

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О. Ю. Колларов
 (підпис) (ініціали, прізвище)
 «___» _____ 2021 р.

Кваліфікаційна робота магістра

на тему Розробка системи енергоживлення з використанням з використанням
відновлювальних джерел

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЛКМ-20
 (шифр групи)
 напряму підготовки (спеціальності) 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
 (шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ Ємельянов Є.М. _____
 (прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник Проф. каф., д.т.н., доц., Тімошенко С. М. _____
 (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
 (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
 (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

*Засвідчую, що у цій випускній
кваліфікаційній роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних
посилань.*

Студент _____
 (підпис)

Покровськ – 2021 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: магістр

Спеціальність: (141) електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

(Колларов О. Ю.)

« » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ємельянову Єгору Максимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи енергоживлення з використанням
відновлюваних джерел.

керівник роботи Тімошенко Сергій Миколайович, доктор. техн. наук, доц.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ №

2. Строк подання студентом роботи 06 грудня 2021 року.

3. Вихідні дані до роботи: Активна приєднана потужність
технологічного об'єкту 100 кВт; номінальна напруга постачання 380В (0,4 кВ);
площа земельної ділянки для встановлення трансформатора та альтернативних
джерел генерації 2000 м²; середня швидкість вітрового потоку 5 м/с; cosφ енер-
госистеми 0,8; інсоляції сонячного потоку обирається для Донецького регіону;
Відсутні параметри обрати із врахуванням вже наданих або вибрати довільно,
дотримуючись обмежень, накладених вихідними параметрами типів альтерна-
тивних джерел енергії для генерації електричної енергії.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Основні аспекти системи енергоживлення.

2. Використання альтернативних джерел енергії для електропостачання енергосистем.

3. Аналіз та реалізація математичної моделі гібридної електростанції з альтернативними джерелами на базі САПР.

4. Розробка заходів з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Вісім слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 3	Тімошенко С. М.		
Розділ 4			

7. Дата видачі завдання 05 жовтня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	05.10.21 – 24.10.21	
2.	Розділ 2	25.10.21 – 21.11.21	
3.	Розділ 3	22.11.21 – 28.11.21	
4.	Розділ 4	29.12.21 – 06.12.21	

Студент _____
(підпис)

Ємельянов Є. М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Тімошенко С. М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ємельянов Є. М. Розробка системи енергоживлення з використанням відновлюваних джерел / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

У дипломному проекті докладно розглянуто головні принципи електропостачання технологічних об'єктів за їх основними параметрами. Також, проаналізовано види альтернативних джерел енергії для генерації «чистої» електричної енергії для вдосконалення енергетичної незалежності та автономності підключених до енергосистеми електроприймачів (споживачів).

При дослідженнях у роботі розглянута інформація про використання альтернативних джерел енергії для енергопостачання в енергосистемах. Проаналізовано види сонячних електростанцій, а також основні елементи та принцип роботи вітрогенераторної установки.

Проведено розрахунок сонячних панелей та вітрогенератора, наведені їх основні параметри. Обґрунтовано вибір інверторного устаткування для фотовітрової електростанції.

Наведено загальний аналіз математичної моделі гібридної генеруючої станції за допомогою програми Matlab, а саме Simulnk. Отримано характеристичні залежності генеруючих властивостей альтернативних джерел енергії.

Ключові слова: електропостачання, фотомодуль, вітрогенератор, трансформатор, інсоляція, активна потужність, інвертор, фотострум, Matlab.

Список публікацій:

SUMMARY

Yemelyanov Y. M. Development of energy supply system using renewable sources / Final qualification work for the degree of "Master" in specialty 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – State Higher Educational Institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, 2021.

The diploma project examines in detail the main principles of power supply of technological facilities according to their main parameters. Also, the types of alternative energy sources for the generation of "clean" electricity to improve energy independence and autonomy of electricity receivers (consumers) connected to the grid are analyzed.

Research on the use of alternative energy sources for energy supply in power systems is considered in the research. The types of solar power plants, as well as the main elements and the principle of operation of the wind turbine are analyzed.

The calculation of solar panels and wind turbine is performed, their main parameters are given. The choice of inverter equipment for a photovoltaic power plant is substantiated.

The analysis of the mathematical model of the hybrid generating station with the help of the Matlab program, namely Simulink, is given. Characteristic dependences of generating properties of alternative energy sources are obtained.

Key words: power supply, photomodule, wind generator, transformer, insolation, active power, inverter, photocurrent, Matlab.

List of publications:

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОСНОВНІ АСПЕКТИ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЖИВЛЕННЯ	9
1.1 Принципи електропостачання різних технологічних об'єктів	9
1.2 Область застосування та типи СЕС.....	11
1.2 Основні види відновлювальних джерел енергії	17
2 ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ.....	22
2.1 Види сонячних електростанцій для генерації електричної мережі	22
2.2 Основні елементи та принцип роботи вітрогенераторної установки ..	31
2.3 Підбір та розрахунок сонячних панелей та потужності енергопостачання	38
2.5 Розрахунок швидкості потоку та параметрів вітрогенератора	42
2.4 Вибір інверторної установки для фотовітрової електростанції.....	49
3 АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ГІБРИДНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ НА БАЗІ САПР	54
3.1 Математична модель сонячного елементу в програмі Matlab	54
3.2 Математична модель вітрогенератора в програмі Matlab.....	61
ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	67
ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	69
ДОДАТОК Б.....	77
ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРАЛЕРА	79

ВСТУП

Енергоресурси – це фундамент до незалежності та автономності кожної країни. Тому всі зацікавлені в надійному та бесперебійному живленню енергоресурсами, а саме електричною енергією або нафтогазовою сировиною. Насамперед в даний час більшу частину електричної енергії виробляється за допомогою згоряння різних видів сировини, як відновлюваних (деревина) так і вичерпних (нафта, вугілля).

Тим не менш при зпалюванні енергоресурсів та генерації електричної енергії велика кількість втрачається на перехід з одного джерела енергії в інший. Також, можливо зазначити, що вихідна енергія не витрачається на 100% від згенерованої. Це насамперед велике марнотратство енергоресурсу.

Для цього починається ера енергозбереження та енергоефективності, що в свою чергу надасть змогу правильно використовувати енергетичні ресурси. Крім цього ці фактори покращать загальний стан навколишнього середовища та гальмування глобального потепління – зменшення згоряння природних енергоносіїв приведе до зниження забруднення атмосфери токсичними і парниковими газами, зупиниться отруєння річок та морів, а також зменшиться складування небезпечних відходів.

Таким чином, метою дипломного проекту є розробка енергетичної системи живлення з включенням альтернативних джерел енергії для зменшення впливу на екологічний стан навколишнього середовища, а також підвищення надійності та автономності різних технологічних об'єктів.

У ході виконання дипломної роботи було запропоновано вирішення наступних завдань:

- 1) проаналізувати основні компоненти електричної мережі для постачання електричної енергії до споживачів різних категорій;
- 2) розглянути питання паралельного живлення енергосистеми з включенням в неї альтернативних джерел енергії;

3) обґрунтувати вибір типу джерела альтернативного джерела генерації та провести розрахунок їх основних параметрів;

4) провести математичне моделювання сонячної та вітрової електростанції за допомогою комп'ютерних пакетів прикладних програм (САПР);

Дипломна робота: 79 сторінок, 32 рисунків, 5 таблиць, 3 додатків, 20 джерел.

1 ОСНОВНІ АСПЕКТИ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЖИВЛЕННЯ

1.1 Принципи електропостачання різних технологічних об'єктів

Систему електропостачання як фізичний об'єкт, що забезпечує електричною енергією електрифіковану діяльність людини, можна уявити двома структурами: автономною системою електропостачання, коли завдання вироблення електричної енергії, її перетворення, передачі та розподілу серед електроприймачів реалізуються одним об'єктом, що знаходиться у певній власності; системою електропостачання, що складається у складі електроенергетики, коли завдання вироблення електроенергії, її перетворення та передачі покладаються на електроенергетичну систему, як централізованого джерела енергії, а розподіл та доведення електроенергії до електроприймачів виконує система електропостачання.

Другий вид найбільш поширений, коли виробництво, перетворення та передача електроенергії здійснюються на високотехнологічних установках, що забезпечують високий ступінь надійності електропостачання якісною електроенергією з мінімальними витратами. У цій ситуації автономними системами електропостачання залишаються регіони, віддалені від централізованих джерел, або фізичні об'єкти (як споживачі електроенергії), що переміщаються землею, плавають на воді або літають у просторі.

В даний час системи електропостачання, що знаходяться у структурі електроенергетики, придбали деякі типові рішення, яким і приділяє увагу подальше викладення даної роботи.

Електропостачання – це процес постачання електроенергії для електрифікованої життєдіяльності людини. При цьому її необхідно як мінімум виробити, передати та розподілити серед електроприймачів. Цей процес реалізується сукупністю електротехнічних пристроїв, які називають автономною системою електропостачання, якщо у власності її є джерело електроенергії.

В даний час виробництво електроенергії доцільно здійснювати на високотехнологічних установках, що працюють у спільній електричній мережі,

яка з'єднує їх між собою. Така адміністративно-технічна освіта називається електроенергетичною системою (ЕЕС), яку за електропостачання споживачів називають централізованим джерелом електроенергії.

В електроенергетичній системі, яка обслуговує великі території електрифікованої життєдіяльності людини, неможливо обійтися без перетворення електричної енергії на вищі напруги для її передачі на відносно великі відстані. Це дозволяє підвищити межу потужності, що передається, і знизити втрати електроенергії у лініях електропередачі.

Найчастіше за цих умов доведення електроенергії до електроприймачів покладається на систему електропостачання споживачів (СЕС), яка з певних причин перебуває у власності споживача.

Наведена взаємопов'язана сфера життєдіяльності людини, спрямована на виробництво електроенергії у великих кількостях, її перетворення, передачу та розподіл серед електроприймачів називається електроенергетикою (рис. 2.1).

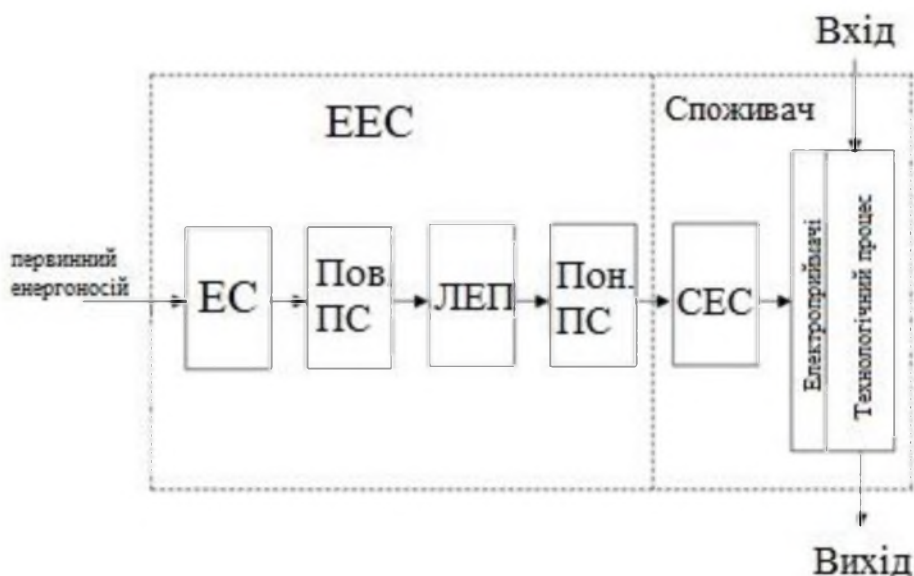


Рисунок 1.1 – Блок-схема транспортування електричної енергії в енергосистемі

1.2 Область застосування та типи СЕС

Структури систем електропостачання мають деяку різноманітність, що визначається характером споживача та джерела електроенергії, а також ступенем віддаленості їх один від одного. Тим не менше можна уявити якусь узагальнену структуру СЕС, показану на рис. 2.2.

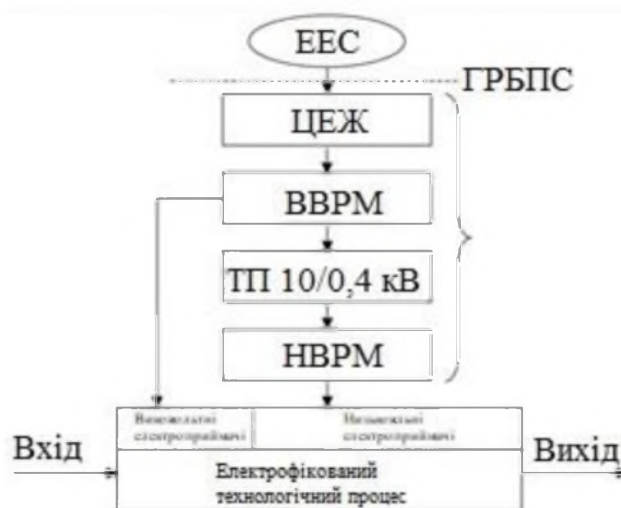


Рисунок 1.2 – Загальна структура СЕС

Центром електричного живлення (ЦЕЖ) може бути головна понижуюча підстанція (ГПП), якщо електроенергія від ЕЕС передається на напрузі 35, 110, 220 кВ, або центральним розподільним пунктом (ЦРП), якщо електроенергія передається на напрузі 10 кВ.

Головна понижуюча підстанція виконує дві функції: перетворює електроенергію на напругу 10 кВ і розподіляє електроенергію високовольтну розподільну мережу. Центральний розподільчий пункт виконує лише одну функцію – розподілення електроенергії.

Високовольтна розподільча мережа (ВВРМ) виконує функцію передачі та розподілу електроенергії від ЦЕП до підстанцій 10/0,4 кВ та високовольтним електроприймачам (ЕПв), якщо такі є у споживача.

Трансформаторні підстанції (ТП) 10/0,4 кВ перетворюють електроенергію, отриману від ВВРС, на напругу 0,4 кВ і розподіляють в низьковольтну розподільну мережу.

Низьковольтна розподільча мережа (НВРМ) виконує функцію передачі та розподілу електроенергії серед найбільшої кількості електроприймачів у споживача на напрузі 380/220 В.

З електроенергетичної системи, як централізованого джерела живлення, система електропостачання споживача може отримувати електроенергію кількома варіантами. Це може бути лінія електропередачі 10, 35, 110 або 220 кВ, що надходить від трансформаторної підстанції районної енергосистеми (РТП), або відпаювання, що проходить повз споживача повітряної лінії електропередачі 110, 220 кВ та з'єднує між собою підстанції енергосистеми, або лінія електропередачі, що надходить з розподільного пристрою генераторної напруги електричної станції. При цьому у договорі між ЕЕС, як енергопостачальною організацією, та споживачем вказується точка електричної мережі, що розділяє власність – межа розділу балансової власності мереж.

Іноді сукупність електротехнічних пристроїв, що належать до системи електропостачання споживача називають системою внутрішнього електропостачання, а частина мережі енергосистеми, що забезпечує передачу електроенергії до центру електричного живлення СЕС від точки приєднання до ЕЕС – системою зовнішнього електропостачання.

При високій щільності навантаження електрифікованого технологічного процесу підприємства його електропостачання може бути реалізовано за принципом глибокого введення, коли електроенергія з енергосистеми на напрузі 35 кВ та вище доводиться до підстанцій глибокого введення (ПГВ), завдання яких полягає у виключенні однієї або кількох ступенів трансформації, чим суттєво скорочуються втрати електроенергії. Підстанції глибокого введення можуть виключити в системі електропостачання центр електричного живлення, або можуть реалізовуватися разом із ним.

У випадку проектування систем електропостачання базується на наступних принципах їх побудови.

1. Живлення від електроенергетичних систем як централізованих джерел енергії, що забезпечує більш високу надійність електропостачання, краща якість електроенергії та менші витрати порівняно з автономними системами електропостачання.

2. Електропостачання кількох споживачів (різної відомчої приналежності та різних форм власності), що призводить до формування так званих субабонентів та до появи додаткових меж розділу балансової належності електричних мереж.

3. Взаємне резервування елементів СЕС, що забезпечує підвищення надійності електропостачання.

4. Автоматичний захист всіх без винятку елементів СЕС, що забезпечує необхідний рівень безпеки та надійності електропостачання.

