

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

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О. КОЛЛАРОВ (ініціали, прізвище)	«__» _____ 2024 р.
--	--

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА

на тему Розробка гібридної електростанції на базі відновлюваних джерел енергії

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛК-20
(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності підготовки)

Андрій СЕМЕНІХІН (ім'я та прізвище)	 (підпис)
--	--

Керівник <u>ст. викл. каф. ЕлІн, П. В. Белицький</u> (посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)	 (підпис)
--	--

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

Нормоконтроль:

Е. НЕМЦЕВ (підпис)	Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань. Студент (підпис)
---	--

 (дата)	 (дата)
--	--

ЛУЦЬК – 2024

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

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Андрію СЕМЕНІХІНУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Розробка гібридної електростанції на базі відновлюваних
джерел енергії

керівник роботи Павло БЕЛИЦЬКИЙ

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 03 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Навантаження цеха: вентилятори – $P_n = 180$ кВт,
50 кВт, газодувки 320 кВт, насоси 80 кВт, конвеєри 80 кВт, металообробні
станки 30 кВт, станки-автомати 40 кВт, крани мостові 250 кВт, тельфери 20
кВт, трансформатори дугової зварки 50 кВА, апарат стикової зварки 20 кВА,
освітлення 20 кВт

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

1. Вивчення конфігурацій фотоелектричних систем

2. Розрахунок навантажень металообробного цеху

3. Розрахунок гібридної сонячної електростанції

4. Дослідження фотоелектричної та вітрової станції

5. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень, якщо передбачається)
Вісім слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1–4	П. В. Белицький, ст. викл.		
Розділ 5	О. Ю. Колларов, зав. каф.		
Нормоконтроль	Е. М. Немцев, ст. викл. каф.		

7. Дата видачі завдання 29 квітня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	29.04–06.05.24	
2.	Розділ 2	07.05–12.05.24	
3.	Розділ 3	13.05–20.05.24	
4.	Розділ 4	21.05–29.05.24	
5.	Розділ 5	30.05–06.06.24	
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Андрій СЕМЕНІХІН _____
(ім’я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Павло БЕЛИЦЬКИЙ _____
(ім’я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Андрій СЕМЕНІХІН. Розробка гібридної електростанції на базі відновлюваних джерел енергії / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2024.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає чотири розділи, висновків, переліку джерел посилання та двох додатків.

У першому розділі були вивчені конфігурації фотоелектричних станцій, виокремлені гібридні сонячні системи децентралізовані та промислові.

У другому розділі розраховане навантаження металообробного цеху методом коефіцієнту використання, визначений коефіцієнт потужності, обрані компенсаційні установки для зменшення реактивної складової потужності.

У третьому розділі проведений розрахунок гібридної фотоелектричної станції за показниками сонячної радіації та вимогами, щодо потужності, за вітровими даними місцевості знайдене оптимальне рішення для облаштування вітрогенераторної частини гібридної станції.

У четвертому розділі представлені результати дослідження фотоелектричної та вітрогенераторної складової гібридної станції в програмному пакеті Matlab.

Ключові слова: фотоелектрична панель, вітряк, відновлювані джерела енергії, акумулятор, сонячна радіація, щогла, повітряний потік, номінальна потужність, частота обертання, Simulink, Matlab

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1 ВИВЧЕННЯ КОНФІГУРАЦІЙ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	7
1.1 Автономні фотоелектричні системи	7
1.1.1 Застосування в споживчих розробках	9
1.1.2 Домашні фотоелектричні станції	10
1.1.3 Потужні будинкові фотоелектричні станції	13
1.1.4 Комбіновані системи	14
1.2 Гібридні фотоелектричні системи, підключені до мережі	16
1.2.1 Децентралізовані фотоелектричні системи, підключені до мережі	16
1.2.2 Промислові фотоелектричні системи, підключені до мережі	18
1.2.3 Інвертор	18
2 РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ МЕТАЛООБРОБНОГО ЦЕХУ	22
3 РОЗРАХУНОК ГІБРИДНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	30
3.1 Фотоелектрична частина	30
3.1.1 Розрахунок виробленої електроенергії станцією	34
3.2 Вітроенергетична частина	36
3.2.1 Визначення швидкості вітроустановки	36
3.2.2 Вибір вітряка та перетворюючого обладнання	37
3.3 Вибір акумуляторів енергії	42
4 МОДЕЛЮВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ І ВІТРОВОЇ ЧАСТИНИ УСТАНОВКИ	45
4.1 Моделювання фотоелектричних панелей	45
4.2 Моделювання вітрогенератора	47
ВИСНОВКИ	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	51
ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ	52
ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА	55

ВСТУП

Відновлювані джерела енергії відіграють вирішальну роль у сучасному світі, забезпечуючи стійкий розвиток та зменшуючи залежність від викопних палив. Використання таких джерел, як сонячна та вітрова енергія, сприяє зменшенню викидів парникових газів, що є ключовим аспектом у боротьбі зі зміною клімату. Крім екологічних переваг, відновлювані джерела енергії також мають економічні та соціальні вигоди. Вони стимулюють розвиток нових технологій та створюють робочі місця, що сприяє економічному зростанню. Енергетична незалежність, яку забезпечують відновлювані джерела, підвищує енергетичну безпеку країн, знижуючи їх залежність від імпорту енергоносіїв.

Однією з найперспективніших технологій є гібридні фотоелектричні станції, які поєднують сонячні панелі та вітрогенератори. Такий підхід дозволяє максимально ефективно використовувати природні ресурси, оскільки він забезпечує стабільніше виробництво енергії за різних погодних умов. Вдень, коли сонячне випромінювання максимальне, працюють сонячні панелі, тоді як вночі та в вітряні дні основне навантаження беруть на себе вітрогенератори. Це забезпечує більш рівномірне та надійне енергопостачання. Гібридні системи також сприяють зменшенню вартості електроенергії та підвищенню ефективності використання енергетичних ресурсів, що робить їх важливим компонентом у досягненні стійкої енергетики майбутнього.

Поряд з традиційними в якості резервних джерел генерації електроенергії можуть також використовуватись генератори на викопних видах палив, як то: дизель-генератори. Такі системи досить добре себе показують, коли виробленої енергії вкрай не вистачає, при цьому здорожчання електроенергії в такій конфігурації не помітне.

1 ВИВЧЕННЯ КОНФІГУРАЦІЙ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Фотоелектричні системи можна розділити на:

- автономні фотоелектричні системи;
- підключені до мережі фотоелектричні системи.

На рисунку 1.1 показано річний відсоток підключених до мережі фотоелектричних систем та автономних фотоелектричних систем на світовому ринку фотоелектричних систем з 1990 по 2002 рік. Чітко видно, що відсоток підключених до мережі значно зріс за цей час [1].

