		

Березень	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс.	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.
	0-1	0,5	0,72	18,9	137,97	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	24,4	178,12	10,69	0,05
	4-5	4,5	6,50	23,6	172,28	108,54	0,54
	6-7	6,5	9,39	14,9	108,77	187,08	0,94
	8-9	8,5	12,28	8,2	59,86	140,67	0,70
	10-11	10,5	15,16	5,3	38,69	90,92	0,45
	12-13	12,5	18,05	2,6	18,98	44,60	0,22
	14-15	14,5	20,94	1,2	8,76	20,59	0,10
	16-17	16,5	23,83	0,9	6,57	15,44	0,08
			Сума:	100	730	618,53	3,09
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			576,7		

Квітень	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс.	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.
	0-1	0,5	0,72	16,4	119,72	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	26,9	196,37	11,78	0,06
	4-5	4,5	6,50	26,6	194,18	122,33	0,61
	6-7	6,5	9,39	15,1	110,23	189,60	0,95
	8-9	8,5	12,28	7,1	51,83	121,80	0,61
	10-11	10,5	15,16	5,2	37,96	89,21	0,45
	12-13	12,5	18,05	1,6	11,68	27,45	0,14
	14-15	14,5	20,94	0,6	4,38	10,29	0,05
	16-17	16,5	23,83	0,5	3,65	8,58	0,04
			Сума:	100	730	581,04	2,91
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			602,25		

Травень	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс.	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.
	0-1	0,5	0,72	17,6	128,48	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	28,9	210,97	12,66	0,06
	4-5	4,5	6,50	27,5	200,75	126,47	0,63
	6-7	6,5	9,39	14	102,2	175,78	0,88
	8-9	8,5	12,28	7	51,1	120,09	0,60
	10-11	10,5	15,16	3,4	24,82	58,33	0,29
	12-13	12,5	18,05	1,3	9,49	22,30	0,11
	14-15	14,5	20,94	0,2	1,46	3,43	0,02
	16-17	16,5	23,83	0,1	0,73	1,72	0,01
			Сума:	100	730	520,77	2,60
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			599,33		

Червень	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс.	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.
	0-1	0,5	0,72	19	138,7	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	30,8	224,84	13,49	0,07
	4-5	4,5	6,50	27,1	197,83	124,63	0,62
	6-7	6,5	9,39	13,2	96,36	165,74	0,83
	8-9	8,5	12,28	5,3	38,69	90,92	0,45
	10-11	10,5	15,16	3	21,9	51,47	0,26
	12-13	12,5	18,05	1,1	8,03	18,87	0,09
	14-15	14,5	20,94	0,5	3,65	8,58	0,04
	16-17	16,5	23,83	0	0	0,00	0,00
			Сума:	100	730	473,70	2,37
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			587,65		

Липень	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс.	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.
	0-1	0,5	0,72	20,4	148,92	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	34,4	251,12	15,07	0,08
	4-5	4,5	6,50	24,8	181,04	114,06	0,57
	6-7	6,5	9,39	11,8	86,14	148,16	0,74
	8-9	8,5	12,28	5,2	37,96	89,21	0,45
	10-11	10,5	15,16	2,6	18,98	44,60	0,22
	12-13	12,5	18,05	0,6	4,38	10,29	0,05
	14-15	14,5	20,94	0,2	1,46	3,43	0,02
	16-17	16,5	23,83	0	0	0,00	0,00
			Сума:	100	730	424,82	2,12
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			579,62		

Серпень	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс.	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.
	0-1	0,5	0,72	23	167,9	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	33,6	245,28	14,72	0,07
	4-5	4,5	6,50	25	182,5	114,98	0,57
	6-7	6,5	9,39	10,9	79,57	136,86	0,68
	8-9	8,5	12,28	4,6	33,58	78,91	0,39
	10-11	10,5	15,16	2,1	15,33	36,03	0,18
	12-13	12,5	18,05	0,6	4,38	10,29	0,05
	14-15	14,5	20,94	0,1	0,73	1,72	0,01
	16-17	16,5	23,83	0,1	0,73	1,72	0,01
			Сума:	100	730	395,21	1,98
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			560,64		