5. Застосування закритого та захищеного від випадкового або несанкціонованого доступу електроустаткування, що забезпечує підвищення безпеки та надійності електропостачання.

6. Повсюдне застосування комплектного електроустаткування (КРУ, КСВ, КТП, ШМА, ШРА тощо), що підвищує безпеку, надійність та економічність СЕС.

7. Централізація управління та його автоматизація, що призводять до вищої ефективності функціонування системи електропостачання.

При проектуванні та експлуатації СЕС як електроенергетичних об'єктів, також, необхідно враховувати і їх особливості.

1. У безпосередній близькості від низьковольтного електротехнічного обладнання знаходиться велика кількість людей, які не мають спеціальну освіту (не електротехнічний персонал). До них відносяться численні робітники в цехах промислових підприємств, мешканці міст та селищ та інші. Ця особливість визначає головну вимогу до СЕС – забезпечення безпеки не тільки обслуговуючого персоналу, а й людей, які часом недостатньо повно

усвідомлюють небезпеку близькості елементів електричних мереж та електроустановок.

2. Більшість електроенергії споживається на низькій напрузі, тому найбільша кількість провідникового матеріалу (мідь, алюміній) зосереджено в НВРМ та низьковольтному електрообладнанні.

3. За характером перетворення електроенергії, принципами роботи, споживаної потужності, впливом на роботу електричної мережі електроприймачі відрізняються великою різноманітністю. Тому для забезпечення ефективної роботи всієї сукупності електроприймачів та елементів СЕС, що становлять єдине ціле в процесі перетворення, передачі, розподілу та споживання електроенергії, спеціалістам у галузі систем електропостачання необхідно, також, детально та всебічно вивчити ці електроприймачі, включаючи їх ненормальні та аварійні режими.

4. Через специфічні особливості роботи технологічного обладнання середовище всередині виробничих приміщень може бути вельми різноманітною (нормальною, пожежо-або вибухонебезпечною, небезпечною за умовою корозії). Тому часто виникають проблеми забезпечення сумісності електротехнічного обладнання з середовищем, якої вони розміщуються. Середовище у виробничому приміщенні не повинна заважати роботі електротехнічного обладнання (наприклад, псування ізоляції, скорочення терміну служби тощо), і, навпаки, робота електротехнічного обладнання не повинна викликати шкідливі та небезпечні явища у навколишньому середовищі (пожежі, вибухи та ін.).

5. Щільність навантажень різних споживачів електроенергії сильно відрізняється, що призводить до великого розмаїття схемно-конструктивних рішень і видів електротехнічного обладнання в СЕС.

Зазначені особливості систем електропостачання та принципи їх побудови надають конкретної СЕС ті чи інші характерні риси проектних рішень та конструктивного виконання. Наприклад, у низьковольтних розподільчих мережах систем електропостачання промислових підприємств широко застосовуються шинопроводи, в електричних мережах сільськогосподарських

районів – повітряні лінії електропередачі, у міських – кабельні та ін. Із всього наявного різноманіття СЕС прийнято виділяти три характерні різновиди: електропостачання промислових підприємств, електропостачання міст та електропостачання сільськогосподарських районів.

Система електропостачання визначається, також, технологією електрифікованого процесу споживача, його плануванням та будівельною частиною, зростанням технологічних потужностей та розширенням.

Зважаючи на наведені вище фактори, систему електропостачання можна виконувати в кількох варіантах, з яких вибирають оптимальний за умовами техніко-економічних критеріїв, що враховують надійність електропостачання, якість, що доводиться до електроприймачів енергії, економічність функціонування, зручність та безпека експлуатації, можливість застосування прогресивних методів електромонтажних робіт.

Аналіз перерахованих особливостей СЕС дозволяє сформулювати такі основні вимоги до них.

Безпека. Системи електропостачання та всі без винятку їх елементи (включаючи електроприймачі) повинні бути побудовані та виконані таким чином, щоб вони не створювали будь-якої небезпеки для життя та здоров'я людей (робітників у цехах промпідприємств, жителів міст та сіл, працівників тваринницьких ферм та ін.).

Екологічність. У різних режимах (нормальних, аварійних) та під час проведення різних робіт (будівельних, монтажних, ремонтно-відновлювальних) СЕС та їх обладнання не повинні викликати забруднення навколишнього середовища.

Надійність. Найбільш високі вимоги до надійності СЕС у промисловості. На деяких підприємствах є такі електроприймачі, раптова перерва електроживлення яких може призводити до виникнення небезпеки для життя та здоров'я людей, наприклад до вибухів та пожеж. Тут вимоги до надійності є максимальними. На більшості підприємств вимоги до надійності нижче. Але у разі необхідний рівень надійності СЕС визначається необхідним рівнем

надійності електроживлення електроприймачів. Відповідно до ПУЕ всі електроприймачі поділяються на три категорії. Кожна категорія формулює свої вимоги до надійності

Економічність. Для заданого рівня безпеки, надійності та екологічності система електропостачання повинна мати мінімальні витрати на спорудження, монтаж та експлуатацію.

Забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС). Всі елементи системи електропостачання та електроприймачі електрифікованого технологічного процесу не повинні надавати один на один друга впливів, що заважають, які могли б призвести до порушення їх функціонування або до значного погіршення їх техніко-економічних показників. Наприклад, якість напруги на затискачі електроприймачів значною мірою визначає ефективність процесу перетворення енергії в електроприймачах, тобто. ефективність роботи технологічних агрегатів загалом.

Можливість розвитку у часі. Наприклад, у цехах промислових підприємств у зв'язку з реконструкцією технологічного процесу можлива перестановка технологічного обладнання, що не повинно викликати серйозних перебудов СЕС.

Зручність експлуатації та управління. Усі необхідні властивості СЕС (безпека, надійність, економічність та ін.) підтримуються в процесі експлуатації за рахунок управління в широкому значенні: ремонту, обслуговування, модернізації та ін. Системи електропостачання мають бути пристосовані для проведення таких робіт.

Естетичність. При проектуванні та побудові систем електропостачання необхідно враховувати «вписуваність» елементів СЕС в архітектурний вигляд будівель та споруд, у внутрішній інтер'єр виробничих та інших приміщень.

Таким чином, після аналізу систем електрозабезпечення як підприємств, так і міст (селищ) принцип передачі електричної енергії залишається однотипним, бо головним завданням є її транспортування від джерела енергії, генеруючого об'єкта, до кінцевого споживача. Тобто, комутаційне обладнання та

комплексні системи передачі переправляють вже готовий продукт, а саме електричну енергію [1].

1.2 Основні види відновлювальних джерел енергії

Відновлювані джерела енергії буквально знаходяться в сонячному світлі, в повітрі, глибоко під землею і в наших океанах. Вони є частиною фізичної структури планети, а це означає, що вони постійно оновлюються природним шляхом. Вони просто не можуть закінчитися.

Ці стійкі джерела енергії часто називають «альтернативною енергією», оскільки вони вважаються альтернативою традиційним викопним видам палива, таким як нафта та вугілля. Те, що джерело енергії є поновлюваним, не означає, що воно на 100 відсотків екологічно безпечне. Наприклад, греблі використовують силу руху води, але вони також можуть завдати шкоди рибі та дикій природі. Вітряні турбіни використовують енергію сонця для виробництва чистої електроенергії, але виробничий процес впливає на навколишнє середовище.

Проте, альтернативні енергетичні ресурси мають набагато менший вплив на навколишнє середовище, ніж викопне паливо. Ось чому відновлювані джерела енергії настільки важливі – вони є наш квиток у менш забруднений світ. Навіть якщо ми не зіткнулися з загрозою зміни клімату, мінімізація забруднення є основою міцного здоров'я.

І те, що добре для навколишнього середовища, стає все більш економічно корисним для власників будинків і підприємств. У багатьох частинах світу, зокрема, сонячна та вітрова енергія зараз дешевша, ніж викопне паливо, і ціна щорічно знижується.

П'ять видів альтернативної енергії генеруються шляхом використання природних процесів, таких як сонячне світло або хвилі. Як правило, вони є найбільш стійкими видами енергії.

Сонячна енергія. Сонячне світло є поновлюваним ресурсом, і його найбільш пряме використання досягається шляхом поглинання сонячної енергії. Для перетворення сонячної енергії та світла в тепло використовуються різноманітні технології сонячної енергії: освітлення, гаряча вода, електроенергія та системи охолодження для підприємств та промисловості.

Фотоелектричні системи використовують сонячні батареї для перетворення сонячного світла в електричну енергію. Сонячні системи гарячого водопостачання можна використовувати для опалення будівель шляхом циркуляції води через плоскі сонячні колектори. Дзеркальна поверхня, яка націлена на підігрівання води в звичайному парогенераторі, може виробляти електроенергію, концентруючи сонячне тепло. Комерційні та промислові будівлі, також, можуть використовувати енергію сонця для більш масштабних потреб, таких як вентиляція, опалення та охолодження. Нарешті, продумані архітектурні проекти можуть пасивно використовувати сонце як джерело світла для опалення та охолодження.

Власники будинків, підприємства та державні установи можуть скористатися перевагами сонячної енергії багатьма способами: встановити домашню сонячну систему або комерційні сонячні панелі; побудувати або модернізувати будівлю для включення сонячних систем гарячого водопостачання, охолодження або вентиляції; дизайн з нуля конструкцій, які використовують природні властивості сонця для пасивного опалення та освітлення.

Поглинання вітрової енергії. Вітер можна вважати формою сонячної енергії, оскільки нерівномірне нагрівання та охолодження атмосфери викликають вітри (а також обертання Землі та інші топографічні фактори). Потік вітру може бути захоплений вітряними турбінами і перетворений в електрику. У менших масштабах вітряки й сьогодні використовуються для перекачування води на фермах.

Для задоволення потреб багатьох організацій у відновлюваних джерелах енергії доступні вітрогенераторні системи комерційного класу.

Одновітрові турбіни можуть виробляти електроенергію, щоб доповнити існуюче електропостачання. Коли дме вітер, електроенергія, вироблена системою, йде на компенсацію потреби в електроенергії, що постачається комунальними службами.

Вітряні електростанції комунального виробництва виробляють електроенергію, яку можна придбати на оптовому ринку електроенергії за контрактом або шляхом проведення конкурсних торгів.

Геотермальна або енергія від Землі. Геотермальна енергія одержується від тепла землі. Це тепло може бути отримано близько до поверхні або з нагрітої скелі та резервуарів з гарячою водою за милі під нашими ногами.

Геотермальні електростанції використовують ці джерела тепла для виробництва електроенергії. У набагато менших масштабах система геотермального теплового насоса може використовувати постійну температуру землі, що знаходиться всього на 3 метрах під поверхнею, щоб подавати тепло до сусідньої будівлі взимку або охолоджувати її влітку.

Геотермальна енергія може бути частиною комерційного енергетичного рішення у великих масштабах або може бути частиною сталої практики на місцевому рівні. Пряме використання геотермальної енергії може включати опалення офісних будівель або виробничих підприємств; допомога у вирощуванні тепличних рослин; підігрів води в рибних господарствах; і практичне вирішення в різних промислових процесах.

Енергія з океану. Є два види енергії, яку може виробляти океан: теплова енергія від сонячного тепла і механічна енергія від руху припливів і хвиль.

Теплова енергія океану може бути перетворена в електрику за допомогою кількох різних систем, які залежать від температури теплої поверхні води. «Механічна енергія океану» використовує припливи та відливи, викликані обертанням Землі та гравітаційним впливом Місяця. Енергія вітрових хвиль, також, може бути перетворена та використана для зменшення витрат на електроенергію.

Існують, також, менш розвинені технології, які використовують океанські течії, океанські вітри та градієнти солоності як джерела перетворення енергії.

Холодну океанську воду з глибини можна використовувати для охолодження будівель (при цьому опріснена вода часто виробляється як побічний продукт), а приморські громади можуть використовувати описані вище методи використання природної енергії океану.

Енергія океану є джерелом альтернативного виробництва енергії, що розвивається, і оскільки понад 70 відсотків поверхні нашої планети вкрите океаном, її майбутнє виглядає багатообіцяючим, залежно від географії та нормативних вказівок.

Біоенергія – це вид відновлюваної енергії, отриманої з біомаси для виробництва тепла та електроенергії або для виробництва рідкого палива, такого як етанол та біодизельне паливо, що використовуються для транспорту.

Біомаса відноситься до будь-якої органічної речовини, отриманої з нещодавно живих рослин або тварин. Незважаючи на те, що біоенергія генерує приблизно таку ж кількість вуглекислого газу, як і викопне паливо, рослини-замінники вирощують у вигляді біомаси для видалення рівної кількості CO₂ з атмосфери, зберігаючи вплив на навколишнє середовище відносно нейтральним.

Існують різноманітні системи, що використовуються для виробництва цього типу електроенергії, починаючи від безпосереднього спалювання біомаси і закінчуючи поглинанням і використанням газу метану, що утворюється в результаті природного розкладання органічного матеріалу.

Підприємства чи організації, які перевозять вантажі чи людей, можуть переобладнати свої автопарки на транспортні засоби, які використовують біопаливо, таке як етанол або біодизельне паливо.

Виробничі потужності можуть бути обладнані для безпосереднього спалювання біомаси для виробництва пари, що поглинаються турбіною для виробництва електроенергії.

У деяких випадках цей процес може мати подвійну мету, забезпечуючи живлення об'єкта, а також його опалення. Наприклад, паперові фабрики можуть

використовувати відходи деревини для виробництва електроенергії та пари для опалення. Ферми можуть перетворювати відходи тваринництва в електроенергію за допомогою невеликих модульних систем.

Міста можуть використовувати газ метан, що утворюється в результаті анаеробного розщеплення органічних відходів на звалищах, і використовувати його як паливо для виробництва електроенергії [2, 3].

2 ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ

2.1 Види сонячних електростанцій для генерації електричної мережі

Загалом в наш час більшість країн світу починають переходити до комбінованих систем електроживлення з встановленням в енергосистему альтернативних джерел енергії, що генерують електричну енергію.

Найбільш прийнятним техніко-економічним варіантом для генерації електричної енергії – це використання вітрової та сонячної енергії. На даний момент існує велика кількість проєктів та рішень для встановлення сонячної та вітрової електростанції.

Розглянемо основні характеристики цих видів генерації та проведемо технічні розрахунки параметрів таких систем.

Сонячні електростанції бувають різних форм залежно від використовуваної технології та способу перетворення сонячної енергії.

Їх можна розділити на три групи: фотоелектричні сонячні електростанції, сонячні теплові електростанції та концентраційні сонячні електростанції.

Ці електростанції можуть працювати відповідно до різних сонячних систем. Це автономні, підключені до мережі та гібридні сонячні системи.

Фотоелектрична сонячна електростанція. Також відомі як сонячні ферми, фотоелектричні сонячні електростанції використовують велику кількість фотоелектричних масивів для захоплення сонячної енергії, яка буде перетворена безпосередньо в електрику.

Тип фотоелементів, що використовуються для сонячних ферм, може бути різним. Деякі ферми використовують кристалічні сонячні панелі, а інші можуть використовувати тонкоплівкові сонячні панелі.

Матеріал фотогенеруючого елементу в кристалічних сонячних панелях буває монокристалічним, полікристалічним або мультикристалічним.

Монокристалічний, як відомо, більш ефективний, але цей матеріал дорожчий, ніж два останніх.

Тонкоплівкові сонячні панелі здатні поглинати світло в різних частинах сонячного спектру. Виготовлена з широкого спектру інших матеріалів, тонка плівка більш гнучка і може бути зігнута в вигнуті структури.

Тип виробленої електроенергії – постійний струм, який можна зберігати в батареях. Однак постійний струм необхідно перетворити в змінний струм, який є формою, придатною для використання та поданою в мережу живлення.

Через необхідність перетворення постійного струму в змінний, інвертори для важкої роботи є важливим компонентом сонячних електростанцій. Якщо установка виробляє більше 500 кВт, вона зазвичай також використовує підвищувальні трансформатори.



Рисунок 2.1 – Сонячна фотоелектрична електростанція (модульна)

Цей тип електростанції зазвичай має певну систему моніторингу для контролю та керування станцією, а також кількістю виробленої електроенергії.