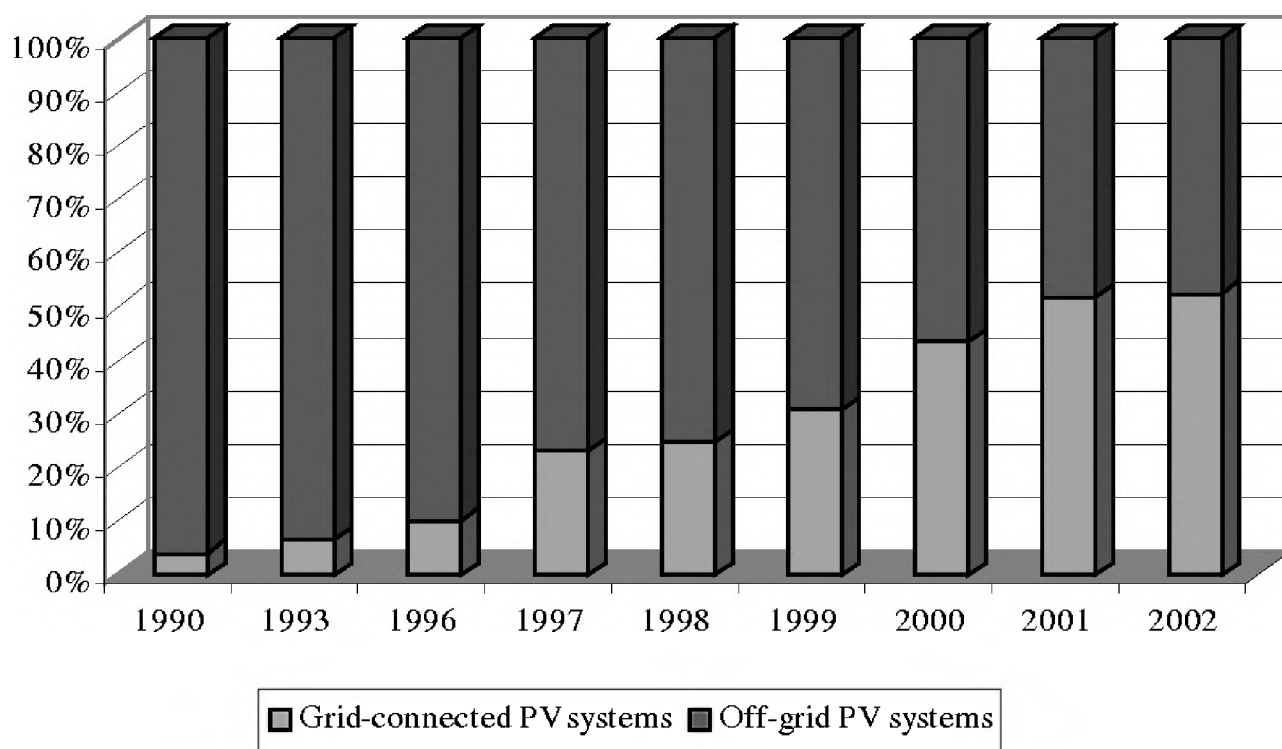


Рисунок 1.1 – Відсоток підключених до мережі та автономних фотоелектричних систем на світовому фотоелектричному ринку

1.1 Автономні фотоелектричні системи

Автономні фотоелектричні системи можуть мати від міліват до кількох кіловат потужностей. Вони не мають підключення до електромережі. Для забезпечення живлення автономної системи електроенергією також у періоди без

випромінювання (наприклад, вночі) або з дуже низьким випромінюванням (наприклад, у періоди з сильною хмарністю), автономні системи зазвичай мають інтегровану систему зберігання. Якщо системи використовуються лише в ті періоди, коли випромінювання достатньо для безпосереднього живлення системи електроенергією, система зберігання не потрібна.

На даний час існує дуже велика різноманітність автономних систем. Приклади варіюються від сонячних калькуляторів і годинників до систем для регулювання дорожнього руху до систем, що можуть забезпечити електроенергією одну або кілька будівель у віддалених районах. Вони можуть бути системами постійного струму з або без акумуляторної батареї, або системами змінного струму з інвертором.

Автономні системи можуть бути реалізовані з фотоелектричними комірками як єдиним джерелом живлення або з додатковими джерелами живлення, так званими комбінованими системами, де додаткові генератори, що використовують викопне паливо (наприклад, дизельне паливо або газ) або відновлювану енергію (наприклад, вітрову, гідроенергію або біомасу), доповнюють виробництво енергії фотоелектричними системами. Вибір ємності зберігання та відносної потужності фотоелектричного генератора і додаткового джерела живлення залежить від умов випромінювання, необхідної надійності живлення та, нарешті, економічних факторів. Сьогодні проектувальники систем можуть використовувати програми для розрахунку, що полегшує пошук оптимального варіанту.

На рисунку 1.2 наведено огляд частки застосування на світовому ринку автономних фотоелектричних систем. Більше третини всіх автономних фотоелектричних систем використовуються для сільських і житлових автономних систем.

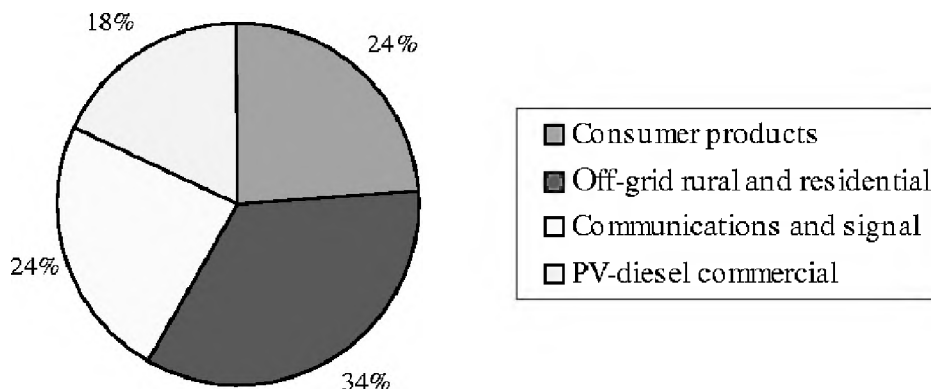


Рисунок 1.2 – Відсоток за сферою застосування на світовому ринку автономних фотоелектричних станцій у 2002 році

1.1.1 Застосування в споживчих розробках

Сонячні калькулятори були одними з перших споживчих застосувань. Це ідеальне застосування, оскільки не потребує зберігання енергії. Сонячний калькулятор працює щоразу, коли є достатньо світла для зчитування дисплея. Сьогодні доступні сонячні годинники, зарядні пристрої для акумуляторів та різні інші продукти, що використовують сонячну енергію. Усі продукти оснащені невеликими інтегрованими фотоелектричними модулями, перетворювачем напруги DC/DC та, у більшості випадків, енергетичною системою зберігання та контролером заряджання (рис. 1.3).

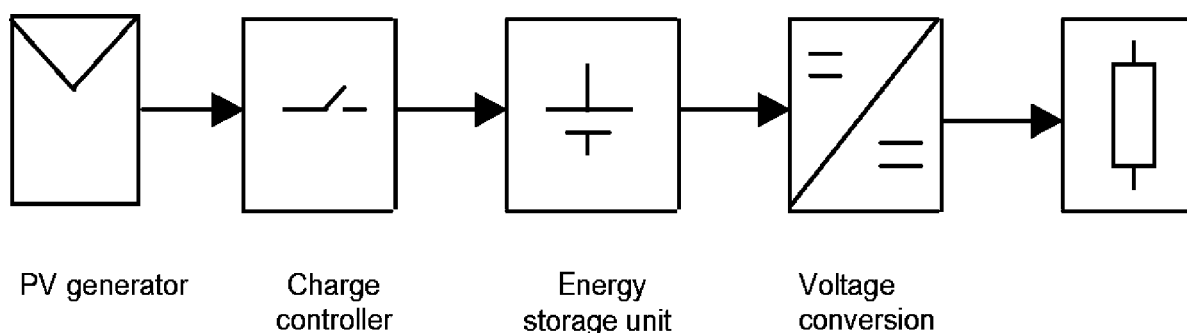


Рисунок 1.3 – Структурна схема фотоелектричного джерела живлення малого споживчого продукту

На рисунку 1.4 представлені деякі приклади фотоелектричних пристроїв. Зліва направо: фотоелектрична система для задоволення потреби в

електроенергії телефону на залізничній лінії та органайзер з інтегрованим невеликим фотоелектричним модулем.

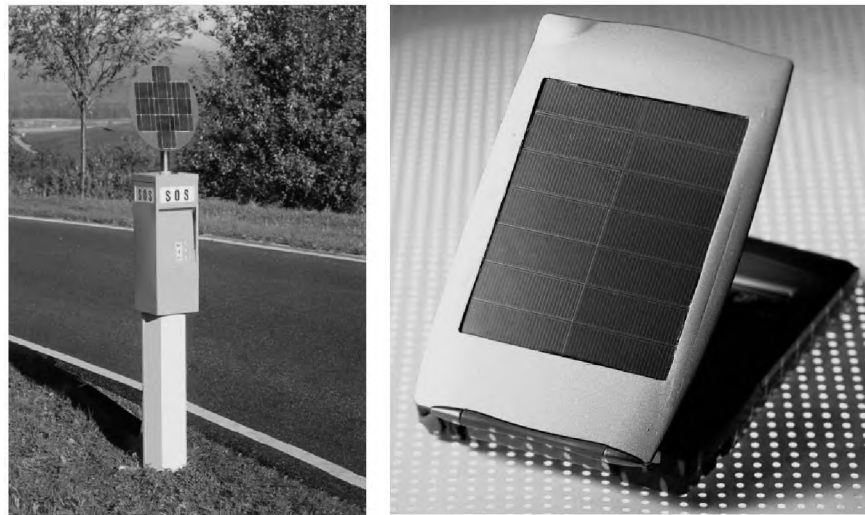


Рисунок 1.4 – Два приклади фотоелектричних приладів

1.1.2 Домашні фотоелектричні станції

Згідно з оцінками Європейського Союзу, близько двох мільярдів людей у всьому світі не мають підключення до загальної електромережі. Приблизно половина з них живе в регіонах без доступу до електроенергії. Високі інвестиційні витрати в поєднанні з низьким споживанням електроенергії (менше 1 кВт·год на день) перешкоджають розширенню електромережі в ці віддалені, малонаселені регіони в найближчому майбутньому.