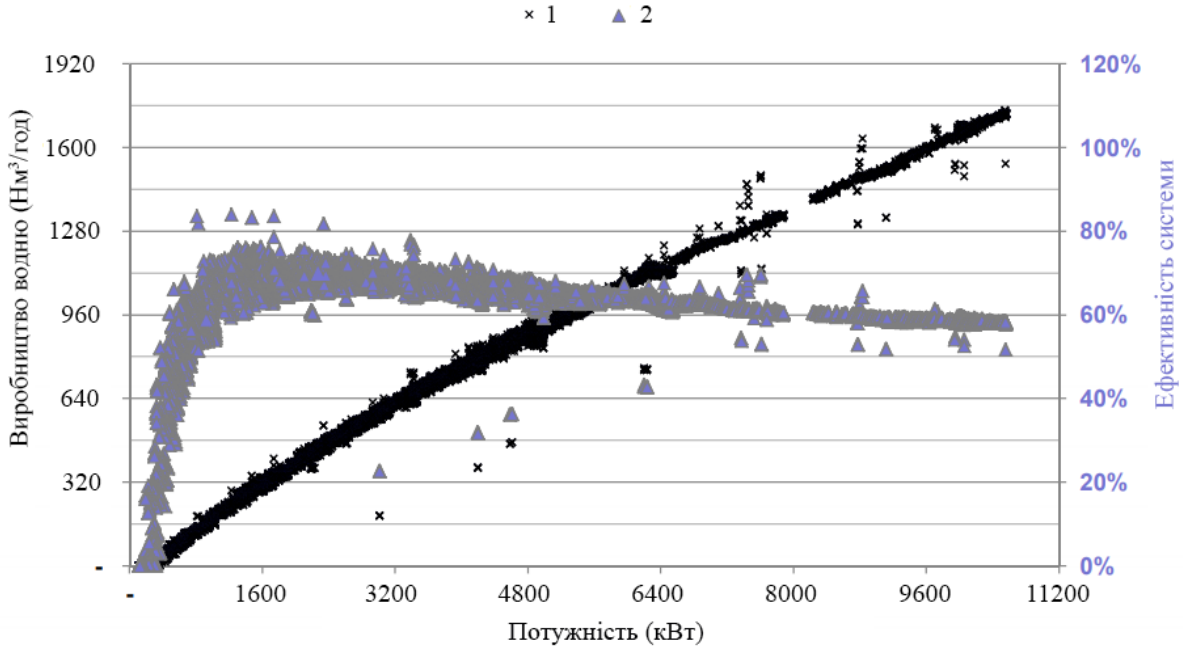
Вересень	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс.	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.
	0-1	0,5	0,72	23,4	170,82	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	31,8	232,14	13,93	0,07
	4-5	4,5	6,50	26	189,8	119,57	0,60
	6-7	6,5	9,39	10,8	78,84	135,60	0,68
	8-9	8,5	12,28	5	36,5	85,78	0,43
	10-11	10,5	15,16	2,2	16,06	37,74	0,19
	12-13	12,5	18,05	0,5	3,65	8,58	0,04
	14-15	14,5	20,94	0,3	2,19	5,15	0,03
	16-17	16,5	23,83	0	0	0,00	0,00
			Сума:	100	730	406,35	2,03
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			556,99		

Жовтень	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс.	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.
	0-1	0,5	0,72	23,8	173,74	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	30,3	221,19	13,27	0,07
	4-5	4,5	6,50	22,6	164,98	103,94	0,52
	6-7	6,5	9,39	12	87,6	150,67	0,75
	8-9	8,5	12,28	7	51,1	120,09	0,60
	10-11	10,5	15,16	2,5	18,25	42,89	0,21
	12-13	12,5	18,05	0,9	6,57	15,44	0,08
	14-15	14,5	20,94	0,6	4,38	10,29	0,05
	16-17	16,5	23,83	0,3	2,19	5,15	0,03
			Сума:	100	730	461,73	2,31
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			549,69		

Листопад	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс.	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.
	0-1	0,5	0,72	19	138,7	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	25,5	186,15	11,17	0,06
	4-5	4,5	6,50	23,2	169,36	106,70	0,53
	6-7	6,5	9,39	15,6	113,88	195,87	0,98
	8-9	8,5	12,28	8,9	64,97	152,68	0,76
	10-11	10,5	15,16	4,6	33,58	78,91	0,39
	12-13	12,5	18,05	2	14,6	34,31	0,17
	14-15	14,5	20,94	0,7	5,11	12,01	0,06
	16-17	16,5	23,83	0,5	3,65	8,58	0,04
			Сума:	100	730	600,23	3,00
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			582,54		

Грудень	Діапазон швидкості, м/с	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с	Швидкість вітру на висоті опори, м/с	Імовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Виробіток електроенергії однієї ВЕУ, МВт•год/міс.	Виробіток електроенергії ВЕС, ГВт•год/міс.
	0-1	0,5	0,72	24,9	181,77	0,00	0,00
	2-3	2,5	3,61	25,3	184,69	11,08	0,06
	4-5	4,5	6,50	22,5	164,25	103,48	0,52
	6-7	6,5	9,39	11,7	85,41	146,91	0,73
	8-9	8,5	12,28	6,9	50,37	118,37	0,59
	10-11	10,5	15,16	4,3	31,39	73,77	0,37
	12-13	12,5	18,05	2	14,6	34,31	0,17
	14-15	14,5	20,94	1,6	11,68	27,45	0,14
	16-17	16,5	23,83	0,8	5,84	13,72	0,07
			Сума:	100	730	529,08	2,65
		Час роботи ВЕУ в цьому місяці:			530,71		

Додаток В



Залежність ефективності електролізерної системи та виробітку водню від прикладеної потужності: 1 – виробіток водню; 2 – ефективність системи;