Сонячна теплова електростанція. Ця категорія сонячних електростанцій також збирає сонячне світло, але не для безпосереднього перетворення сонячної енергії в електрику. Замість цього він використовує сонячне світло для вироблення тепла, яке потім перетворюється на електрику за допомогою різних процесів.

Мініатюрним масштабом сонячних теплових електростанцій є водонагрівач на сонячній енергії, яким користуються роздрібні споживачі. Вони передбачають використання фотоелектричних панелей.

Прикладом великомасштабної сонячної теплової електростанції є сонячний ставок, який також використовує енергію сонця, але за допомогою солоної води замість фотоелектричних панелей.

Сонячний ставок. Сонячний ставок не використовує фотоелектричні панелі для збору сонячної енергії. Замість цього він використовує технологію градієнта солоності.

Ця техніка використовує велику кількість солоної води; скажімо, ставок з морською водою, для зберігання сонячної теплової енергії. Велика солоня вода природно має вертикальний градієнт солоності.

Це означає, що солоність води відрізняється від верхньої до нижньої частини ставка. Верхній шар, який називається галоклін, має низьку солоність.

Солоність стає більш високою на дні. Чим глибше морська вода, тим концентрований рівень солоності.

У прісній воді сонячні промені нагрівають воду на дні. Тепла вода стає менш щільною і піднімається на поверхню.

Але в солоній воді сіль додають до тих пір, поки нижній шар не стане дуже насиченим і щільним. Це потім перешкоджає руху нагрітої води на поверхню.

Оскільки вода різної концентрації солоності не змішується легко, конвекційні потоки містяться в кожному шарі рівня солоності. Це запобігає втратам тепла з ставка.

Сильно солонa вода може досягати 90 градусів Цельсія, тоді як шари з низькою солоністю можуть підтримувати близько 30 градусів Цельсія.

Потім сонячна електростанція прокачує найгарячіший шар солоної води через турбіну для виробництва електроенергії. Приклади сонячних ставків можна знайти в Ізраїлі та Індії.



Рисунок 2.2 – Фото сонячного ставка

Зосереджувальна сонячна електростанція. Станції з зосередженим сонячним потоком, також, не мають фотоелектричних батарей. Замість цього вони використовують турбіни, дзеркала, двигуни та системи стеження.

Принцип роботи таких установок полягає в тому, щоб концентрувати сонячну енергію для створення тепла. Утворене тепло потім використовується для приводу турбін або двигунів для виробництва електроенергії.

У цьому сенсі ця особливість також робить їх сонячними тепловими електростанціями. Теплова енергія, зосереджена на установці, може бути накопичена для виробництва електроенергії, коли це необхідно.

Існує кілька типів концентраційних електростанцій:

- 1) Сонячна тарілка
- 2) Сонячна вежа
- 3) Параболічний жолоб
- 4) Компактний лінійний рефлектор Френеля

Сонячна електростанція з формою тарілки. Ця технологія концентрації сонячного потоку, також називається «тарілкою» і використовує гігантську параболічну антену з дзеркалами для концентрації сонячного світла на нерухомому приймачі.

Стаціонарний ресивер містить робочу рідину, наприклад водень. Рідина можна нагріти щонайменше до 1200 градусів за Фаренгейтом або 749 градусів за Цельсієм.

Нагріта рідина приводить у рух поршні в двигуні. Механічна потужність від поршнів спрямовується на генератор або генератор для виробництва електроенергії.



Рисунок 2.3 – Концентрована сонячна електростанція з формою тарілки

Таким чином, назва тарілка-двигун. Найбільш поширеним видом теплового двигуна є двигун Стірлінга.

Сонячна електростанція має принаймні кілька сотень таких систем тарілок або двигунів. Кожне «блюдо» системи обертається вздовж двох осей, щоб відстежувати рух сонця.

Це допомагає завжди поглинати сонячну енергію світла і концентрувати сонячну енергію в центрі параболічної антени. Коефіцієнт концентрації сонячної тарілки вищий, ніж у систем лінійної концентрації.

Сонячна вежова електростанція. Цей тип концентраційної сонячної електростанції також називають вежею сонячної електростанції також використовує дзеркала, центральну систему приймача та систему відстеження сонця, як-от сонячну тарілку.



Рисунок 2.4 – Вежова сонячна електростанція

Замість параболічних тарілок дзеркала сонячної вежі розміщені на плоских панелях, які відстежують сонце. Вони називаються геліостатами.

Геліостатами керують комп'ютери, які програмують їх на відстеження сонця вздовж двох осей, так що сонячне світло фокусується на приймачі на вершині високої вежі.

Вежа розміщена в центрі всіх геліостатів. Він заповнений середовищем - або водою, або повітрям. Нагріте середовище уловлюється в котлі, який виробляє електроенергію за допомогою парової турбіни.

Цей метод концентрації сонячного світла може збільшити енергію прямих сонячних променів у 1500 разів. Результатом є концентрація тепла до 700 градусів Цельсія або понад 1000 градусів за Фаренгейтом.

Проводяться дослідження щодо використання в якості нагрівального середовища нітратних солей, які, як вважають, мають вищі властивості теплопередачі та зберігання, ніж чиста вода та повітря.

Ця можливість накопичення енергії дозволить сонячній фермі виробляти електроенергію навіть вночі або в похмурі дні.

Об'єкт сонячної вежі може поширюватися на площу 18 000 квадратних кілометрів і вмістити понад 2 000 геліостатів. Центральна вежа може досягати 60 метрів.

Параболічна електростанція. Дзеркала на сонячній електростанції з параболічним коритом також розташовані довгими смугами, але замість цього смуги вигнуті в центрі, як корито.

Кожне корито зазвичай має висоту від 15 до 20 футів і має довжину від 300 до 450 футів.

Вигнуті жолоби фокусують сонячне світло на трубку приймача, яка проходить по центру кожного жолобка. Приймальна трубка містить високотемпературну теплоносію рідину, таку як синтетичне масло.

Рідина поглинає тепло, а потім проходить через теплообмінник, де вода нагрівається для утворення пари. Потім пара живить звичайну систему парової турбіни для виробництва електроенергії.

Температура цієї рідини може досягати щонайменше 750 градусів за Фаренгейтом або 399 градусів за Цельсієм.

Звичайна електростанція з параболічним жолобом може складатися з сотень паралельних жолобів, з'єднаних у серію петель. Вони розташовані по осі північ-південь так, що вони відстежують сонце зі сходу на захід.



Рисунок 2.5 – Параболічна сонячна електростанція

Компактна електростанція з лінійним відбивачем Френеля. Компактний лінійний відбивач Френеля коротко також називають «лінійною концентраційною системою». Назва походить від використання ефекту лінзи Френеля, який використовує велике дзеркало для концентрації з великою діафрагмою і короткою фокусною відстанню.

Ефект лінзи Френеля може фокусувати сонячне світло приблизно в 30 разів сильніше, ніж звичайна інтенсивність.

CLFR використовує ті ж принципи, що й параболічна система лотків – відстеження сонця за допомогою довгих U-подібних рядів дзеркал (модульних відбивачів) і концентрація сонячної енергії на центральному приймачі.



Рисунок 2.6 – Компактна електростанція з лінійним відбивачем Френеля

Є три ключові відмінності. Одним з них є використання недорогих дзеркал, розташованих у довгі паралельні ряди замість петель.

По-друге, шлях відстеження сонця проходить з півночі на південь, щоб максимально охопити сонячне світло.

Третя відмінність полягає в тому, що модульні відбивачі підняті. Приймач розташований над модульними відбивачами, які відбивають концентроване сонячне світло на його поверхню.

Усередині ресивера знаходиться система трубок, заповнених проточною водою. Тепло, що виділяється концентрованим сонячним світлом на приймачі, закипає воду.

Ця нагріта вода потім пропускається через турбіну, яка генерує пару високого тиску для використання у виробництві електроенергії та промислових парах.

Висновок. З усіх типів сонячних електростанцій лише фотоелектричні електростанції використовують фотоелектричні панелі для безпосереднього перетворення сонячної енергії в електрику. Інші сонячні електростанції також живляться від сонячної енергії. Натомість сольова вода або дзеркала

використовуються для концентрації сонячної енергії для нагрівання середовища. Це нагріте середовище, яке потім пропускається через турбіну або двигун для вироблення електроенергії.[4,5,6,7]

2.2 Основні елементи та принцип роботи вітрогенераторної установки

Протягом останніх двох десятиліть відбулося значне збільшення виробництва енергії вітру глобально. Статистика показує, що інвестиції в розробку та встановлення постійно зростають вітряні турбіни та ферми.

В даний час енергія вітру є другим за значимістю джерелом відновлюваної енергії після енергії води. До 2016 року сукупна встановлена потужність вітру в світі перевищила 432 тис. МВт.

У минулому більшість вітряних електростанцій встановлювалися на суші, але зараз є і офшорні електростанції, які стають все більш популярним. Причина зростання інтересу до офшорних установок незважаючи на більшу вартість у порівнянні з установками на землі – більш стабільний вітер і можливість побудови більшого розміру вітрової турбіни, згруповані у великі вітрові електростанції.

Нове покоління вітрогенераторів надійніше, ніж ті, що випускалися з 1980-х років. Це необхідна умова, щоб виробництво енергії мало відігравати важливу роль серед відновлюваних джерел енергії. Зазначено, що за останні 30 років розмір вітрогенераторів збільшився в 7 разів, а номінальна потужність майже зросла в 14 разів. Зараз розробляються турбіни, здатні виробляти понад 10 МВт потужності.

Основною причиною постійного зростання розмірів турбін є мінімізація витрат на енергію кіловат-годину. Однак варто пам'ятати, що згідно із «законом квадратного куба» є максимальний розмір після перевищення рівня якого, вартість все більших турбін зростатиме швидше ніж фінансова вигода від збільшення їх розміру. Нижче проілюстровано зростання розмірів вітрогенераторів протягом останніх 3-х десятиліть (рис. 6).

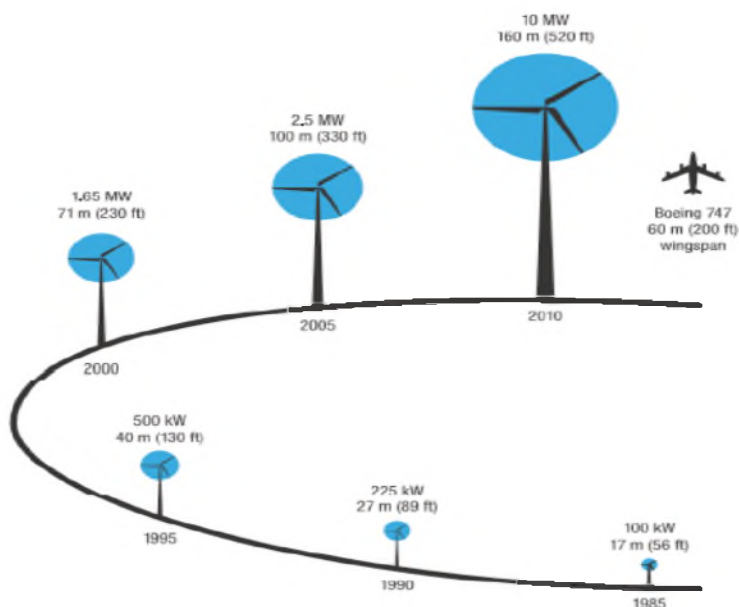


Рисунок 2.7 – Зростання розмірів вітрогенераторів

Крім експансивних вітрових електростанцій з великомасштабними турбінами, спостерігається збільшення області малих вітроенергетичних систем, так званих автономних або автономних систем, не підключених до електричної мережі. Системи виробляють менше 100 кВт·год енергії. У всьому світі кількість виробників малих вітроенергетичних системи динамічно розвиваються. У 2002 році їх було менше 50, тоді як у 2012 році було близько 250 компаній, розташованих у 27 країнах.



Рисунок 2.8 – Види технічних рішень вітрогенераторної установки

Умовно вітрові електростанції можна класифікувати на основі таких параметрів:

а) вихідна потужність:

- мікростанція з вихідною потужністю до 100 Вт, що використовується для живлення електромереж;

- малі електростанції потужністю від 100 Вт до 100 кВт, що використовуються для живлення індивідуальних домашніх господарств або малих підприємств;

- великі вітряні електростанції потужністю 100 кВт і вище, які використовуються для виробництва електричної енергії, пов'язана з віддачею електричної енергії до ергосистеми мережі;

- потужністю понад 1 МВт;

б) розмір конструкції;

в) орієнтація осі ротора:

- горизонтальна вісь;

- вертикальна вісь;

г) інші критерії:

- використання енергії вітру;

- швидкість ротора (низька, середня, висока);

- орієнтація ротора і лопоті відносно напрямку вітру – проти вітру і за вітром;

- конструкція генератора: коробка передач або прямий привід.

Основними елементами вітрогенератора є ротор (лопаті і маточина), привід і система управління (рис. 2.9). Найважливішим елементом турбіни є лопаті, оскільки саме ці елементи здійснюють фактичне перетворення енергії з кінетичної в механічну, використовуючи принцип створення підйомної сили на вигнуті лопаті. На даний момент найпопулярнішою є горизонтальна трилопатєва конструкція конфігурації. Конструкція з трьома лопатями виявилася найбільш енергоефективною та найефективніше збалансованою.

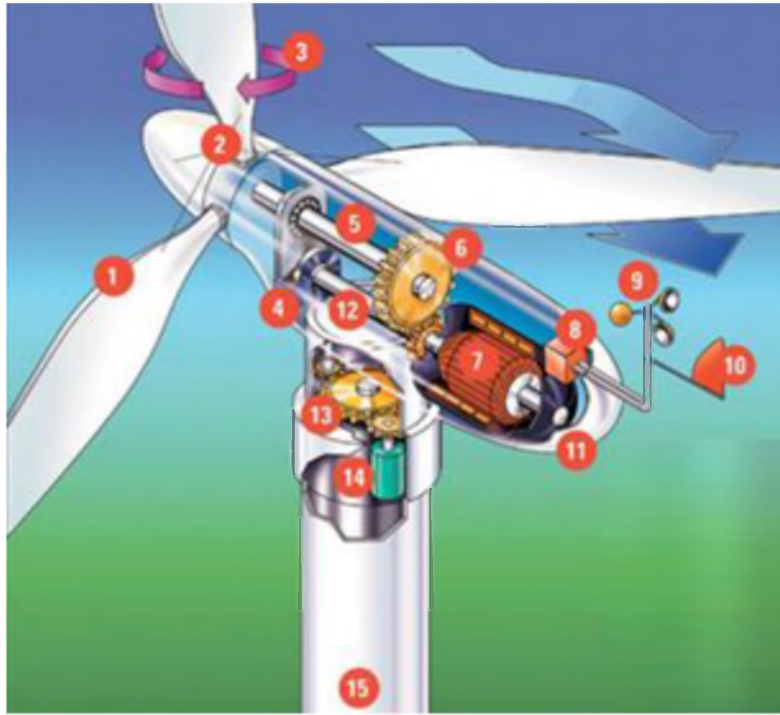


Рисунок 2.9 – Основні елементи вітрогенератора:

1 – лопать; 2 – ротор; 3 – механізм повороту лопаті; 4 – гальмівний пристрій; 5 – тихохідний вал; 6 – мультиплікатор; 7 – генератор;
8 – контролер; 9 – анемометр; 10 – флюгер; 11 – гондола; 12 – бистрохідний вал; 13 – редуктор повороту гондоли; 14 – двигун для повороту гондоли; 15 – башта

На рис. 2.10 показано вплив кількості лопатей на коефіцієнт потужності для конкретного співвідношення швидкості обертання наконечника, що розраховується за формулою (2.1).

$$J = \frac{\Omega R}{V_0} \quad (2.1)$$

де: Ω – швидкість обертання;

R – радіус леза лопаті;

V_0 – швидкість вітру.

На рис. 2.10 легко побачити значне збільшення коефіцієнта потужності зі зміною конфігурації кількості лез вітрогенератора. Подальше збільшення кількості лопатей призводить до значного зменшення коефіцієнта потужності, коли враховуються втрати ефективності, пов'язані з тертям.

Однак конфігурація з трьома лопатями є кращою, оскільки вона має лише 2/3 навантаження від двох лопатей конфігурації, що створює менше шуму.