Для цих регіонів постачання електроенергії може бути здійснене лише за допомогою децентралізованих, малих електростанцій. Найчастіше використовувалися дизельні генератори. Але їхня експлуатація пов'язана з негативними екологічними впливами, такими як шум і шкідливі гази. Крім того, інфраструктура для постачання дизельних генераторів паливом та їх обслуговування повинна існувати у віддалених місцях. Однак у віддалених і малонаселених регіонах Африки, Азії та Латинської Америки рідко є всепогодні дороги або залізничні сполучення. Тому не дивно, що лише дуже небагато домогосподарств можуть дозволити собі такі генератори. Фотоелектричні

системи у вигляді так званих систем для домогосподарств вважаються найкращим кандидатом для вирішення проблем енергопостачання в цих територіях.

Проста мала домашня фотоелектрична система (МДФЕС) складається з сонячного генератора (фотоелектричного модуля), свинцевого акумулятора та контролера заряджання, а також безпосередньо підключених пристроїв постійного струму (див. рис. 1.5). Крім того, потрібні опорна конструкція для модуля, кабелі та розетки для приладів.

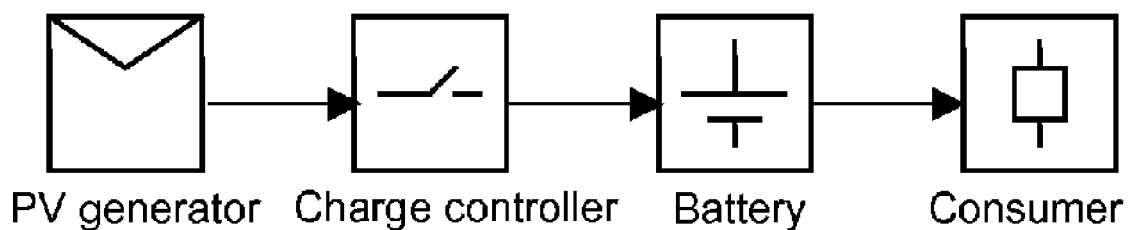


Рисунок 1.5 – Принципова схема простої сонячної системи будинку

Така система здатна забезпечити електроенергію, необхідну для освітлення, телевізора, радіо або невеликого холодильника.

У простій домашній сонячній електростанції використовуються в основному електроприлади з живленням від постійного струму. Оскільки прийнятність фотоелектричної системи залежить від бездоганної роботи всіх компонентів системи, для цих приладів вимагається висока якість. Зокрема, потрібні такі характеристики:

- тривалий термін служби;
- висока ефективність;
- висока надійність; навіть при неправильній експлуатації;
- коректна робота навіть при екстремальних температурах;
- бездоганна робота при всіх можливих вхідних напругах, які забезпечує робота від акумулятора;
- низькі вимоги до обслуговування та сервісу.

На цей час кілька сотень тисяч домашніх систем працюють в Африці, Азії та Латинській Америці.

За оцінками, щорічно продається близько 200 000 подібних систем. Очікується постійне зростання протягом наступних років.

Порівняно з традиційними джерелами енергії, що використовуються для освітлення, такими як відкрите вогнище, свічки та газові лампи, переваги сонячних систем численні:

- покращена якість освітлення дає можливість продовжити робочий день і займатися читанням та відпочинком;
- відсутність ризику для здоров'я, пов'язаного з димом і запахом;
- мінімальний ризик пожежної небезпеки.

Це покращення умов життя може призвести до зниження відтоку населення з сільської місцевості.

Крім того, враховуючи довгий термін служби домашніх сонячних систем – панель служить більше двадцяти років, щомісячні витрати на традиційні джерела енергії часто перевищують щомісячні витрати на фотоелектричну систему. І все ж, незважаючи на численні переваги та дуже високий технологічний стандарт, існують проблеми, з якими доводиться стикатися для широкого розповсюдження домашніх фотоелектричних систем.

Однією з головних перешкод для розвитку ринку сільської електрифікації за допомогою фотоелектрики є фінансування високих початкових інвестицій в МДФЕС, що є критичним моментом для більшості сільських домогосподарств, а також для багатьох посередників у сфері фотоелектрики. Залежно від розміру місцевого ринку, податків, частки місцевих компонентів та урядової політики щодо сонячних технологій і сільської електрифікації, вартість МДФЕС коливається від 500 до 1500 доларів США. Навіть за наявності субсидій на встановлення МДФЕС такі інвестиційні витрати є занадто високими порівняно із середнім доходом цільових домогосподарств. З цієї причини необхідно пропонувати фінансові схеми, що дозволяють здійснювати оплату в розстрочку – вони потрібні як у національних програмах електрифікації, так і на комерційних ринках.

У цьому зв'язку мікрофінансові установи (МФУ) можуть відіграти важливу роль у розповсюдженні МДФЕС. Це не тільки є вирішенням існуючих перешкод

щодо електрифікації віддалених сільських домогосподарств, але й пропонує нові ринкові можливості для МФУ, наприклад, у формі кредитів на сільську електрифікацію, які додатково пропонують зручність надання гарантій на обладнання, особливо на сонячну панель.

1.1.3 Потужні будинкові фотоелектричні станції

Ще одним застосуванням автономних фотоелектричних систем є забезпечення окремих будівель електроенергією. Коли будинки не мають підключення до громадської мережі, фотоелектрика є дуже привабливою економічною альтернативою дизельному двигуну.

Навіть у Центральній Європі, де існує розгалужена загальна електромережа, є кілька сотень будівель, які не підключені до цієї мережі. Більшість з них розташовані у віддалених районах, таких як альпійські будинки для альпіністів та інші будівлі в європейських горах (наприклад, в Альпах і Шварцвальді). Наразі в німецькій частині Альп більше тридцяти будинків для альпіністів або готелів для туристів забезпечуються електроенергією за допомогою автономних фотоелектричних систем різної потужності (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Фотоелектрична система забезпечує енергією гірський будиночок у німецьких Альпах[2]

Зазвичай внутрішня мережа будинку працює на змінному струмі. Тому фотоелектрична система включає один або два інвертори. Оскільки інтенсивність радіації змінюється залежно від часу доби, сезону та погодних умов, автономна фотоелектрична система, що використовується для забезпечення будівлі електричною енергією, повинна також мати акумулятор та контролер заряду. Принципова схема автономної фотоелектричної системи, що забезпечує будівлю, наведена на рис. 1.7.

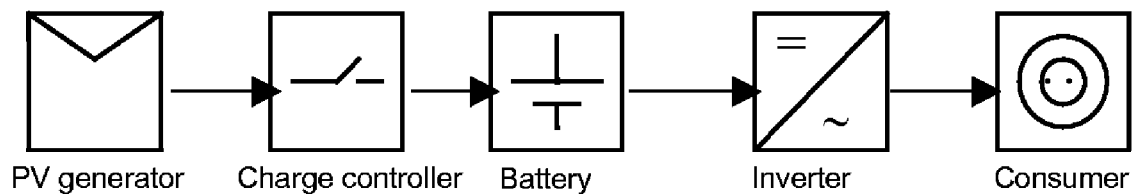


Рисунок 1.7 – Схематичний принцип автономної фотоелектричної системи, що живить будівлю

Акумулятори. У більшості випадків для цього використовуються свинцево-кислотні акумулятори. Нещодавно деякі фірми почали пропонувати так звані сонячні акумулятори, спеціально розроблені для автономних фотоелектричних систем. Варто зазначити, що акумулятори в фотоелектричній системі працюють у дуже складних умовах, зокрема, протягом сезонних періодів з дуже низьким зарядом. Ця ситуація полегшується в комбінованих системах, у яких додатковий генератор може заряджати акумулятор під час таких періодів.

Контролер заряду. Контролер заряду акумулятора у фотоелектричній системі загалом захищає акумулятор від перезаряду та глибокого розряду. Це абсолютно необхідно для ефективних умов експлуатації акумулятора та всієї фотоелектричної системи.[4]

1.1.4 Комбіновані системи

Через річні коливання сонячної радіації в більшості частин світу виключно фотоелектрична система живлення потребувала б великого сонячного генератора та/або великого акумулятора. Така фотоелектрична система є дуже

дорогою. Це також стосується фотоелектричних систем, для яких важлива надійність постачання. Тому зазвичай різні типи електрогенераторів поєднуються у так звану комбіновану систему. Поєднання фотоелектричних і генераторів на традиційному паливі гарантує ту ж надійність постачання, що й загальна електромережа.