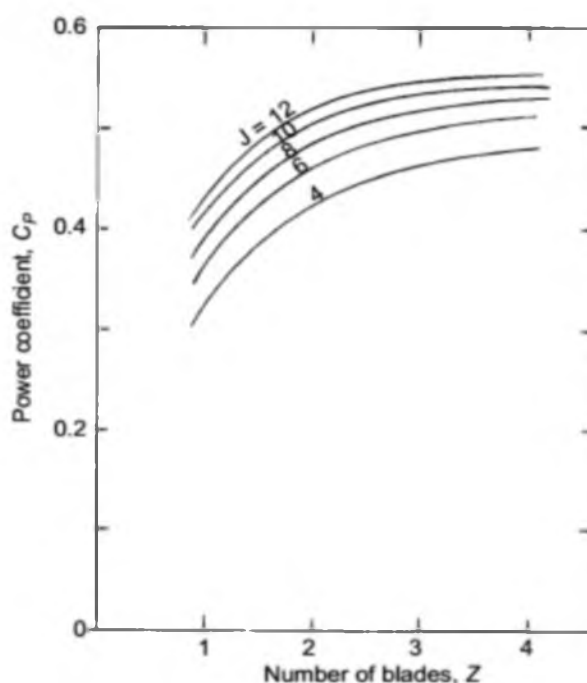


Рисунок 2.10 – Графік впливу кількості лопатів на коефіцієнт потужності

Що стосується орієнтації осі, то конструкції вертикального розположення, менш ефективні, ніж горизонтального розположення, є використовується в основному для дрібних. Ключовим фактором, що спричиняє низьку ефективність вертикального розположення, є те, що кожна лопать досягає максимальної підйомної сили лише в одній точці за оберт.

Про максимальну ефективність вітрогенераторів свідчить низький рівень Бетца, який говорить про цей максимум кількість кінетичної енергії, яка теоретично може бути отримана від вітру і перетворена в механічну енергію не може перевищувати 59,3%.

Потужність, що виробляється вітряними турбінами, виражається формулою (2.2):

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot c_p \quad (2.2)$$

де: P – потужність, що виробляється ротором;

ρ – щільність повітря;

A – площа поглинання, описана як коло, що описується обертом лопатів;

V – швидкість вітрового потоку;

c_p – коефіцієнт потужності.

Рис. 2.11 ілюструє взаємозв'язок між потужністю, виробленою вітрогенератором, і вітром швидкість. При швидкості вітру менше 5 м/с турбіна взагалі не виробляє електроенергії. Максимальна ефективність є досягається при швидкості понад 12 м/с. Рис. 2.12 показує річний розподіл середніх показників по годинах швидкість вітру для типової низовини. Порівнявши дані на рис. 8а і 8б можна зробити висновок що електростанція може працювати на номінальній потужності лише 10-15% часу на рік.

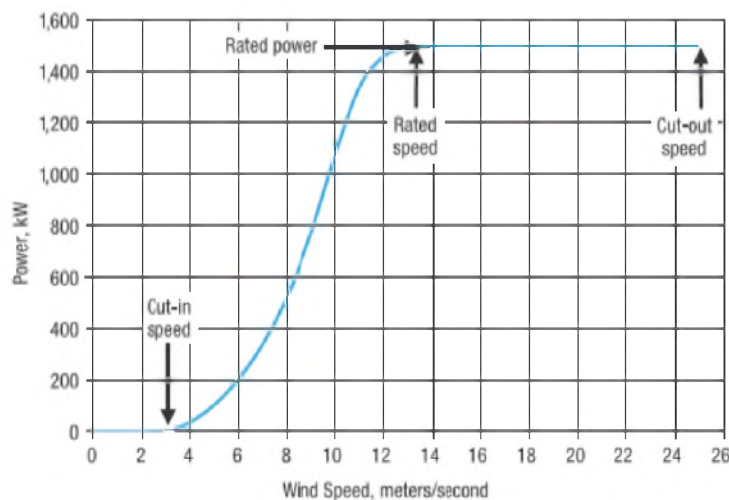


Рисунок 2.11 – Графік залежності потужності від швидкості вітрового потоку

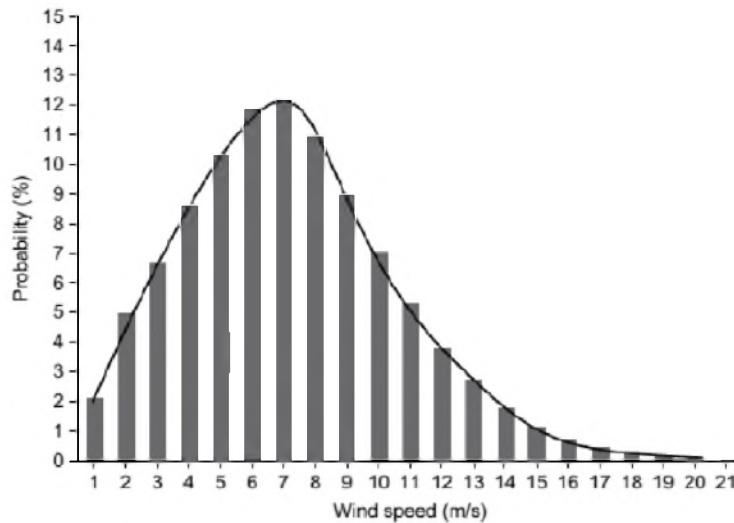


Рисунок 2.12 – Графік залежності річного розподілу швидкості вітру

Основні відмінності в підходах до проектування вітрогенераторів пов'язані з:

- а) постійна або змінна робоча швидкість,
- б) генератори з прямим приводом або коробкою передач,
- в) керованість гондоли або керованість по нахилу.

Вісь вітряної турбіни обертається зі швидкістю 20 об/хв або менше. Метою коробки передач є збільшення швидкості обертання до 1200-1800 об/хв, швидкість, яка краще підходить для роботи генератора.

Зміни умов вітру генерують дуже мінливі і важко передбачувані високі сили, які створюють велике навантаження на коробці передач, особливо на підшипниках і гвинтах. Деякі конструкції використовують епіциклічні зачеплення з планетарними передачами, що обертається навколо механізму, тоді як інші використовують черв'ячні передачі, а виробники продовжують збільшувати міцність зубчастих коліс і підшипників, коробки передач продовжують вимагати частого обслуговування через суворі умови експлуатації, викликані змінними вітровими навантаженнями.

Ремонт коробки передач є одним з найдорожчих заходів з обслуговування. Наприклад, заміна пошкодженої частини коробки передач у великій вітровій турбіні призведуть до витрат приблизно до 1 мільйона євро. Більшість великих

вітряних турбін оснащені гідравлічною або пневматичною системою затиску гальмівних дисків. В деяких вітрових турбінах використовують високоефективні гальмівні системи; однак стандартним рішенням є перехід на холостий хід, використовуючи систему зміни кроку і гальмівну систему, щоб зупинити тільки ротор і запобігти цьому від вільного обертання.

Інженери все ще працюють над покращенням перетворення енергії вітру. Багато з нових концепцій, хоча і засновані на ідеях десятиліть тому, можуть реалізуватися лише зараз завдяки новим матеріалам та інструментам комп'ютерного проектування. Паралельно з розвитком с традиційні рішення, також, створюються інноваційні футуристичні концепції. Відомий як компактні вітроприскорювальні турбіни, концепція заснована на відомій концепції дифузора збільшення швидкості вітру до того, як він досягне ротора.

Вітрогенератори, були розроблені для вітрів, близьких до поверхні землі, при висоті 600 м над рівнем моря; швидкість вітру в 2-3 рази більша. Вчені хочуть отримати переваги сприятливих вітрів, подумайте про підвісні турбіни навіть на висоті 9 км є повітряні маси, що швидко рухаються, що називаються «струменем», а швидкість повітря досягає 65 м/с і потужність щільності знаходяться в діапазоні 20 000-40 000 Вт/м² (на рівні землі щільність близько 500 Вт/м²) [8].

2.3 Підбір та розрахунок сонячних панелей та потужності енергопостачання

За завданням ми маємо площу землі біля трансформаторної підстанції, яка становить 2000 м². Цю площу можливо примінити для модульної фотоелектричної станції, що генеруватиме електричну енергію в енергосистему.

Таким чином, щоб покрити площу приймаємо сонячну панель, яку можливо знайти на ринку в Україні, характеристики якої наведені нижче.

Електрогенеруючий пристрій виготовлено за унікальною, запатентованою "Панасоніком" технологією НІТ. Являє собою панель з 96 осередків - по 8 штук у 12 рядів. В основі кожного фотоелемента лежить монокристалічна кремнієва пластина. Для мінімізації дефектної області осередку вона покрита найтоншими

шарами аморфного кремнію. Зверху сонячні елементи захищені світлопоглинаючим склом із пірамідальною текстурою, завдяки чому зберігають високу продуктивність за умов низького освітлення.

Міцність усієї конструкції забезпечує алюмінієвий каркас з особливою дренажною системою, що запобігає затримці води на поверхні панелі. До переваг гібридної сонячної панелі "Панасонік ХІТ" відносяться: знижені втрати потужності через перегрівання, низький рівень довгострокової деградації, стійкість до появи мікротріщин.



Рисунок 2.13 – Загальний вид сонячної панелі

У разі спеки виробляє на 10% більше електроенергії, ніж стандартні модулі. Є оптимальним рішенням при нестачі площі під установку, так як на 27% потужніший за інші панелі аналогічних габаритів. Вибравши модель НІТ, ви отримаєте на 19,7% більше електрики з кожного квадратного метра, суттєво заощадите (до 24%) на кріпленнях та монтажних роботах. Сонячні панелі використовуються при будівництві домашніх та промислових електростанцій. Маючи найвищий показник ККД на ринку, вони підходять до створення комерційних систем під «зелений» тариф. Фотомодулі від відомого японського бренду відрізняють високу надійність, підтверджену сертифікатами [9].

Таблиця 2.1 – Параметри сонячного фотомодуля

Мінімальна робоча температура	-40 град.
Ступінь захисту IP	67
Матеріал рамки	Алюміній
Напруга холостого ходу	69.6 В
ККД, не менше	19,4 %
Максимальна робоча температура	85 град.
Країна виробник	Японія
Гарантійний термін	60 мес
Напруга при максимальній потужності	57,6 В
Потужність	325 Вт
Струм короткого замикання	6,03 А
Виробник	Panasonic
Струм при максимальній потужності	5,65 А
Кількість елементів	96 шт.
Тип панелі	Монокристалічна
Товщина	35 мм
Ширина	1053 мм
Вага	18,5 кг
Довжина	1590 мм
Температурний коефіцієнт напруги	-0.133 %/°C
Температурный коэффициент мощности	-0.29 %/°C

Розрахунок кількості панелей, які розмістяться на площі землі біля трансформаторної підстанції з врахуванням площі для встановлення вітрогенераторів, що становить 20% від загальної:

$$N_s = \frac{S_3}{S_{\Pi}} = \frac{0,8 \cdot 2^3}{1,675} = 955 \cong 950 \text{ шт.} \quad (2.3)$$

Максимальна потужність сонячних панелей при сонячній інсоляції 1000 Вт на 1 м² з врахуванням КПД панелі становить:

$$P_{max} = N \cdot P_s \cdot \eta = 950 \cdot 0,325 \cdot 0,19 = 58,6 \text{ кВт} \quad (2.4)$$

де: P_s – максимальна потужність, що задана виробником для данної панелі;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) сонячної панелі, що заданий заводом виробником для монокристалічного елементу 17-19%.

Так як ми знаходимося в Донецькому регіоні, будемо приймати значення сонячної інсоляції в даній місцевості.

Таким чином розглянемо карту сонячної інсоляції України та підставимо значення до формул, які наведені нижче.

Розрахунок генеруючої максимальної потужності сонячних елементів з урахуванням середньорічної сонячної інсоляції Донецької області:

$$P_{інс} = P_{max} \cdot M_{сер} = 58,6 \cdot 1,25 = 73,32 \text{ кВт} \quad (2.5)$$

де: $M_{сер}$ – середьорічний коефіцієнт сонячної інсоляції за картою (рис.2.14);

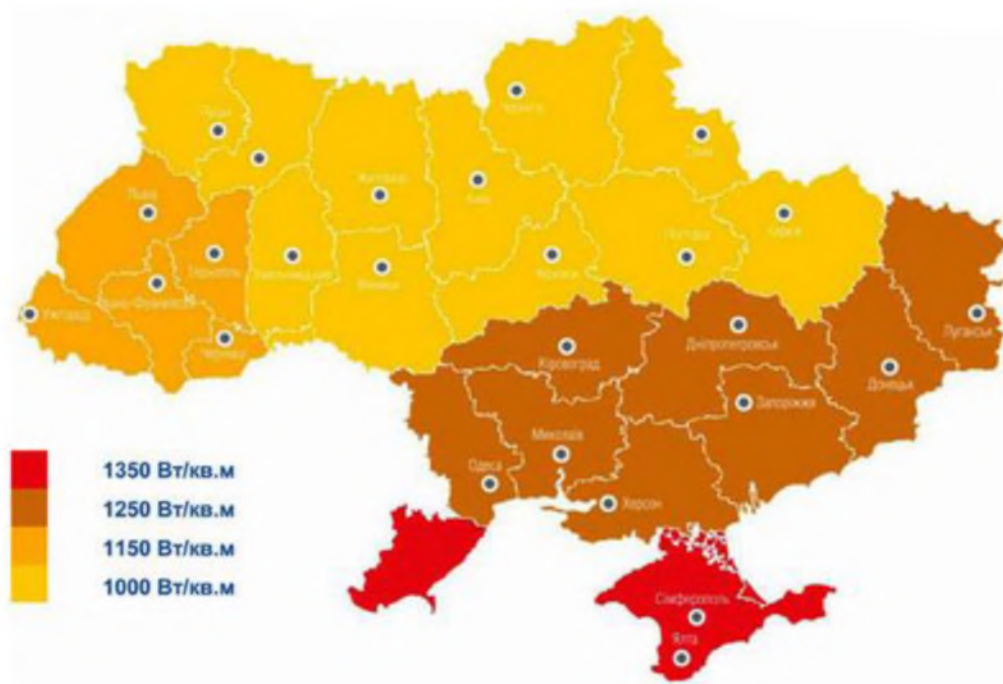


Рисунок 2.14 – Середньорічний рівень сонячної інсоляції в Україні

2.5 Розрахунок швидкості потоку та параметрів вітрогенератора

За завданням пікова активна потужність приєднання електроприймачів становить 100 кВт, тобто треба проведи вибір трансформатора, який буде живити ці приймачі.

Для прикладу візьмемо, що категорія надійності є III, тобто завантаження становить 0,9–0,95 % від номінальної потужності трансформатора. Також, трансформаторна підстанція буде складатись з 1-го трансформатора з резервним живленням.

Проведемо спрощений розрахунок трансформатора для такої приєднаної пікової потужності:

$$S_{\text{тр}} \cdot 0,8 \geq P_{\text{пik}} \geq P_{\text{н}} \equiv 160 \cdot 0,8 \geq 100 \geq 0,7 \cdot 100$$

де: $S_{\text{тр}}$ – номінальна потужність трансформатора за паспортом;

$P_{\text{пik}}$ – загальна пікова потужність електроприймачів;

$P_{\text{н}}$ – потужність нормальної роботи трансформатора 0,7 від номінальної потужності.

За загальною потужністю трансформаторної підстанції, що становить 160 кВА, ми можемо розрахувати активну частину потужності, щоб врахувати кількість вітрогенераторів та їх потужність для генерації.

Таким чином розглянемо основні параметри трансформатора, що буде використовуватися в схемі електроживлення.

Силові масляні трансформатори ТМ-160 кВА – це трансформатори загального призначення потужністю 160кВА. ТМ-160 кВА використовуються для потреб народного господарства для зовнішньої та внутрішньої установки.

Силові трансформатори ТМ-160 випускаються з номінальною напругою первинної обмотки (високої напруги) до 10 кВ, включно, та вторинної обмотки

(низької напруги) – 0,4 кВ. Схема та група сполук трансформаторів ТМ – У/Ун-0, Д/Ун-11.

Номинальна напруга первинної обмотки силового трансформатора ТМ-160 кВА може становити 6 кВ, 10 кВ, 15 кВ, 20 кВ, 27.5 кВ, 35 кВ, та вторинної обмотки 0,4 кВ, 6 кВ, 10 кВ, 15 кВ. Групи з'єднань та схеми трансформатора ТМ-160 кВА - Д/Ун-11; У/Ун-0; У/Зн-0. Напруга регулюється без збудження. Силкові масляні трансформатори ТМ-160 кВА обладнані високовольтними перемикачами, які приєднуються до високої напруги обмотування. Вони дозволяють регулювати напругу ступенями при відключеному від електричної мережі трансформаторі з діапазоном $\pm 2 \times 2.5\%$.

Маса трансформатора ТМ-160 кВА складає 260 кг, маса олії 85кг. Втрати холостого ходу трансформатора ТМ-160 кВА – 110 Вт. Втрати короткого замикання 600 Вт. Напруга короткого замикання 4.5%.

Бак трансформатора ТМ-160 овальної форми. У трансформаторах потужністю 25 кВА збільшення поверхні охолодження застосовуються радіатори і гофровані баки. Для підйому силового трансформатора ТМ-160 у зборі під верхньою рамою бака розташовані гаки. Для заточки олії є кран на кришці бака, для спуску олії вниз бака є пробка, також розташований внизу кран для взяття проби і болт заземлення.

Активна частина трансформатора ТМ-160 кВА складається з магнітопроводу, який виготовляється з високоякісної холоднокатаної електротехнічної сталі, обмоток і високовольтного перемикача. Обмотки силового масляного трансформатора ТМ-160 кВА алюмінієві або мідні (ціна трансформаторів ТМ-160 кВА з мідною обмоткою, як правило, вища). На трансформатор ТМ-160 встановлюються прохідні порцелянові ізолятори. Вводи нижчої та вищої напруги зовнішньої установки, знімні. При струмі введення понад 1000 А у верхній частині струмопровідного стрижня прикріплений контактний затискач з лопаткою, що забезпечує приєднання плоских шин. На кришці ТМ-160 кВА розташовані вводи ВН та ПН. Наявність масла при всіх режимах роботи трансформатора ТМ-160 кВА та коливання температури

навколишнього середовища забезпечує маслорозширювач. Вологу, що надходить у масляний силовий трансформатор ТМ-160 кВА, поглинає сорбент, яким заповнений осушувач повітря, що захищає масло від зовнішнього повітря.

На торці маслорасширителя закріплений вказівник для контролю масла. Він має три контрольні мітки, які відповідають рівню олії в непрацюючому трансформаторі за різних температур. На кришці трансформатора ТМ-160 встановлено термометр вимірювання температури верхніх шарів масла [10].



Рисунок 2.15 – Загальний вигляд трансформатора ТМ–160 кВА

Розрахунок активної складової потужності:

$$P_A = P_{\text{повн.}} \cdot \cos \varphi = 160 \cdot 0,8 = 128 \text{ кВт} \quad (2.6)$$

де: $\cos \varphi$ – коефіцієнт кута між активною і реактивною потужністю для енергосистеми, приймається значенням 0,8.

Таким чином, після розрахунку активної складової отримуємо кількість електричної потужності, яку потрібно буде згенерувати вітрогенераторами для загальної потужності:

$$P_{\text{вітр.}} = P_A - P_{\text{max}} = 128 - 58,6 = 69,4 \text{ кВт} \quad (2.7)$$

Потужність, що залишилась, буде згенерована двома вітрогенераторами. Для нашого випадку обираємо Condor Air WES 380/50-30, 30 кВт, параметри якого наведено нижче (табл. 2.2).

Такий вітрогенератор – це механізм, який перетворює енергію вітру на електричну енергію напругою 220/380 В, і з частотою 50 Гц. Установки ефективні при використанні їх як основні джерела електроживлення для індивідуальних домобудівництв, фермерських господарств, підприємств, нафтогазових об'єктів, віддалених від мережі споживачів, і т.д. Модельний ряд даної серії включає станції потужністю 15, 20, 30, 40, 50, 60 кВт.

Старт установки відбувається при швидкості вітру 2,5 м/с, номінальну потужність ВЕС видають при швидкості вітру близько 8 м/с, що зумовлює їх застосування для слабких та середніх вітрів. Температура експлуатації в діапазоні від -40 до +50 градусів у звичайно виконанні та від -55 до +50 у північному виконанні.

Для отримання великих потужностей за відносно невелику швидкість вітру доцільно об'єднання станцій у вітропарки (до 1 МВт), так як установка великих станцій потужністю від 100 кВт до 2 МВт на більшій території України як правило не виправдовує себе, пов'язано це з тим, що номінальна швидкість вітру у таких станцій коливається в межах 13-16 м/с, а таких вітрів у нашій країні практично немає, за винятком кількох вітряних районів.

Конструкція опорної вежі може поставлятися в різних виконаннях: ґратчаста зварна, трубчаста модульна збірна, багатогранна, висота 12, 18, 24, 36 метрів.

Генератор-трифазний безщітковий 380 В, 50 Гц. Потужність – від 10 до 60 кВт.

Лопаті виготовлені з армованого поліефіру. Спроектowana зона лопат є відносно невеликою, що дозволяє витримувати високу швидкість вітру. З довжиною лопаті від 4 до 9 м і діаметром від 8 до 18 м. Швидкість ротора дорівнює 35-50 об/хв, за рахунок малих обертів станції є малошумними.

Захист від бурі автоматичний. Також, станція обладнана системою ручного гальма.

Орієнтування гондоли на вітер здійснюється автоматично. Дана система ідеально підходить для вітрогенератора, інстальованого в складну систему (застосування у вітропарках), де ефект положення вітрогенератора проти вітру відповідає за задіяння динамічних навантажень обертання [11].



Рисунок 2.16 – Вітрогенератор Condor Air WES 380/50-30

Так як ми маємо різну компановку висоти мачт, то нам потрібно розрахувати на якій висоті встановлювати гондолу. Таким чином розрахунок вітрового потоку знаходиться за формулою:

$$V = V_0 \cdot \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha = 5 \cdot \left(\frac{36}{2}\right)^{0,14} = 7,49 \cong 7,5 \text{ м/с} \quad (2.8)$$

де: V_0 – середня швидкість потоку вітру на території України;

H – висота башти для установки вітрогенератора;

H_0 – висота замірів середньої швидкості;

α – емпіричний показник степеня.

Таблиця 2.2 – Параметри вітрогенеруючої установки
Condor Air WES 380/50-30

Діаметр вітроколеса (м)	12,5
Номінальна кількість обертів (об/хв)	30-35
Номінальна потужність кВт	30
Максимальна потужність кВт	33
Стартова швидкість вітру	2,5 м/с
Номінальна швидкість вітру	8 м/с
Робоча швидкість вітру	3-20 м/с
Захист від ураганого вітру	автоматична
Автоматична орієнтація на вітер	так
Висота башти (м)	36
Тип генератора	асинхронний
Напруга з генератора min/max (В)	170-420
Частота струму (Гц)	50
Вага гондоли (кг)	560
Гранична швидкість вітру	35 м/с

Таким чином, після розрахунку швидкості вітрового потоку зазначимо, що швидкість зі збільшенням башти від 12 метрів до 36 метрів підвищує вітровий потік на 1,1 м/с, що є значним показником для встановлення башти на висоту 36 метрів. Це обумовлює, що вітрогенератор буде працювати при майже номінальному режимі.

Таблиця 2.3 – Показники енергії вітру від швидкості на площу
вітрогенеруючої установки

м/с	Вт/м ²
1	1
3	17
5	77
9	477
11	815
15	2067
18	3572
21	5672
23	7452

Потужність вітрогенератора при максимальному поглинанні середньорічної швидкості потоку вітру (табл.2.3) дорівнює:

$$P_{w1} = S_G \cdot K_e = \frac{3,14 \cdot 6,25^2}{2} \cdot 0,397 = 24,34 \cong 24 \text{ кВт} \quad (2.9)$$

де: S_G – площа, що описується лопатями вітрогенератора;

K_e – коефіцієнт, що враховує потужність 1 м² площі лопотів вітрогенератора з втратами у редукторі та генераторі.

Повна потужність сонячної та вітрової електростанції поблизу трансформаторної підстанції становить:

$$P_{\text{заг.}} = P_{\text{max}} + P_w = 58,6 + 24,34 \cdot 2 = 107,28 \text{ кВт} \quad (2.10)$$

Вироблена потужність на добу з урахуванням сонячних і вітрових годин:

$$P_f = P_{\text{max}} \cdot t_s + P_w \cdot t_w = 58,6 \cdot 7 + 48,68 \cdot 24 = 1578,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.11)$$

де: t_s – середньорічний період часу при якому сонячні панелі працюють при номінальній потужності;

t_w – середньорічний період часу при якому турбінні вітрогенератори працюють при номінальній потужності.

2.4 Вибір інверторної установки для фотовітрової електростанції

Загальні потужності електричних станцій вітрової та сонячної становлять 48,68 кВт та 58,6 кВт відповідно.

Таким чином підбираємо для кожної системи окремий інвертор. Також, для вітрової електростанції потрібно обрати 2 окремих перетворювача електричної енергії для покращення перехідних характеристик мережі з альтернативними джерелами енергії.

Трифазний інвертор 48 В, максимальною потужністю 60 кВт (пікова – 75 кВт, номінальна – 40.5 кВт) для автономного та безперебійного електропостачання.

На потужності вище за пікову в автономному режимі МАП працюватиме не більше 5 сек.

На потужності вище за номінальну в автономному режимі МАП працюватиме не більше 20 хв.

МАП HYBRID вміє синхронізуватися та подавати в мережу будинку енергію від АКБ (і, у свою чергу, від сонячних батарей або вітрогенератора або дизель/бензо/газогенератора/мікрогідроелектростанції). Найчастіше використання – підвищення потужності мережі при нестачі виділеної потужності в пікові години, подачі в мережу енергії від сонячних панелей/вітряків, як без задіяння АКБ, так і з невеликим відсотком їх ємності (без скорочення їх терміну служби).



Рисунок 2.17 – Інвертор для фотоелектростанції МАП HYBRID

Працювати синхронно з 380 В (3x220 В) можуть три інвертори модифікації МАП HYBRID, оснащені додатковими платами сполучення (мережевими платами) або будь-які три інвертори МАП DOMINATOR (вони оснащуються мережними платами за замовчуванням).

Трифазний комплекс МАП HYBRID працює з одним масивом АКБ, напругою 12, 24 або 48 В.

Можлива заміна стандартного корпусу інверторів на відповідний для 19-дюймової шафи.

У разі зникнення напруги на одній із фаз, інвертор, на якому зникла зовнішня напруга, перейде на генерацію від АКБ, два інших продовжать транслювати мережу. Система не перейде повністю на генерацію від АКБ у тому разі, якщо пропаде мережа по двох фазах, тобто. прилади, на яких збережеться живлення, транслюватимуть мережу та попутно заряджатимуть масив АКБ.

Зарубіжні аналоги переходять на генерацію від АКБ по всіх фазах, якщо живлення зникло на приладі, який визначений як "Ведучий" ("Майстер"). У цьому комплексі, навіть якщо живлення пропаде в тому числі і на «Ведучому» приладі, на приладах, що залишилися, буде продовжена трансляція і заряд масиву АКБ (якщо це потрібно), а на генерацію 220 В від АКБ перейдуть тільки ті прилади, на яких пропаде зовнішня напруга. Такий режим роботи дозволить максимально продовжити час роботи системи як генерації від АКБ, так як заряд масиву АКБ буде продовжено навіть одним приладом.

Таким чином, комплекс МАП HYBRID 3 або МАП DOMINATOR може бути перетворювачем однофазної напруги в трифазне з високим ККД (що дозволяє, наприклад, використовувати однофазний генератор для живлення всієї трифазної мережі) [12].

Таблиця 2.4 – Параметри інвертора фотоелектричної генеруючої станції
МАП HYBRID

Кількість фаз	3
Номінальна потужність	40,5 кВт
Пікова потужність	75 кВт
Максимальна потужність	60 кВт
Форма вихідного сигналу	чиста синусоїда
Напруга на вході	48 В
Напруга на виході	220-380 В
Частота	50 Гц
Вхід USB	є
Сумарна ємність АКБ	2800 А-ч, що рекомендується
Мінімальна сумарна ємність АКБ	1000 А-ч
Діапазон робочих температур	від -25 до +50 °C
Габарити	72x41x56 см
Вага	183 кг

Працездатність системи зберігається і у разі повного зникнення мережі по всіх трьох фазах, тоді всі три прилади перейдуть на генерацію. На виході з приладів МАП завжди буде синхронізована мережа 380 В.

У випадку, якщо частота напруги 220 В буде змінюватися в певних рамках (наприклад, вона змінюється при роботі від генераторів при зміні навантаження, зазвичай від 48 до 52 Гц, але буває ширше), то інвертори МАП не втратять зв'язок з мережею або з генератором і між собою, а плавно підлаштовуватимуть свою частоту під наявну частоту мережі/генератора.

Таким чином, після підбору інвертора для сонячної електростанції перейдемо до характеристик інверторів, що будуть застосовуватись для вітрогенераторів.

ACRUX-30K-TM – це мережевий інвертор компанії Altek, яка спеціалізується на комплексних постачаннях та технічному обслуговуванні обладнання для відновлюваних джерел енергії, має великий досвід проектування, монтажу та сервісного обслуговування енергозберігаючого обладнання.



Рисунок 2.18 – Інвертор для вітрогенератора ACRUX-30K-TM

Мережевий інвертор може бути використаний як для системи під зелений тариф так і для економії електроенергії (зменшення споживання електроенергії із зовнішньої електричної мережі). Мережевий інвертор Altek ACRUX-30K-TM перетворює постійний струм на змінний з максимальною ефективністю 98,0%, ККД пошуку точки максимальної потужності (MPPT) до 99,5%. Клас напруги 380В. Має 6 входів (3 MPPT) загальною потужністю 30 кВт, а також вбудований вимикач постійного струму для більшої безпеки. ACRUX-30K-TM дозволить використовувати як сонячні батареї, так і вітрогенератори по максимуму, навіть в умовах низької генерації [13].

Такий вид інвертора буде використовуватись в кожному вітрогенераторі.

Таблиця 2.5 – Параметри інвертора для вітрогенератора ACRUX-30K-ТМ

Кількість фаз	3
Номінальна потужність	30 кВт
Пікова потужність	36 кВт
Форма вихідного сигналу	чиста синусоїда
Напруга на вході	48 В
Напруга на виході	220-380 В
Частота	50 Гц
Діапазон робочих температур	від -25 до +50 °С
Габарити	96х26х67 см
Вага	61 кг

3 АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ГІБРИДНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ НА БАЗІ САПР

3.1 Математична модель сонячного елементу в програмі Matlab

Для того, щоб провести математичне моделювання сонячного елементу потрібно розібратися з яких основних частин складається сонячна панель та опис її основних характеристик.

Першою характеристикою виступає *фотострум*. Більшість типів фотодетекторів – наприклад фотодіоди, фототранзистори, фототрубки та фотопомножувачі – засновані на генерації фотоструму, тобто струму, який виникає при поглинанні світла. Це може включати дещо інші фізичні механізми:

У лампових фотодетекторах, таких як фототрубки та фотопомножувачі, використовується зовнішній фотоефект.

У напівпровідникових детекторах використовується внутрішній фотоефект, найчастіше в р–п або р–і–п переході. Існують, також, фотодетектори метал–напівпровідник–метал, де використовується перехід Шотткі.

У багатьох випадках на один поглинений фотон отримується щонайбільше один фотоелектрон. Частина згенерованих носіїв може бути втрачена, тобто не внести вклад у фотострум; які можна кількісно визначити за допомогою внутрішньої квантової ефективності. Загальна квантова ефективність, також з урахуванням неповного поглинання в корисній активній області детектора, як правило, буде нижчою.

Основна формула для визначення фотоструму:

$$I_{ph} = [I_{sc} + k_i \cdot (T - 298)] \cdot \frac{G}{1000} \quad (3.1)$$

де: I_{sc} – струм короткого замикання;

k_i – струм короткого замикання елемента при температурі 25°C та інсоляції сонячного потоку 1000 Вт/м²;

T – робоча температура;

G – потік сонячної інсоляції.