За сприятливих погодних умов загальний попит на енергію задовольняється сонячним генератором. Надлишкова енергія зберігається в акумуляторах. Вночі або за несприятливих погодних умов попит на енергію спочатку задовольняється за рахунок акумуляторів. Якщо існує небезпека глибокого розряду, електроенергію забезпечує дизельний або газовий генератор, одночасно заряджаючи акумулятор.

На вітряних ділянках система може включати вітроенергетичну установку. Оскільки фотоелектричний генератор та вітроенергетична установка значною мірою доповнюють один одного при правильному підборі, час роботи дизельного генератора, а отже, споживання палива, зменшується (рис. 1.8).

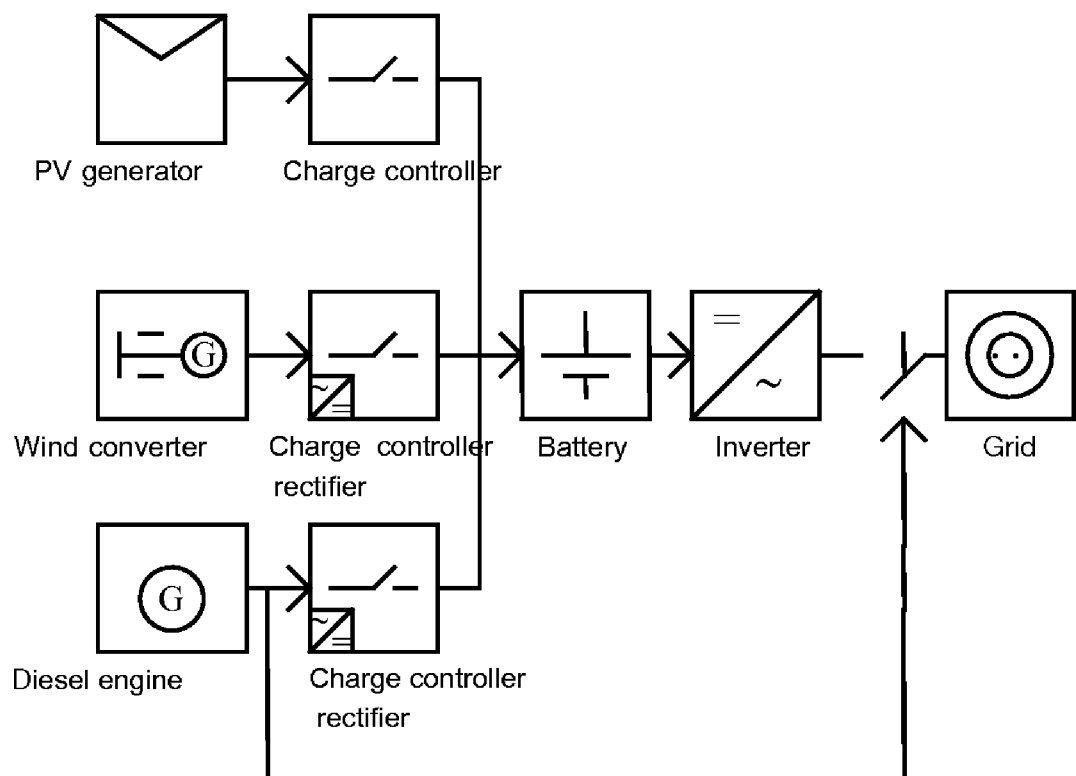


Рисунок 1.8 – Принципова схема комбінованої системи з фотоелектричними, вітровими та дизель-генераторами

Кілька років тому в Німеччині було проведено аналіз вартості виробництва електроенергії гібридними системами, що забезпечують понад тридцять будинків для альпіністів або туристів у німецьких та австрійських Альпах. Розрахунки також проводилися для умов сонячної радіації в Мексиці. Результати цього аналізу показали, що комбіновані системи є найбільш економічним рішенням для забезпечення цих будівель електроенергією не тільки в кліматичних умовах німецьких та австрійських Альп, але й у кліматичних умовах Мексики. В обох випадках сонячна частка більше 80% була неекономічною.

1.2 Гібридні фотоелектричні системи, підключені до мережі

Фотоелектричні системи, підключені до мережі, завжди мають підключення до громадської електромережі через відповідний інвертор (рис. 1.9 і 1.10), оскільки фотоелектричний модуль постачає тільки постійний струм.

Зазвичай майже відсутній вплив фотоелектричних систем на мережу, який би погіршував якість електроенергії, навантаження на лінії та трансформатори тощо. Проте, для значної частки фотоелектричних систем у низьковольтних мережах ці аспекти потрібно враховувати. З технічної точки зору не буде складно інтегрувати стільки фотоелектричних систем у низьковольтні мережі, скільки є пікового навантаження відповідного сегмента.

Фотоелектричні системи, підключені до мережі, можна розділити на два види:

- децентралізовані фотоелектричні системи, підключені до мережі;
- промислові фотоелектричні системи, підключені до мережі.

1.2.1 Децентралізовані фотоелектричні системи, підключені до мережі

Децентралізовані фотоелектричні системи, підключені до мережі, зазвичай мають невелику потужність і встановлюються на дахах будівель (похила або плоска покрівля) або інтегруються у фасади будівель.

У цьому випадку зберігання енергії не потрібне. У сонячні дні сонячний генератор постачає енергію, наприклад, для електроприладів у будинку. Надлишкова енергія постачається в громадську мережу. Вночі та в похмурі дні будинок бере енергію з мережі (рис. 1.9). Таким чином, електромережа може розглядатися як велика "система зберігання". У разі сприятливого тарифу на електроенергію з фотоелектричних систем, як це діє в деяких країнах, вигідніше постачати всю сонячну електроенергію до мережі.[5]

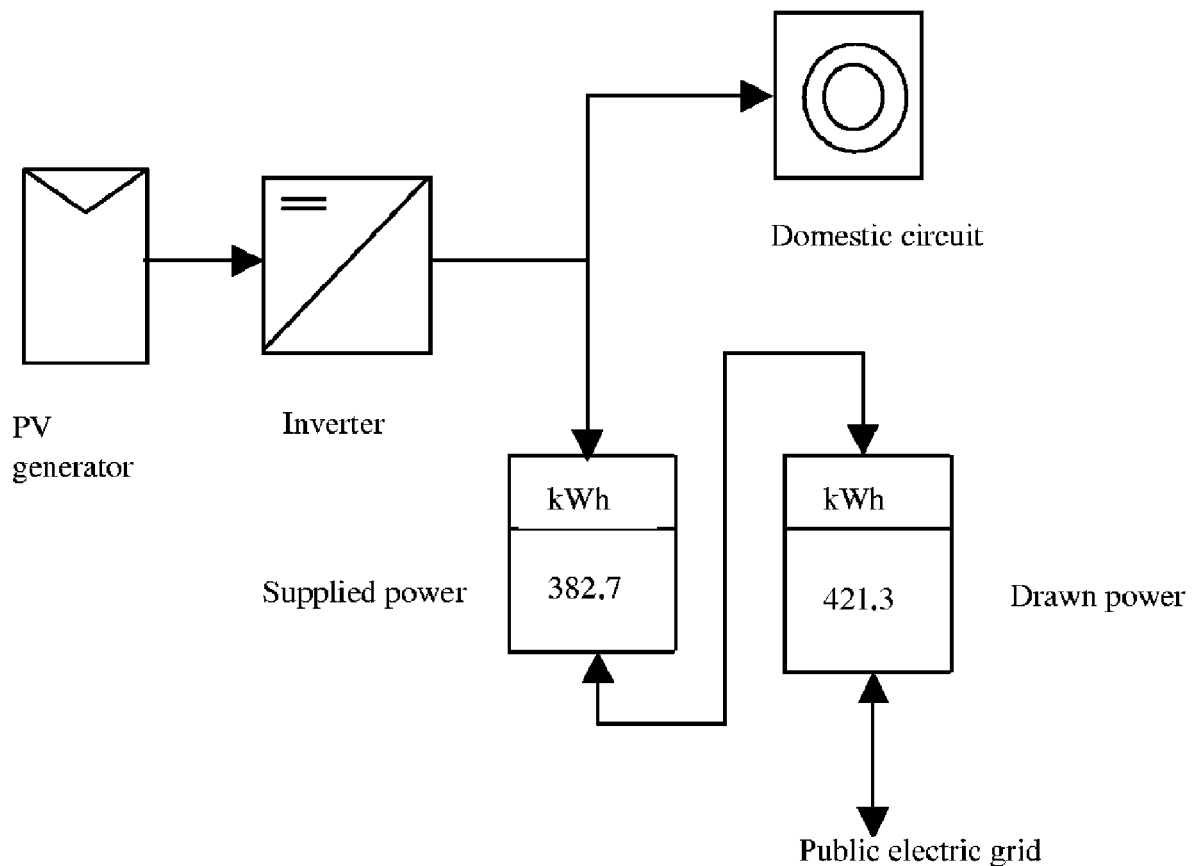


Рисунок 1.9 – Блок-схема електропостачання будинку з децентралізованою фотоелектричною системою та підключенням до мережі

Наприклад, у Німеччині близько 80% з понад 50 000 існуючих фотоелектричних систем, підключених до мережі, встановлені на дахах будівель або інтегровані у фасади будівель. Перевагою встановлення фотоелектричної системи у або на будівлю є те, що не потрібна окрема площа для сонячного генератора.