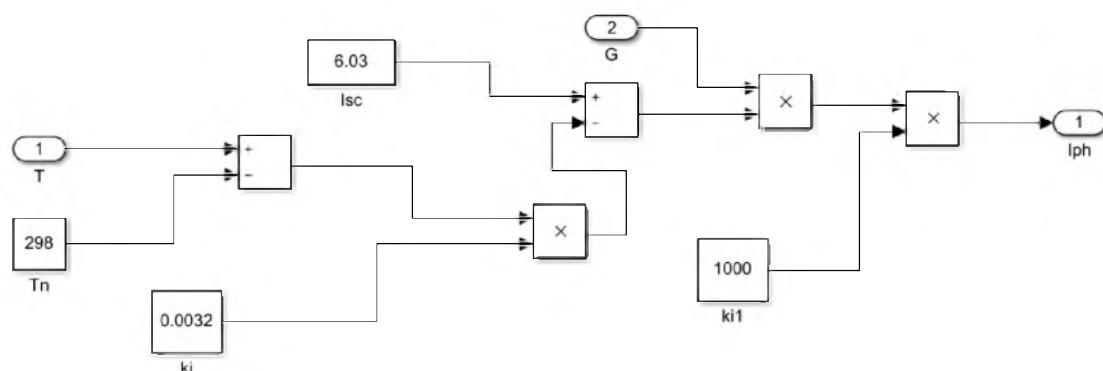


Рисунок 3.1 – Блок-схема характеристик фотоструму фотомодуля в програмі Simulink

Використана робоча напруга часто має лише слабкий вплив на фотострум через квантову ефективність, наприклад, фотодіода. Навіть у фотоелектричному режимі, тобто з нульовою напругою заміщення, квантова ефективність не сильно знижується. Тільки з деяким прямою напругою фотострум починає істотно зменшуватися.

Для багатьох детекторів фотострум досить точно пропорційний оптичній інтенсивності або потужності падіння протягом кількох декад, поки насичення не буде досягнуто на певному рівні.

Крім фактичного фотоструму, може існувати темний струм, який не залежить від інтенсивності падаючого світла.

Деякі типи детекторів використовують механізм розмноження для отримання значно посиленого фотоструму. Такі механізми є як для пристроїв на основі зовнішнього фотоефекту (фотопомножувачі), так і для інших на основі внутрішнього фотоефекту (лавинні фотодіоди). Для таких пристроїв до рівняння

вище можна додати коефіцієнт множення. Цей коефіцієнт множення може сильно залежати від робочої напруги.

При достатньо високій оптичній інтенсивності, якої можна досягти за допомогою ультракоротких імпульсів світла, можна отримати фотострум шляхом двофотонного поглинання, навіть якщо енергія фотона нижче енергії забороненої зони. Тоді фотострум пропорційний квадрату падаючої потужності.

Другою характеристикою виступає *струм насичення*. Струм насичення або, точніше, зворотний струм насичення — це частина зворотного струму в напівпровідниковому діоді, викликана дифузією неосновних носіїв з нейтральних областей в область виснаження. Цей струм майже не залежить від зворотної напруги. Струм насичення зворотного заміщення для ідеального р–п-діода. Струм насичення не є постійною для пристрою; змінюється в залежності від температури; ця дисперсія є домінуючим членом у температурному коефіцієнті для діода. Загальне правило полягає в тому, що він подвоюється на кожні 10°C підвищення температури.

Математична формула характеристик струму насичення:

$$I_0 = I_{rs} \cdot \left(\frac{T}{T_n}\right)^3 \cdot \exp \left[\frac{q \cdot E_{g0} \cdot \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}\right)}{n \cdot K} \right] \quad 3.2$$

де: I_{rs} – зворотній струм насичення;

T_n – номінальна температура 298 К;

q – заряд електрона $1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

E_{g0} – ширина забороненої зони напівпровідника 1,1;

n – коефіцієнт ідеального діода 1,3;

K – постійна Больцмана $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

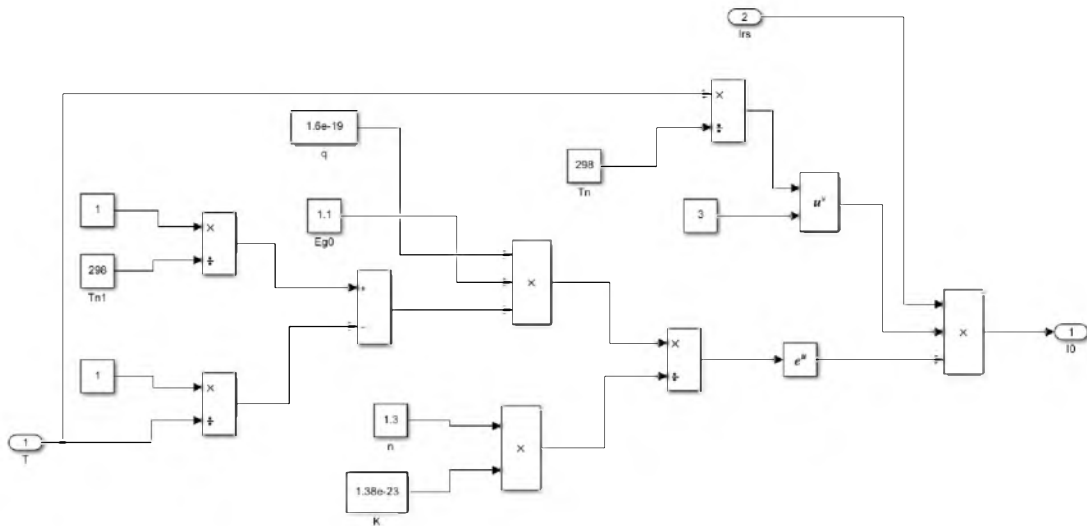


Рисунок 3.2 – Блок-схема характеристик струму насичення фотомодуля в програмі Simulink

Також, наступною характеристикою є зворотний струм насичення:

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{e^{(q \cdot V_{oc} / n \cdot N_s \cdot K \cdot T)} - 1} \quad 3.3$$

де: V_{oc} – напруга холостого ходу фотоеlementу;

N_s – кількість комірок з'єднаних послідовно.

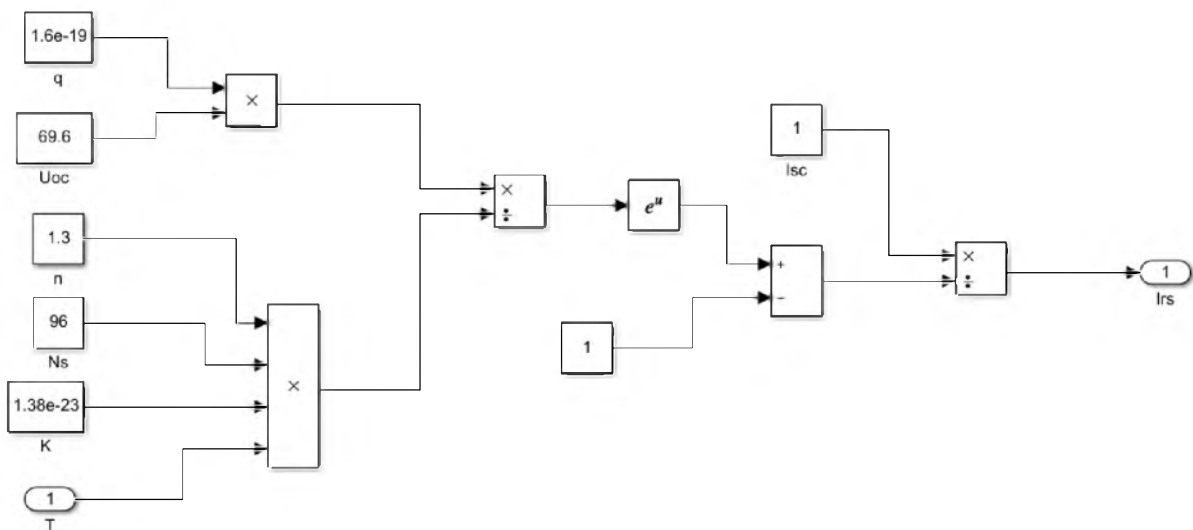


Рисунок 3.3 – Блок-схема характеристик зворотнього струму насичення фотомодуля в програмі Simulink

Ще однією з важливих характеристик є *струм через шунтуючий резистор*. Шунтуючі опори фотоелемента, виникають за рахунок наявності зворотного опору $n - p$ – переходу та різних провідних плівок або забруднень на поверхні елемента, вони включені паралельно джерелу струму.

$$I_{sh} = \left(\frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \right) \quad 3.4$$

де: R_s – послідовний опір елементу;

R_{sh} – шунтуючий опір елементу.

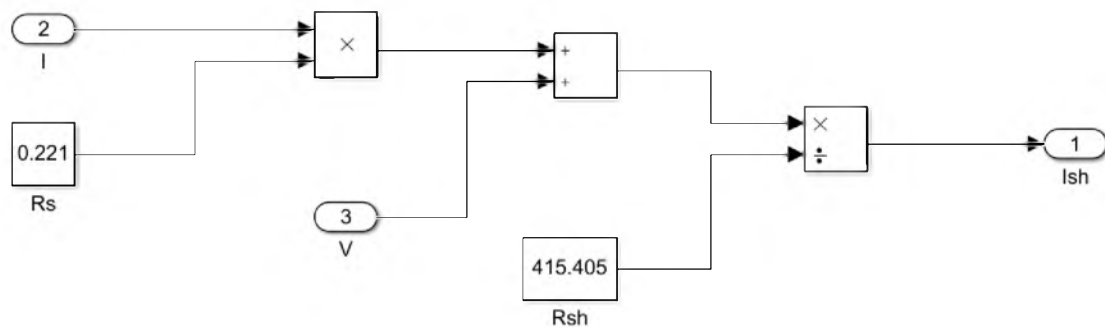


Рисунок 3.4 – Блок-схема характеристик струму через шунтуючий резистор фотомодуля в програмі Simulink

Таким чином, після аналізу основних характерних елементів приведемо загальну формулу вихідного струму фотоелемента:

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot K \cdot N_s \cdot T} \right) - 1 \right] - I_{sh} \quad 3.5$$

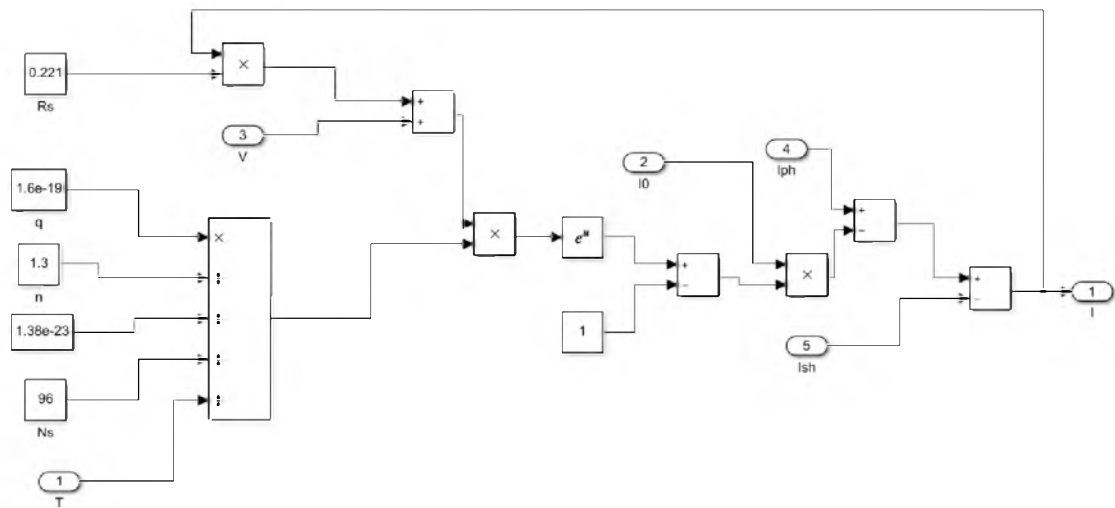


Рисунок 3.5 – Блок-схема характеристик струму через шунтуючий резистор фотомодуля в програмі Simulink

Перейдемо до моделювання вищеперерахованих характеристик фотомодульного елементу. Для цього будемо використовувати математичні елементи, які ми зібрали. Тобто для встановимо всі залежності в такій послідовності, щоб на виході цього блоку були значення вихідного струму та напруги.

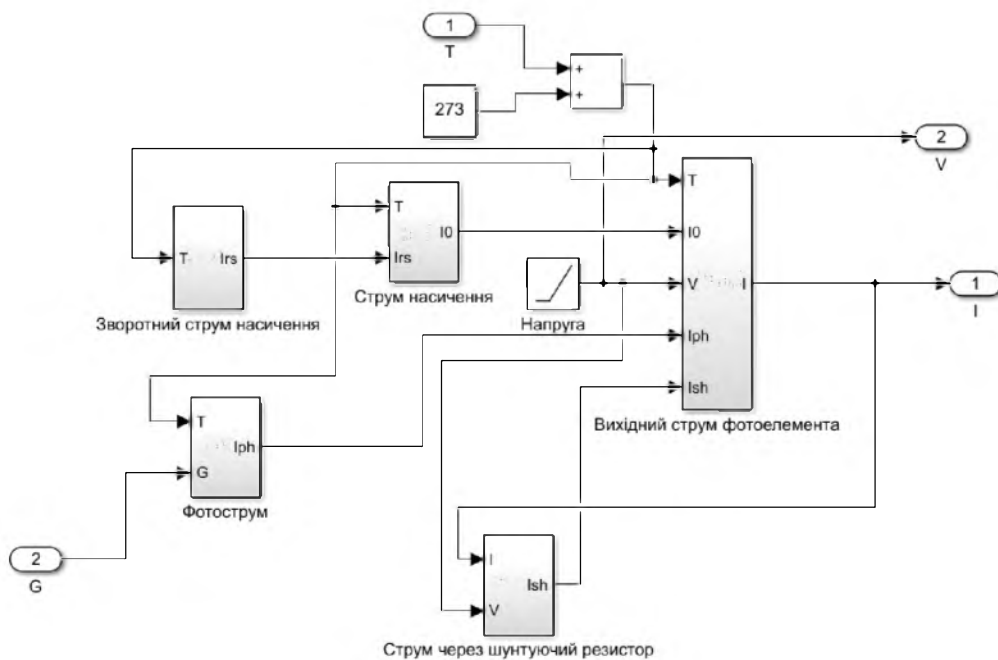


Рисунок 3.6 – Блок-схема характеристик вихідного струму фотомодуля в програмі Simulink

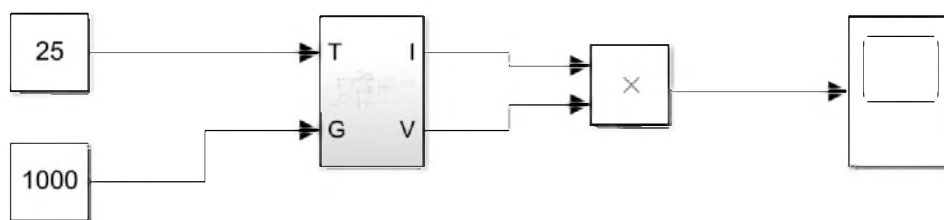


Рисунок 3.7 – Блок-схема фотомодульного елемента з осцилографом для виміру вихідної потужності

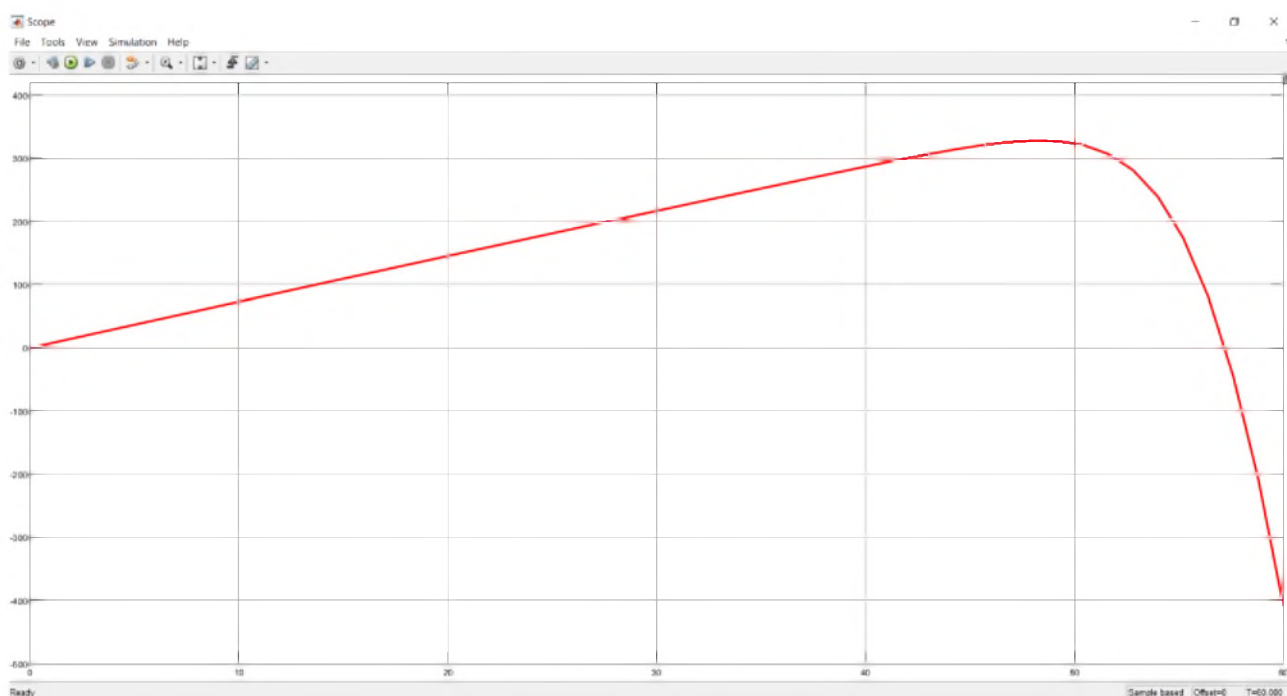


Рисунок 3.8 – Осцилограма вихідної потужності генерації сонячної панелі

З осцилограми вихідної потужності помітно, що модель фотомодуля з заданими параметрами відтворює реалістичну характеристику сонячної панелі. Таким чином, за допомогою математичного моделювання, враховуючи основні параметри фотомодульного елемента, можливо зібрати модель, що описує всі перехідні процеси при генерації електричної енергії в сонячній панелі [14, 15, 16, 17, 18].

3.2 Математична модель вітрогенератора в програмі Matlab

Як вихідні дані моделювання використані технічні характеристики трилопатевої вітротурбіни з горизонтальною віссю обертання.

Вибір даної моделі ВЕУ як об'єкт досліджень визначався тією обставиною, що в її конструкції застосовані найпередовіші технології малої вітроенергетики: порожнисті лопаті зі склопластику, відсутність мультиплікатора, синхронний генератор на постійних магнітах.

Визначення залежності коефіцієнта використання енергії вітру C_p від швидкості повітряного потоку, що набігає на вітроколесо, розраховується за виразом:

$$C_p = \frac{2 \cdot P_{\text{ВЕУ}}}{\eta_{\text{ВЕУ}} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3} \quad (3.6)$$

де: $P_{\text{ВЕУ}}$ – потужність, що генерує вітрогенератор за умови характеристик вітрового потоку;

$\eta_{\text{ВЕУ}}$ – коефіцієнт корисної дії вітрогенератора в основному приймається як у генератора 0,97;

ρ – щільність вітрового потоку приймається 1,225 кг/м³;

R – радіус кола, що описує вітроколесо;

v – швидкість вітрового потоку.

Рівняння динаміки механічних частин ВЕУ представляється у вигляді рівняння рівноваги моментів:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_m - M_r - k_{\text{тр}} \cdot \omega \quad (3.7)$$

де: J – момент інерції мас, що обертаються, ВЕУ;

M_m – механічний момент на валу вітротурбіни;

M_r – електромагнітний момент генератора;

$k_{тр}$ – коефіцієнт тертя;

V – кутова швидкість вітроколеса.

Таким чином, після аналізу характеристик вітрового колеса вітрогенератора розглянемо структурну модель в програмі Matlab Simulink. Для цього будемо використовувати готовий блок Wind Turbine Induction Generator (Phasor Type) (рис.3.9) [19, 20].

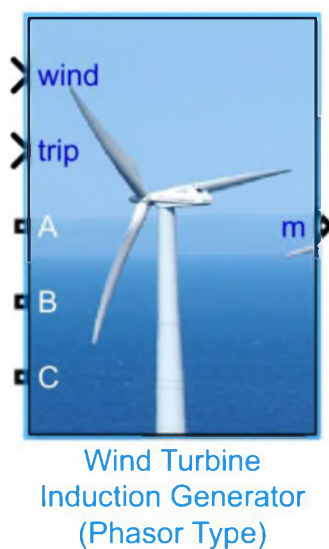


Рисунок 3.9 – Блок Wind Turbine Induction Generator (Phasor Type) в програмі Matlab Simulink

Також, розглянемо основні компоненти цього блоку та визначимо головні з яких складається дана модель вітрогенератора (рис.3.10).

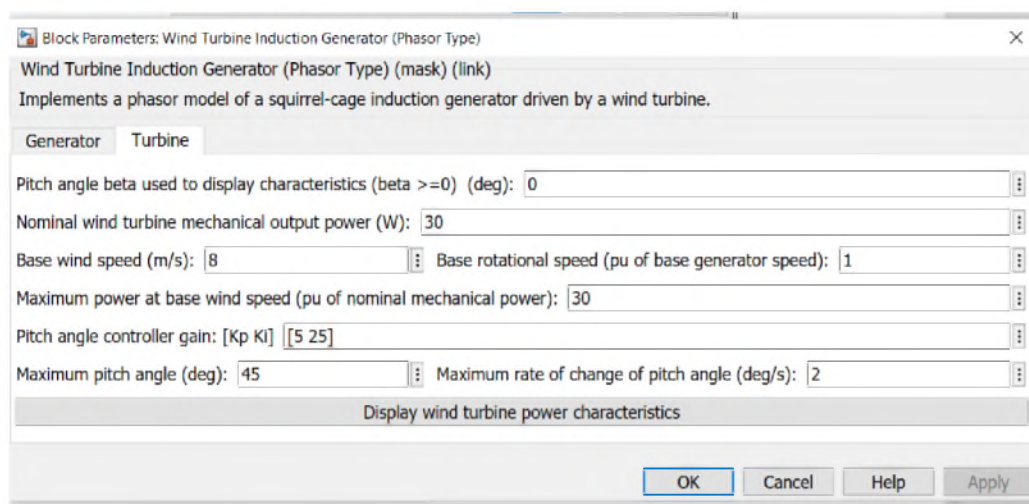


Рисунок 3.12 – Блок вхідних параметрів для генератора

Блок вхідних параметрів вітрової турбіни, наведений на (рис.3.12). В цьому блоці вводимо дані номінальної вихідної потужності вітрогенератора, що становить 30 кВт. Базову, тобто номінальну швидкість потоку вітру 8 м/с. Характеристики потужності турбіни від швидкості потоку вітру наведені на (рис.3.12).

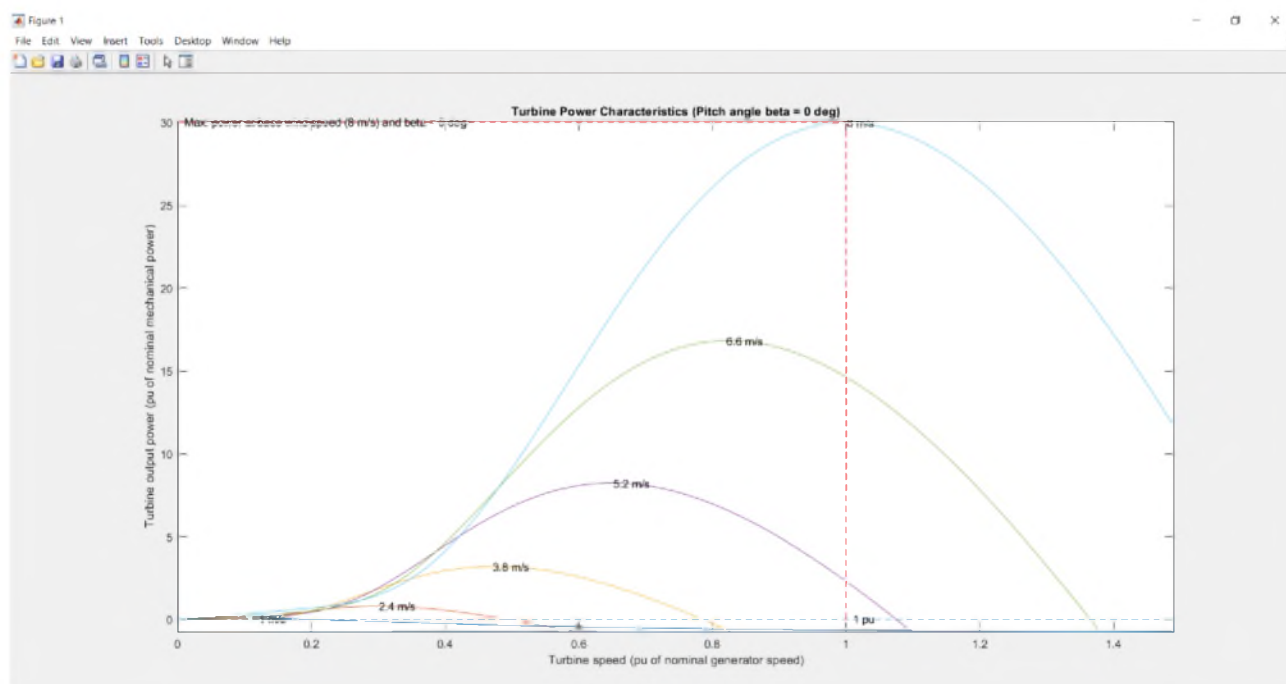


Рисунок 3.12 – Осцилограма характеристик потужності вітрогенератора від швидкості потоку вітру

Таким чином, після аналізу осцилограми помітно, що генератор має точку максимальної потужності при 8 м/с. Якщо потік вітру зменшиться до 6,6 м/с, то потужність генерації електричної енергії зменшується до 18 кВт, тобто падає на 40%. Для цього ми прийняли міри та встановили гондолу на висоті 36 метрів.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломного проекту було розроблено енергетичної системи живлення з включенням альтернативних джерел енергії для зменшення впливу на екологічний стан навколишнього середовища, а також підвищення надійності та автономності різних технологічних об'єктів.

У ході виконання дипломної роботи було вирішено наступні завдання:

1) проаналізувано основні компоненти електричної мережі для постачання електричної енергії до споживачів різних категорій;

2) розглянуто питання паралельного живлення енергосистеми з включенням в неї альтернативних джерел енергії, а саме сонячної електростанції та вітрового генератора;

3) обґрунтовано вибір типу джерела альтернативного джерела генерації та проведено розрахунок їх основних параметрів, що підтверджується автономністю даної енергогенеруючої системи;

4) проведено математичне моделювання сонячної та вітрової електростанції за допомогою програми Matlab (Simulink).

Основну увагу приділено моделюванню окремих компонентів системи живлення. Для фотомодуля приймали математичну модель зібрану в блок-схему, а для вітрогенератора брали готовий блок. Таким чином, було отримано характеристики генерації електричної енергії, які можливо використовувати для подальших інженерно-технічних рішень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения : учебник / Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2007. – 258 с. («Учебники НГТУ»). – ISBN 978-5-7782-0916-9.
2. Краснянский, М.Е. Энергосбережение : учеб. пособ. / М.Е. Краснянский. – изд. 2-е испр. и доп. – Киев : Кондор, 2021 . – 176 с. – ISBN 978-966-8391-47-7.
3. Держенергоефективності [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://saee.gov.ua/uk/ae/termo-energy>.
4. Сонячна енергетика : монографія / Й.С. Мисак, О.Т. Возняк, О.С. Дацько, С.П. Шаповал . – Львів : вид-во Львівської політехніки, 2014 . – 340 с. – ISBN 978-617-607-597-4.
5. Дудюк, Д.Л. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі : навч. посіб. / Д.Л. Дудюк, С.С. Мазепа, Я.М. Гнатишин . – Львів : Магнолія-2006, 2018 . – 188 с. – ISBN 978-966-2025-39-2.
6. Сегеда, М.С. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії : навч. посіб. / М.С. Сегеда, М.Й. Олійник, О.Б. Дудурич . – Львів : вид-во Львівської політехніки, 2019 . – 204 с. – ISBN 978-966-941-404-5.
7. JustSolar [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.justsolar.com/blog/solar-farm/types-of-solar-power-plant>.
8. Andrzej Tywoniuk, Zbigniew Skorupka / Wind power plants – types, design and operation principles. – Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 25, No. 3 – 2018.
9. EcoTech Ukraine [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://eco-tech.com.ua/p479397579-panasonic-solnechnaya-panel.html>.
10. УТЕК Поділля [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrtek.com/article/id/38>.

11. ЮСТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://ust.su/solar/catalog/windmills/5510/>.
12. Солнечный бриз [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <https://solarbreeze.ru/rezervnye-inventory/866-invertor-map-hybrid-48-20-3-phase.html>
13. Brilliant Solar [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <https://brilliantsolar.com.ua>.
14. Бессель В.В., Кучеров В.Г., Мингалеева Р.Д. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: Учебно-методическое пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. – 90 с.
15. Козюков Д. А. Моделирование характеристик фотоэлектрических модулей в Matlab/Simulink [Электронный ресурс] / Д. А. Козюков, Б. К. Цыганков – Режим доступа до ресурсу: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-harakteristik-fotoelektricheskikh-moduley-v-matlab-simulink>.
17. Бутаков С.В. Моделирование автономной фотоэлектрической системы в программной среде MATLAB Simulink / С.В. Бутаков, А.С. Червочков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 112–119.
18. Юсупов Д.Т., Юсупова Ф.Т. Моделирование работы фотоэлектрической системы малой мощности при помощи пакета Simulink // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2021. 7(88).
19. Обухов С.Г. Метод моделирования механических характеристик ветротурбин малой мощности // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. 2011. № 1. С. 10-15.
20. Обухов С.Г., Сарсикеев Е.Ж.. Математическая модель ветротурбины малой мощности в MATLAB SIMULINK/ International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology № 02 (106) – 2012. С. 42–48.

ДОДАТОК А.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Впродовж останніх років використання альтернативних джерел енергії для задоволення господарських потреб стало поширеним в багатьох європейських країнах. Варто відзначити, що на сьогоднішній день в Україні немає спеціального законодавства щодо використання сонячних батарей. Більш того, виробники новітніх екопристроїв самі дали відповідь на поставлене запитання - свої вироби вони пропонують прирівнювати до звичайних побутових електроприладів, що автоматично відкидає необхідність отримання будь-яких дозволів.

Перед початком роботи персоналу слід ознайомитись з наступними нормативними документами:

- «Правил улаштування електроустановок» (далі ПУЕ)
- «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕЕ)
- НПАОП 40.1-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок.

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 замінювати (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 відповідальній особи – 1 раз на 3 роки з питань техніки експлуатації електроустановок.

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

- розміщувати неізовані 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 пробі 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 ізованими 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 ізолюваним проводом). Можливість та необхідність встановлення та приєднання на цих розподільчих пристроях, щитках, збірках і підключеного до них обладнання визначає спеціальний працівник, який видає розпорядження.

Відповідно до статті 11 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» експлуатація альтернативних джерел енергії на об'єктах альтернативної енергетики провадиться за умов:

- безпечного проведення робіт, здійснення державного нагляду за режимами споживання енергії;
- енергетичної безпеки, що гарантує технічне та економічне задоволення періодичних, поточних і перспективних потреб споживачів енергії;
- виконання технологічних вимог щодо виробництва, акумулювання, передачі, постачання та споживання енергії;
- додержання єдиних державних норм, правил і стандартів усіма суб'єктами відносин;

– дотримання правил експлуатації об'єктів альтернативної енергетики, що регламентуються нормативно-правовими актами, обов'язковими для виконання всіма суб'єктами підприємницької діяльності.