1.2.2 Промислові фотоелектричні системи, підключені до мережі

Промислові фотоелектричні системи, підключені до мережі, мають встановлену потужність до діапазону МВт. За допомогою таких центральних фотоелектричних електростанцій можна безпосередньо підключатися до середньо- або високовольтної мережі (рис. 1.10). Зазвичай промислові фотоелектричні електростанції встановлюються на невикористовуваних землях, але в деяких випадках можливе встановлення на будівлях, переважно на плоских дахах великих будівель.

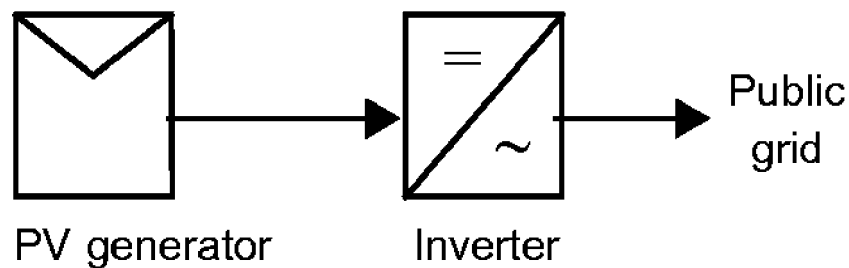


Рисунок 1.10 – Схематичний принцип фотоелектричної системи, підключеної до мережі

Як видно на рис. 1.9 і 1.10, як децентралізовані, так і промислові фотоелектричні системи, підключені до мережі, складаються з двох основних компонентів:

- фотоелектричні модулі;
- інвертор.

Повна система складається з опорної структури, кабелів та інших традиційних компонентів, які ми тут не розглядатимемо.

1.2.3 Інвертор

Інвертори використовуються для перетворення постійного струму, що генерується фотоелектричними системами або акумуляторами, у змінний струм для живлення системи або подачі в мережу. На ринку існує багато різних типів

електронних схем. Ранні фотоелектричні системи були оснащені тиристорними інверторами, які комутувалися мережею. Через низьку якість напруги та струму – такі інвертори мали великі гармоніки – їх було замінено на ринку інверторами з повністю комутованими IGBT або MOSFET напівпровідниковими перемикачами. Тільки для дуже великих фотоелектричних інверторів потужністю в діапазоні 100 кВт все ще використовуються тиристорні інвертори. Перші повністю комутовані інвертори використовували синусоїдальну модуляцію вихідного струму на первинній стороні та трансформатор на 50 Гц для адаптації рівня напруги до напруги мережі. Такі інвертори все ще займають значну частку ринку. Деякі виробники сьогодні пропонують пристрої з високочастотними трансформаторами, що значно знижує вагу, але зменшує ефективність. У країнах, де заземлення фотоелектричних панелей не є обов'язковим, все більше вводяться інвертори без трансформаторів. Вони легші та ефективніші, але вимагають особливої уваги до електромагнітної сумісності (ЕМС) та виявлення витоків струму.

Серійне виробництво фотоелектричних інверторів було розпочато в дев'яностих роках. До того часу було потрібна була лише невелика кількість інверторів, переважно для автономних застосувань, наприклад, для житлових фотоелектричних систем. Оскільки не було підключення до загальної мережі, стандарт якості електроенергії в системі не був настільки важливим, як це має бути, якщо генерована електроенергія подається в мережу.

Перші фотоелектричні інвертори часто були адаптацією вже існуючих інверторів для електроприводів, але сучасні пристрої є специфічними розробками, які враховують складність і вимоги фотоелектричних додатків. Ефективність інвертора зазвичай важливіша у фотоелектричних додатках, але особливе значення вона має при частковому навантаженні, оскільки основна частка енергії виробляється при частковому навантаженні. Крім того, зі значною площею фотоелектричного генератора, підключеного до постійного струму інвертора, і громадської мережі на стороні змінного струму, потрібно дотримуватися суворіших стандартів щодо гармонік та ЕМС.

Деякі критерії проектування та функціональність фотоелектричних інверторів:

- ефективність: значно перевищує 90% вже при 5% номінального навантаження;
- вартість;
- якість напруги та струму: гармоніки та ЕМС;
- здатність до перевантаження: до 20–30% для інверторів, підключених до мережі, до 200% для короткочасного перевантаження автономних інверторів;
- точне та надійне відстеження максимальної потужності (МРР) (надійно знаходити загальну МРР в умовах часткового затінення);
- моніторинг мережі, безпека/ENS[2];
- збір даних та моніторинг.

Щоб врахувати той факт, що електроенергія з фотоелектричних систем виробляється відповідно до типової часової розподільчої кривої, в Європі використовується зважена міра ефективності для агрегування кривої ефективності інверторів, так звана «європейська ефективність». Хороші інвертори в діапазоні потужності кВт мають європейську ефективність 92–96% і до 98% для великих промислових інверторів.

Інвертори також виконують відстеження точки максимальної потужності (МРР) для оптимальної роботи фотоелектричного генератора. Для відстеження МРР використовується багато різних алгоритмів, які намагаються впоратися з трьома основними завданнями:

- точність: висока точність відстеження МРР потребує високоточних вимірювальних компонентів,
- знаходження глобальної максимальної потужності у випадку часткового затінення, коли може виникнути локальна максимальна потужність,
- досить швидка адаптація МРР до змін освітлення, наприклад, коли проходять хмари.

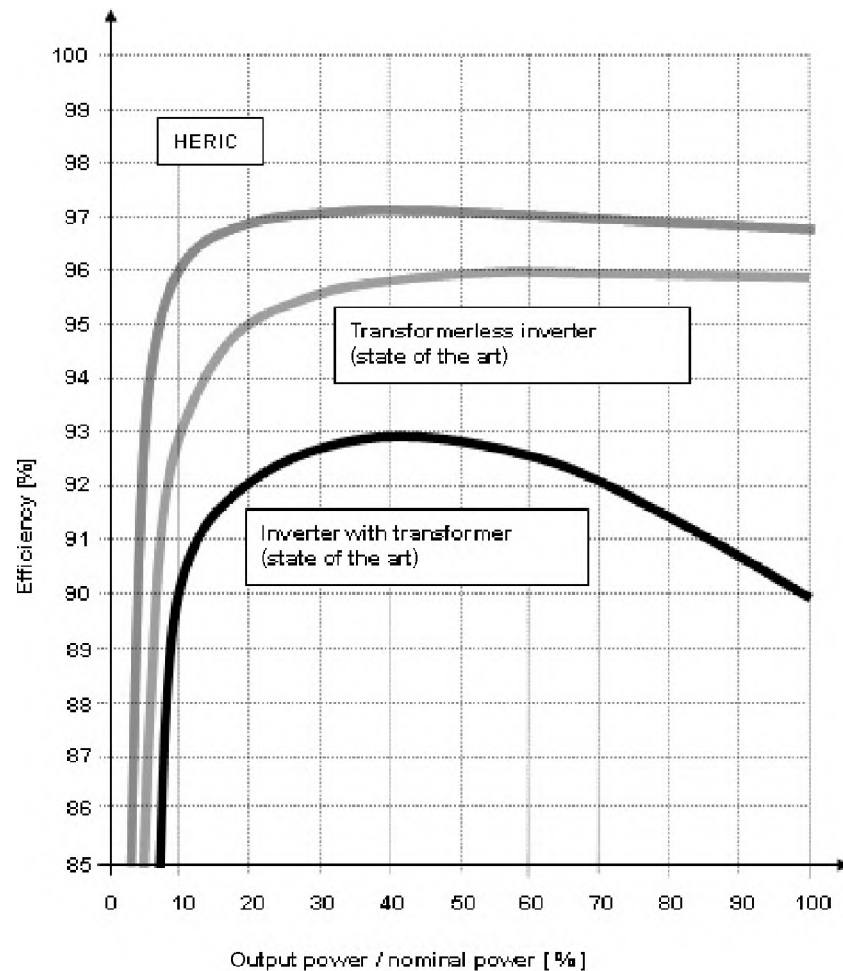


Рисунок 1.11 – Криві ефективності трьох інверторів з різними топологіями

На рисунку 1.11 показано криві ефективності трьох інверторів, які використовують різні топології інверторів. Верхня крива стосується найбільш нового інвертора, який використовує топологію HERIC. Друга – це крива ефективності інвертора без трансформатора, а третя – крива ефективності інвертора з трансформатором. Останні дві характеризують сучасний стан технологій.[3]

2 РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ МЕТАЛООБРОБНОГО ЦЕХУ

На підприємстві необхідно забезпечити безперервний цикл роботи металообробного цеху. Дана мета може бути реалізована шляхом побудови гібридної сонячної електричної станції. Сумарну потужність панелей визначимо після розрахунку навантаження споживачів цеху. Обладнання, що встановлено на виробництві налічує:

Вентилятори $P_n = 180 \text{ кВт}$, $TB = 1$, кількість 2 шт.

Вентилятори $P_n = 50 \text{ кВт}$, $TB = 1$, кількість 3 шт.

Газодувки $P_n = 320 \text{ кВт}$, $TB = 1$, кількість 1 шт.

Насоси $P_n = 80 \text{ кВт}$, $TB = 1$, кількість 2 шт.

Конвеєри $P_n = 80 \text{ кВт}$, $TB = 1$, кількість 1 шт.

Металообробні станки $P_n = 30 \text{ кВт}$, $TB = 0,7$, кількість 3 шт.

Станки-автомати $P_n = 40 \text{ кВт}$, $TB = 0,5$, кількість 4 шт.

Крани мостові $P_n = 250 \text{ кВт}$, $TB = 0,5$, кількість 1 шт.

Тельфери $P_n = 20 \text{ кВт}$, $TB = 0,5$, кількість 2 шт.

Трансформатори дугової зварки $S_{ном} = 50 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, $TB = 0,25$, кількість 2 шт.

Апарат стикової зварки $S_{ном} = 20 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, $TB = 0,25$, кількість 2 шт.

Освітлення $P_n = 20 \text{ кВт}$, кількість 4 шт.

У відповідності з режимом роботи електроприймачів розрахуємо їх номінальні активні потужності. Для цього скористаємося формулою:

$$P_{ном} = P_n \cdot \sqrt{TB_n} \quad (2.1)$$

або

$$P_{ном} = S_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{TB_n}, \quad (2.2)$$

де TB_n – тривалість вмикання споживача електричної енергії,

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності споживача з паспорту(довідника).

Вентилятор характеризується роботою на постійній основі, тому активна потужність вентилятора складе за формулою 2.1:

$$P_{ном} = 180 \cdot \sqrt{1} = 180 \text{ кВт}$$

Аналогічно для:

— газодувки

$$P_{ном.газ} = 320 \cdot \sqrt{1} = 320 \text{ кВт}$$

— насосів

$$P_{ном.нас} = 80 \cdot \sqrt{1} = 80 \text{ кВт}$$

— конвеєрів

$$P_{ном.конв} = 80 \cdot \sqrt{1} = 80 \text{ кВт}$$

Наступні споживачі мають тривалість вмикання відмінною від 100%, тому активна потужність за формулою 2.1:

— металообробних станків

$$P_{ном.м.с} = 30 \cdot \sqrt{0,7} = 25,1 \text{ кВт}$$

— станків–автоматів

$$P_{ном.с-а} = 40 \cdot \sqrt{0,5} = 28,3 \text{ кВт}$$

— мостових кранів

$$P_{ном.мост.кр} = 250 \cdot \sqrt{0,5} = 176,8 \text{ кВт}$$

– тельферів

$$P_{ном.тельф} = 20 \cdot \sqrt{0,5} = 14,1 \text{ кВт}$$

За формулою 2.2 знайдемо активну потужність:

– трансформаторів дугової зварки

$$P_{ном.тдз} = 50 \cdot \sqrt{0,25} \cdot 0,4 = 10 \text{ кВт}$$

– апаратів стикової зварки

$$P_{ном.тдз} = 20 \cdot \sqrt{0,25} \cdot 0,4 = 4 \text{ кВт}$$

За отриманими даними заповнюється таблиця 2.2.

Сумарна потужність підгрупи приймачів визначається:

$$\Sigma P_{н.підгр} = N \cdot P_n, \text{ кВт}, \quad (2.3)$$

де N – кількість однойменних приймачів.

Для вентиляторів за формулою 1.3

$$\Sigma P_{н.вент} = 2 \cdot 180 = 360 \text{ кВт}$$

Змінна активна та реактивна потужності знаходяться за формулами 1.4 та 1.5 відповідно

$$P_{зм} = K_v P_{ном}, \quad (2.4)$$

де K_{ϵ} – коефіцієнт використання приймача(вибирається з довідника).

$$Q_{зм} = P_{зм} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.5)$$

Визначаємо максимальну потужність цеху методом коефіцієнта максимуму.

Загальний коефіцієнт використання

$$K_{\epsilon} = \frac{\Sigma P_{зм}}{\Sigma P_{ном}} = \frac{823,5}{1070 + 654,8 + 60} = 0,46,$$

де $\Sigma P_{зм}$ – сумарна змінна активна потужність приймачів цеху;

$\Sigma P_{ном}$ – сумарна номінальна активна потужність приймачів цеху.

Показник силової збірки

$$m = \frac{P_{ном. \max}}{P_{ном. \min}} = \frac{320}{4} = 80,$$

де $P_{ном. \max}$ – активна потужність найбільш потужного приймача;

$P_{ном. \min}$ – активна потужність найменш потужного приймача.

Умови для подальшого розрахунку

$$n_{np} \geq 5; K_{\epsilon} \geq 0,2; m > 3; P_{ном} \neq const$$

Ефективне число приймачів

$$n_e = \frac{2 \sum_1^n P_{ном}}{P_{ном. \max}} = \frac{2 \cdot 1784,8}{320} = 11,16$$

Таблиця 2.1 – До визначення коефіцієнта використання

n_e	Коефіцієнт використання							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	>0,7
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1
3	2,4	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6-8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9-10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10-25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25-50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
>50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

Коефіцієнт максимуму табл.2.1

$$K_{\max} = f(n_e; K_{\epsilon}) = 0,85$$

Максимальна активна потужність

$$P_{\max} = K_{\max} \cdot \sum_1^n P_{3\text{м}} = 0,85 \cdot 823,5 = 700 \text{ кВт}$$

Максимальна реактивна потужність при $n_e > 10$

$$Q_{\max} = \sum_1^n Q_{3\text{м}} = 653,6 \text{ квар}$$

де $\sum_1^n Q_{3\text{м}}$ – сумарна змінна реактивна потужність приймачів цеху.

Повна максимальна потужність

$$S_{\max} = \sqrt{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2} = \sqrt{700^2 + 653,6^2} = 957,7 \text{ кВА}$$

Для промислових підприємств прийнятними показниками $\cos \varphi$ є діапазон 0,8–0,95.

Тоді потужність, яку потрібно компенсувати

$$Q_{\text{баз}} = P \cdot \tan(\varphi_{\text{баз}}) = 700 \cdot \tan(\arccos(0.95)) = 700 \cdot \tan(18.2^\circ) = 230 \text{ квар}$$

Тоді потужність, яку потрібно скомпенсувати

$$Q_{\kappa} = Q_{\text{max}} - Q_{\text{баз}} = 653,6 - 230,08 = 423,5 \text{ квар}$$

Обираємо компенсуючі конденсаторні установки УКРМ 0.4-400/10-40 потужністю 400 квар.