Відповідно до статті 12 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» протиаварійний захист та забезпечення екологічної безпеки при використанні альтернативних джерел енергії здійснюються шляхом:

– запобігання аварійним ситуаціям і ліквідації їх наслідків на об'єктах альтернативної енергетики за рахунок дотримання вимог та правил, встановлених відповідно до державних стандартів;

– створення умов для розвитку, підвищення технічного рівня, безпечної експлуатації та охорони об'єктів альтернативної енергетики згідно із законодавством;

– підтримки необхідного балансу потужності та якості енергії, виробленої з альтернативних джерел, для забезпечення надійного і безаварійного функціонування з об'єднаною енергетичною системою України;

– здійснення нагляду за впровадженням нових систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики, а також засобів зв'язку і диспетчерського (оперативно-технологічного) управління з енергетичними мережами України;

– здійснення нагляду за експлуатацією систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики від несанкціонованого втручання.

Державний нагляд у сфері альтернативних джерел енергії здійснює спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади у відповідній сфері та інші органи у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України [1].

Щодо вітрогенераторних установок. Шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що виникають при будівництві, експлуатації та виведенні з експлуатації наземних та морських вітроенергетичних установок, загалом, подібні до тих, що виникають на інших великих промислових та інфраструктурних об'єктах. До них можуть відноситися фізичні небезпечні фактори, такі як висотні роботи, робота в замкнутому просторі, експлуатація обладнання з елементами, що

обертаються та падіння предметів. Питання попередження та усунення цих та інших фізичних, хімічних, біологічних та радіологічних небезпечних факторів розглядаються у Загальному посібнику з ОСЗТ.

числу шкідливих та небезпечних виробничих факторів, характерних для об'єктів та робіт в області вітроенергетики, перш за все, відносять:

- Висотні роботи
- Роботи над водою

Висотні роботи. Необхідність у висотних роботах може виникати при будівництві, у тому числі при монтажі компонентів веж вітрогенераторів, а також при проведенні технічного обслуговування під час експлуатації. В цілях запобігання та нейтралізації небезпечних факторів, пов'язаних з висотними роботами, необхідні, зокрема такі заходи:

- Перевірка цілісності споруди на початок робіт;
- Реалізація програми заходів щодо захисту від падіння з висоти, що включає, серед іншого, навчання техніці підйому на висоту та прийомам запобігання від падіння; огляд, технічне обслуговування та заміну засобів захисту від падіння, а також дії з порятунку працівників, що повисли;
- Розробка критеріїв використання системи повної захисту від падіння (зазвичай під час роботи на висоті понад 2 м над робочою поверхнею; іноді, в залежно від виду робіт, це значення може збільшуватись до 7 м). Система захисту від падіння повинна відповідати конструкції опори та характеру необхідних переміщень, включаючи підйом, спуск та позиційне переміщення;
- Встановлення на елементах веж кріплень, що полегшують використання систем захисту від падіння;
- Забезпечення працівників належними індивідуальними страховими системами для висотних робіт. Сполучні елементи на страхових системах повинні бути сумісні з елементами веж, яких вони приєднуються;
- Забезпечення відповідності підйомно-транспортного та вантажопідйомного обладнання необхідним параметрів та його технічне

обслуговування, а також належне навчання машиністів управлінню таким обладнанням;

- Запобіжні пояси мають бути виготовлені з нейлонових мотузок подвійної звивки діаметром не менше 16 мм (5/8 дюйма) або матеріалу рівноцінного міцності. Мотузкові запобіжні пояси необхідно замінювати до появи ознак старіння або помітного зношування волокон;

- Під час роботи на висоті з механічним інструментом працівники повинні використовувати другий (страхувальний) запобіжний пояс;

- До початку робіт з опор чи споруд слід видалити вивіски та інші перешкоди;

- Для підйому та спуску інструментів або матеріалів для працівників, які ведуть висотні роботи на спорудах, слід використовувати сумку для інструментів встановленого зразка;

- Уникати проведення робіт з монтажу або технічного обслуговування веж у несприятливих погодних умовах, особливо якщо існує ризик ударів блискавки.

Роботи над водою. Крім базових принципів, описаних вище в розділі, присвяченому висотним роботам, контрольно-профілактичні заходи, пов'язані із забезпеченням безпеки робіт над відкритою водою, включають наступне:

- До початку робіт має бути введений у дію план оцінки ризику та управління ним у частині стану моря, вітрового режиму та погодних умов;

- Під час виконання робіт над водою або поблизу води, пов'язаних із ризиком утоплення, працівникам слід використовувати рятувальні засоби встановленого зразка (наприклад, рятувальні пояси, надувні жилети, поплавкові рятувальні троси, рятувальні кола);

- Належить провести інструктаж працівників про необхідності уникати водяних бризок і контакту з хвилями;

- Підготувати відповідні плавзасоби та кваліфікований персонал, навчений управлінню плавзасобами та ведення рятувальних робіт.

Щодо сонячних батарей, то для того щоб система з сонячних батарей працювала і подавала енергію у мережу, потрібно встановити ряд додаткових

електроприладів, зокрема: інвертор, що перетворює постійний струм у змінний; акумуляторну батарею, яка повинна накопичувати енергію; контролер заряду акумулятора.

Оскільки працездатність системи безумовно залежить від ступеня зарядженості свинцево–кислотних батарей, необхідно ознайомитись з «Інструкцією з охорони праці при експлуатації стаціонарних свинцево–кислотних акумуляторних батарей».

Так як до системи з сонячних батарей входять електроприлади (інвертор, контролер), то слід дотримуватись системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок.

Ізоляція струмовідних частин забезпечується шляхом покриття їх шаром діелектрика для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм.

Електрозахисними засобами називаються вироби, що переносяться та перевозяться і слугують для захисту людей, які працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

Розрізняють основні й додаткові ізолювальні електрозахисні засоби. До основних належать такі електрозахисні засоби, ізоляція яких протягом тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки до 1000 В - діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, інструменти з ізольованими ручками, електровимірювальні кліщі, ізолювальні кліщі, показчики напруги; а при роботі в електроустановках напругою понад 1000 В – ізолювальні штанги, струмовимірювальні та ізолювальні кліщі, показчики напруги для фазування.

Додаткові ізолювальні захисні засоби мають недостатні ізолювальні властивості, тому призначені лише для підсилення захисної дії основних засобів, разом з якими вони і застосовуються. До них належать: при роботах в електроустановках з напругою до 1000 В – діелектричні калоші, килимки, ізолювальні підставки; при роботах в електроустановках з напругою понад 1000 В - діелектричні рукавички, боти, килимки, ізолювальні підставки.

Огороджувальні електрозахисні засоби (щити, ширми, екрани, плакати електробезпеки) призначені для захисту працівників, котрі проводять роботи в електроустановках, від випадкового доторкання чи наближення на небезпечну відстань до струмовідних частин, що знаходяться під напругою.

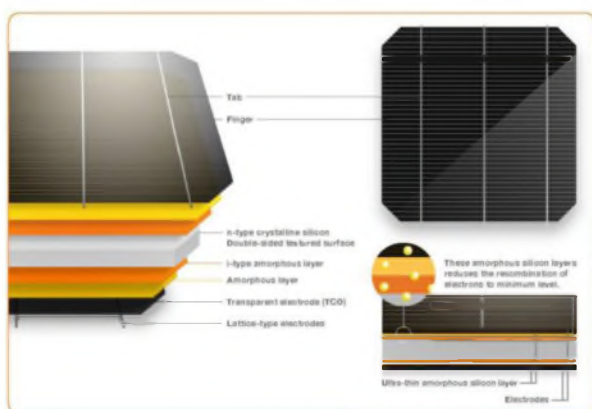
Отже, за правила охорони праці при використанні сонячних батарей можемо використати такі нормативно-правові документи: Закон України «Про використання альтернативних джерел енергії», «Інструкція з охорони праці при експлуатації стаціонарних свинцево–кислотних акумуляторних батарей» та основи охорони праці при експлуатації електроустановок.

ДОДАТОК Б.

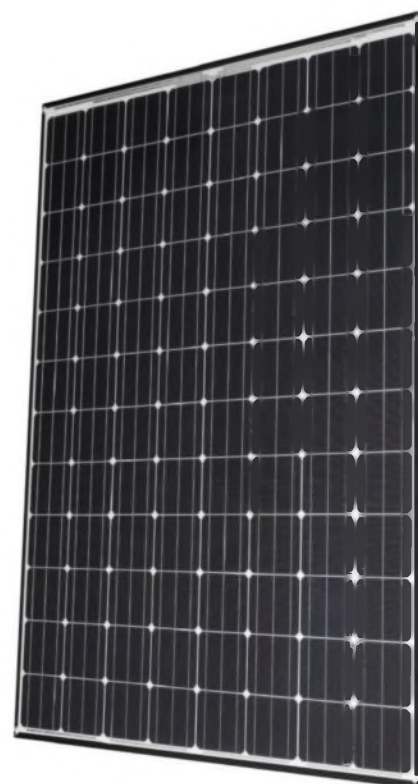
HIT.
 Photovoltaic Module

Panasonic
N330/N325

Panasonic's unique heterojunction technology uses ultra-thin amorphous silicon layers. These thin dual layers reduce losses, resulting in higher energy output than conventional panels.



Advanced bifacial cell designed for increased energy output. The cell utilizes sunlight reflected back from the rear side material which captures more light and converted into energy.


Our competitive advantages

High Efficiency at High Temperatures

As temperature increases, HIT® continues to perform at high levels due to the industry leading temperature coefficient of $-0.258\% / ^\circ\text{C}$. No other module even comes close to our temperature characteristics. That means more energy throughout the day.


25 Year Product and Performance Warranty**

Industry leading 25 year product workmanship and performance warranty is backed by a century old company- Panasonic. Power output is guaranteed to 90.76% after 25 years, far greater than other companies.


Quality and Reliability

Panasonic's vertical integration, 20 years of experience manufacturing HIT® and 20 internal tests beyond those mandated by current standards provides extreme quality assurance.


Higher Efficiency 19.7%

Enables higher power output and greater energy yields. HIT® provides maximum production for your limited roof space.


Low Degradation

HIT "N-type" cells result in extremely Low Light Induced Degradation (LID) and zero Potential Induced Degradation (PID) which supports reliability and longevity. This technology reduces annual degradation to 0.26% compare to 0.70% in conventional panels, guaranteeing more power for the long haul.


Unique water drainage

The water drainage system give rain, water and snow melt a place to go, reducing water stains and soiling on the panel. Less dirt on the panel means more sunlight getting through to generate power.

N330/N325
ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Model	VBHN330SA16	VBHN325SA16
Rated Power (P _{max}) ¹	330W	325W
Maximum Power Voltage (V _{mp})	58.0V	57.6V
Maximum Power Current (I _{mp})	5.70A	5.65A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	69.7V	69.6V
Short Circuit Current (I _{sc})	6.07A	6.03A
Temperature Coefficient (P _{max})	-0.258%/°C	-0.258%/°C
Temperature Coefficient (V _{oc})	-0.16V/°C	-0.16V/°C
Temperature Coefficient (I _{sc})	3.34mA/°C	3.32mA/°C
NOCT	44.0°C	44.0°C
CEC PTC Rating	311.3W	306.5W
Cell Efficiency	22.09%	21.76%
Module Efficiency	19.7%	19.4%
Watts per Ft. ²	18.3W	18.0W
Maximum System Voltage	600V	600V
Series Fuse Rating	15A	15A
Warranted Tolerance [-/+]	+10%/-0%*	+10%/-0%*

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Model	VBHN330SA16, VBHN325SA16
Internal Bypass Diodes	4 Bypass Diodes
Module Area	18.02 Ft. ² (1.67m ²)
Weight	40.81 Lbs (18.5kg)
Dimensions LxWxH	62.6x41.5x1.4 in. (1590x1053x35 mm)
Cable Length - Male / Female	40.2/40.2 in. (1020/1020 mm)
Cable Size / Type	No. 12 AWG / PV Cable
Connector Type ²	Multi-Contact® Type IV (MC4™)
Static Wind / Snow Load	50 PSF (2400 Pa)
Pallet Dimensions LxWxH	63.7x42.2x65.4 in.
Quantity per Pallet / Pallet Weight	40 pcs. / 1719 Lbs (780 kg)
Quantity per 40' Container	560 pcs.
Quantity per 20' Container	240 pcs.

OPERATING CONDITIONS & SAFETY RATINGS

Model	VBHN330SA16, VBHN325SA16
Operating Temperature	-40°F to 185°F (-40°C to 85°C)
Hail Safety Impact Velocity	1" hailstone (25mm) at 52 mph (23m/s)
Safety & Rating Certifications	UL 1703, cUL, CEC
UL 1703 Fire Classification	Type 2
Limited Warranty	25** Yrs Workmanship and Power Output (Linear)***

NOTE: Standard Test Conditions: Air mass 1.5; irradiance = 1000W/m²; cell temp. 25°C

* Maximum power at delivery. For guarantee conditions, please check our guarantee document.

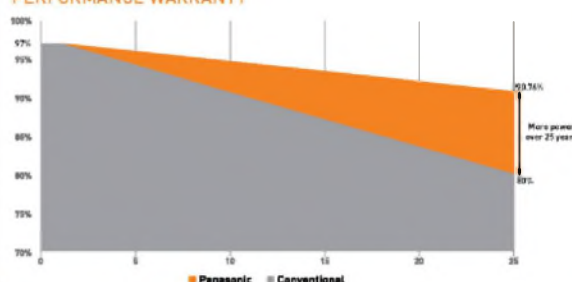
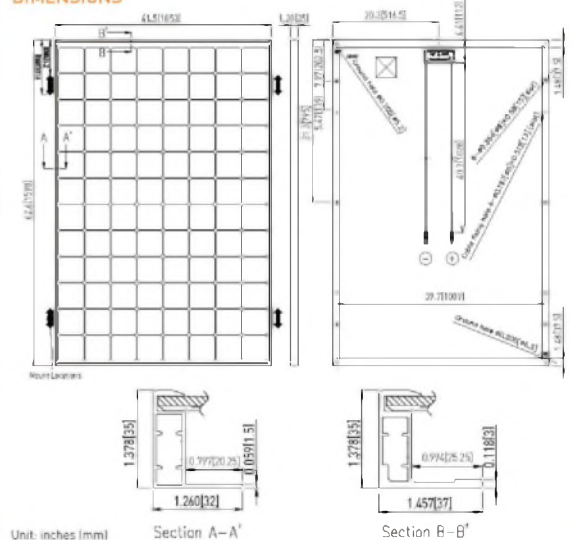
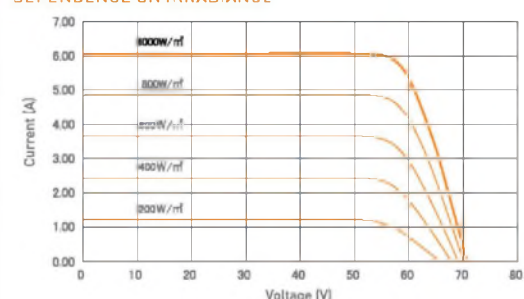
** Installation need to be registered through our website www.panasonic-usa-hit-warranty.com within 60 days in order to receive twenty-five (25) year Product workmanship. Otherwise, Product Workmanship will be only fifteen (15) years.

*** 1st year: 97%, after 2nd year 0.26% annual degradation to year 25.

¹ STC: Cell temp. 25°C, AM1.5, 1000W/m²

² Safety locking clip (PV-SSH4) is not supplied with the module.

NOTE: Specifications and information above may change without notice.

PERFORMANCE WARRANTY

DIMENSIONS

DEPENDENCE ON IRRADIANCE


Reference data for model: VBHN330SA16
(Cell temperature: 25°C)

⚠ CAUTION! Please read the installation manual carefully before using the products.

Used electrical and electronic products must not be mixed with general household waste. For proper treatment, recovery and recycling of old products, please take them to applicable collection points in accordance with your national legislation.

ДОДАТОК В.
ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРАЛЕРА
до дипломної роботи студента групи ЕЛКм-20
Ємельянова Єгора Максимовича

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____