Рисунок 2.1 – Комплектна конденсаторна установка УКРМ 0.4-400/10-40

Тоді реальний коефіцієнт потужності навантаження після компенсації

$$Q = \cos \left(\arctan \left(\frac{Q_{\max} - Q_{ky}}{P_{\max}} \right) \right) = \cos \left(\arctan \left(\frac{653,6 - 400}{700} \right) \right) = 0.94$$

3 РОЗРАХУНОК ГІБРИДНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

3.1 Фотоелектрична частина

З метою оптимального виробітку енергії та зважаючи на економічність фотомодулі виготовлені компанією KNEES Group наразі вважаються одними з найкращих на вітчизняному ринку з точки зору відношення ціна/якість. Після виконаного порівняльного аналізу характеристик за коефіцієнтом корисної дії та струму короткого замкнення, був вибраний фотомодуль KNEES Group модель SNRG-FR72-MONOPERC-5BB 390 Вт. Його технічні характеристики надані в таблиці 3.1.

В якості інверторного обладнання, на базі проведеного аналізу доступних в продажі варіантів за технічними параметрами гібридних інверторів, необхідним струмом контролера MPPT для послідовного з'єднання фотоелектричних модулів, максимальної напруги від фотоелектричного перетворювача, регульованих струмів зарядки батарей у широкому діапазоні та економічності доцільності, був вибраний інвертор компанії ABB PVS-175-TL-SX2 185 кВт.

Для оцінювання якості фотоелектричних модулів розроблені стандарти – STC та NOCT:

STC (Standart Test Conditions) стандартні тестові умови, що відповідають роботі сонячної панелі в ідеальних умовах. Досліди проводять на заводі або в лабораторії при короткочасному спалаху тестера. Сонячна інтенсивність — 1000 Вт/м^2 , спектр вилученої маси повітря 1,5. Швидкість вітра рівна нулю. Температура повітря 25°C . Дані параметри імітують ясний весняний або осінній південь при умові, що лучи падають на поверхню сонячного модуля під прямим кутом.[6]

NOCT (Normal Operating Cell Temperature — Номінальна робоча температура сонячного елемента). Номінальна робоча температура сонячного елемента (NOCT) вимірюється при сонячній інтенсивності 800 Вт/м^2 і

температурі повітря 20°C. Електричне коло при цьому розімкнуте, кут нахилу модуля 45° з орієнтацією на південь.

У табл. 3.2 наведені характеристики обраних інверторів ABB PVS-175-TL-SX2.

Кількість послідовно з'єднаних фотоелектричних модулів визначається максимальною напругою фотоелектричного модуля за температури елемента -30°C та сонячної радіації 1000 Вт/м² для даної території.

Таблиця 3.1 – Характеристики фотоелектричної панелі SNRG-FR72-MONOPERC-5BB

Параметр	STC	NOCT
Максимальна потужність	390 Вт	287 Вт
Напруга холостого ходу	49.4 В	45.9 В
Струм короткого замикання	10 А	7.96 А
Оптимальна напруга	41 В	37,42 В
Оптимальний струм	9.55 А	7.67 А
ККД	20,1 %	
Робоча температура	-40 ~ +85 °C	
Максимальна напруга системи	1000 В	
Температурний коефіцієнт напруги	-0.31 %/°C	
Температурний коефіцієнт струму	+0.02 %/°C	
Номінальна робоча температура елемента	45±2°C	

Таблиця 3.2 – Характеристики інвертора ABB PVS-175-TL-SX2 185 кВт

Максимальна рекомендована вхідна потужність постійного струму	185000 Вт
Максимальне допустиме значення напруги від ФЕМ	1500 В
Максимальний допустимий струм на вході постійного струму одного MPPT контролера	22 А на MPPT
Максимальний допустимий струм короткого замикання від ФЕМ одного MPPT контролера	30А
Допустимий діапазон постійної напруги на вході	650-1100
Кількість входів MPPT	2 шт.

Знайдемо максимальну напругу фотоелектричного модуля:

$$U_{xx\max} = U_{xx} \cdot (1 + (-30 - 25) \cdot K_u) = 49,4 \cdot (1 + (-30 - 25) \cdot (-0.0031)) = 57.8 В$$

де U_{xx} – напруга холостого ходу фотомодуля;

K_u – температурний коефіцієнт.

Максимальне число з'єднаних послідовно модулів $N_{\text{фмс}}$:

$$N_{\text{ф.н}} = \frac{U_{\text{инв}}}{U_{xx\max}} = \frac{1100}{57.8} \approx 19 \text{ шт}$$

де $U_{\text{инв}}$ – максимально допустима вихідна напруга від фотомодуля до інвертора.

Візьмемо число послідовно з'єднаних модулів рівним 18 шт.

Розрахуємо максимальну напругу, яка буде надходити на інвертор з боку фотомодулів:

$$U_{ins} = N_{ф.п} \cdot U_{ххmax} = 18 \cdot 57.6 = 1040B$$

$$U_{ins} < U_{insmax}$$

Визначення найбільшого числа модулів, що можуть бути паралельно з'єднані, проводиться на базі максимального струму короткого замкнення фотоелектричної панелі за температури елемента 80°C і радіації 800 Вт/м² для оптимального струму, а також для радіації 1500 Вт/м², що є типовим для даної території.

Максимальне значення струму короткого замикання:

$$I_{кзmax} = I_{кз} (1 + (80 - 25) \cdot K_I) = 10.0 \cdot (1 + (80 - 25) \cdot 0.0002) = 10.11 A$$

де $I_{кз}$ – струм КЗ фотоелектричного модуля,

K_I – температурний коефіцієнт.

Граничне число паралельно з'єднаних модулів:

$$N_{ф.пар} = \frac{I_{инв.макс}}{I_{к.з.макс}} = \frac{22}{10.11} \approx 2$$

Прийmemo, що на один MPPT контролер максимально можемо паралельно з'єднати 2 шт лінійок .

Максимум генерації конфігурації за STC:

$$P_{STCmax} = P_{STC} \cdot N_{ф.мод} \cdot N_{mp} \cdot m = 390 \cdot 18 \cdot 2 \cdot 12 = 168480 Bm$$

де P_{STC} – потужність панелі по STC,

m – кількість MPPT портів інвертора.

Розраховане значення знаходиться в допустимому діапазоні відповідно до параметрів, вказаних в паспорті інвертора. Проте, потрібно зазначити, що даний

розрахунок був проведений на базі стандартних тестових умов (STC), що реально мають місце на цій широті протягом лише однієї години в проміжку від травня до серпня, з умовою, що температура фотоелектричного елемента буде прогріта до 25°C рівно. Це практично неможливо, через те що під час роботи має місце нагрів фотоелектричних елементів до 45°C. У більшості випадків фотоелектричні модулі будуть працювати в умовах, відповідних до NOCT.[6]

$$P_{NOCT\max} = P_{NOCT} \cdot N_{ф.посл} \cdot N_{пар} \cdot n = 287 \cdot 18 \cdot 2 \cdot 12 = 123984 \text{ Вт}$$

де P_{NOCT} потужність панелі по стандарту NOCT.

3.1.1 Розрахунок виробленої електроенергії станцією

Для обчислення виробництва енергії фотовольтаїчної станції ми скористаємося даними, отриманими в підрозділі 3.1, щодо абсорбованої сонячної радіації при обраному куті встановлення:

Розрахуємо виробіток фотоелектричної станції для січня:

$$E_{січ} = q_{погл.січ} \cdot \eta_n \cdot \eta_{інв} \cdot S_n \cdot N_n = 38,3 \cdot 0,201 \cdot 0,98 \cdot 1,77 \cdot 432 = 5769,1 \text{ кВт} \cdot год$$

де $q_{погл.січень}$ – кількість поглинутої енергії фотомодулем на січень місяць на 1 м² площі СП

$\eta_{СП}$ – паспортний ККД перетворення фотоелектричної енергії фотомодуля

$\eta_{інв}$ – паспортний ККД перетворення електричної енергії інвертора

$S_n = 1,77 \text{ м}^2$ – ефективна площа фотоелектричної поверхні СП

$N_n = 432$ – кількість панелей.

Аналогічно виконаємо розрахунки для інших місяців.

Річне виробництво фотоелектричної станції

$$E_{\text{рік}} = 4 \sum_{i=1}^{12} E_i = 4 \cdot 139648 = 558592 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Результати розрахунків об’єму генерації фотоелектричної станції зведені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Об’єм генерації СЕС

Е, кВт·год	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	За рік
	5769,1	6657,3	10121,6	12259,6	12608,7	14570,7	17498,9	17219,9	15787,8	14745,2	7654,7	4754,6	558592

Розрахунки представлені у виді графіку на рис 3.4.

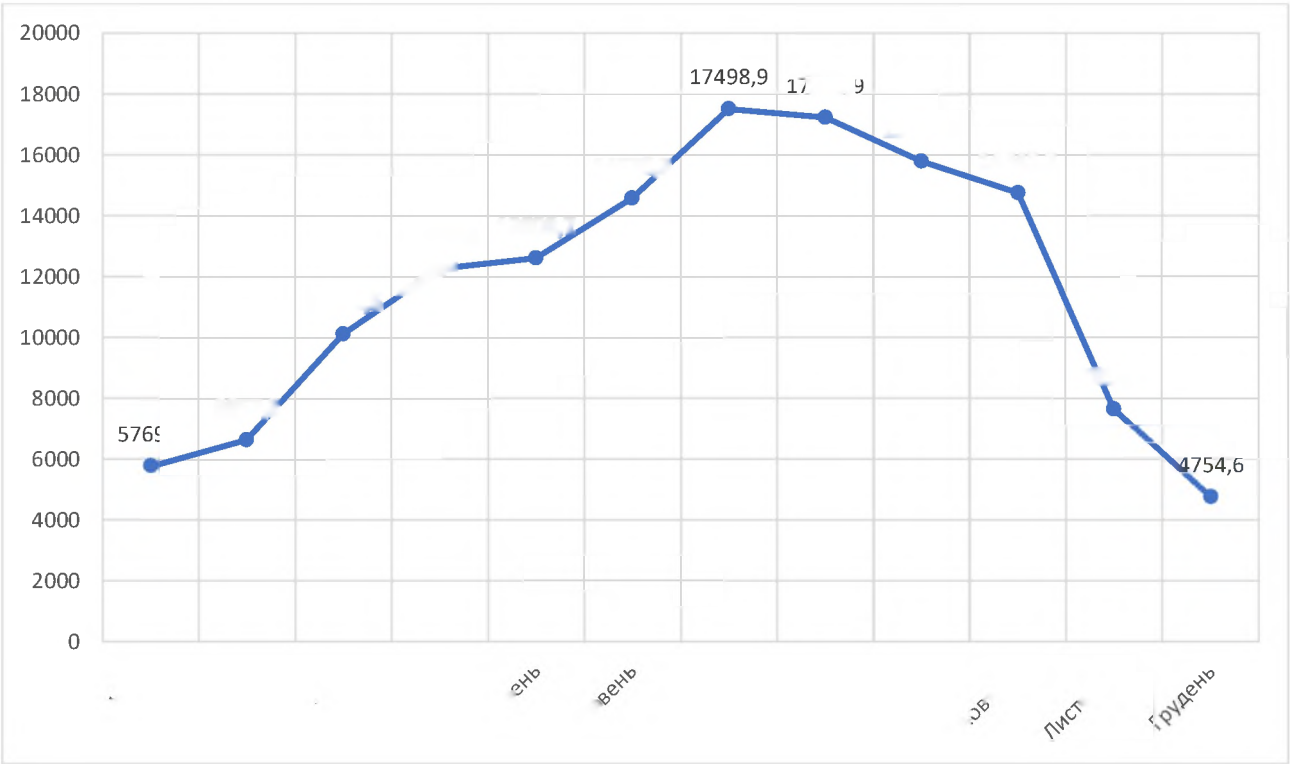


Рисунок 3.1 – Діаграма генерації СЕС по місяцям

3.2 Вітроенергетична частина

3.2.1 Визначення швидкості вітроустановки

На етапі проектування вітроенергетичних установок необхідно врахувати два ключові аспекти: максимізацію виробництва енергії (для вітряних турбін, підключених до загальної мережі) і гарантування роботи виробничих механізмів протягом певного періоду часу (для автономних ВЕУ). Залежно від того, який з цих аспектів пріоритетний, вибирається економічно обґрунтована номінальна швидкість вітру (розрахункова швидкість), при якій вітроенергетична установка досягає своєї номінальної потужності (v_n) і починає регулювання її потужності. У першому випадку співвідношення v_n до середньорічної швидкості вітру зазвичай становить від 1,5 до 2. У другому – це співвідношення не має перевищувати 1,25.

Інший важливий параметр – вертикальний профіль вітру, який відображає зміну швидкості вітру із висотою. Для коректного узгодження отриманих значень спостережень з висотою розташування осі ротора використовується формула, запропонована Д. Т. Лайхтманом.[7]

За довідником отримані середні швидкості вітру на місяць та на рік для найближчого метеорологічного пункту від розташування об'єкту(табл. 3.4)

Таблиця 3.4 – Середні швидкості вітру на місяць та на рік для метеопункту №163 Приморське

Місяці	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Рік
Середньомісячна швидкість, м/с	Ізмаїл №165												
	5,5	5,6	5,8	5,1	4,7	4,6	4,2	4,3	4,5	4,7	5,6	5,0	5,0

Номінальна швидкість вітрогенератора

$$v_n = 1,5 \cdot v_{сер} = 5 \cdot 1,5 = 7,5 \text{ м / с}$$

3.2.2 Вибір вітряка та перетворюючого обладнання

На сьогоднішній день вітрогенератори від Gamesa відносяться до найвищих стандартів якості та доступності серед усіх виробників в Україні. Після ретельного аналізу і порівняння різних моделей на вітчизняному ринку, в особливості озираючись на максимальну потужність і стартову швидкість, була обрана модель вітрогенератора із горизонтальним трьохлопатеvim дизайном, а саме Gamesa G58 з потужністю 850 кВт. Характеристики даної моделі зведені до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Характеристики вітрогенератора Gamesa G58

Характеристика	Значення
Номінальна потужність	850 кВт
Діаметр ротора	56 м
Вихідна напруга	96 В
Кількість лопатей	3
Висота опори	26 м
Стартова швидкість вітру	3 м/с
Розрахункова швидкість вітру	12.5 м/с
Максимальна швидкість вітру	20 м/с
Номінальна частота обертання	30.8 об/хв

3.2.3 Розрахунок генерації електроенергії вітроустановки

Для обчислення річного виробітку електроенергії вітровою електростанцією слід врахувати ймовірність виникнення певної швидкості вітру

протягом року на найближчій до об'єкта метеостанції – це метеопост №163 «Приморське». Ці дані представлені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Дані про повторюваність вітру у відсотках для метеопосту №163 «Приморське»

Місяць	Швидкість									
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20
Січень	9,4	25,7	23,2	16	12,1	6,2	4,8	1	1,2	0,4
Лютий	9,7	23,7	23,2	17,4	12,1	6,3	4,2	1,7	1,6	0,1
Березень	8,6	20,5	24,8	16,1	14,8	7	5,5	0,7	1,9	0,1
Квітень	11,5	21,8	28,2	17,6	11,9	5,2	2,4	0,8	0,6	0
Травень	11,7	24,1	29,5	17,4	12,2	3,7	1,2	0,2	0	0
Червень	11,6	26,9	30,1	17	9,2	3,1	1,5	0,4	0,2	0
Липень	14,2	28,4	31,6	14,7	6,6	3,3	0,9	0,1	0,2	0
Серпень	14,9	29,6	29,5	15,5	6,7	2,5	0,9	0,2	0,2	0
Вересень	13,7	29	27,6	15	8,3	3,9	1,5	0,6	0,4	0
Жовтень	13,4	29,3	25,8	13,1	8,9	5,2	3,7	0,2	0,4	0
Листопад	10,8	23,2	22,1	15,9	13,4	7,1	4	1,3	1,7	0,5
Грудень	15,3	26	22,4	14,6	9,6	5	4,6	1,2	1,1	0,2
Рік	12	25,7	26,5	15,8	10,5	4,9	3	0,7	0,8	0,1

Для розрахунків з виробітку електроенергії вітряком потрібно знайти швидкість вітру на висоті щогли залежно від швидкості вітру, яка зареєстрована на висоті флюгера.

Перерахувати швидкість вітру відповідно до висоти флюгера можна за такою формулою:

$$v = v_{\phi} \cdot \frac{\lg\left(\frac{h}{k}\right)}{\lg\left(\frac{h_{\phi}}{k}\right)} = 0,5 \cdot \frac{\lg\left(\frac{74}{0.14}\right)}{\lg\left(\frac{11}{0.14}\right)} = 0.7 (м / с)$$

де h – висота щогли вітрогенератора,

k – коефіцієнт шорсткості поверхні вітроколеса;

h_ϕ – висота флюгера на метеопосту, м.;

v_ϕ – швидкість вітру на висоті флюгера, м/с

Перерахувавши для висоти опори 74 метрів, ми маємо такі швидкості вітру:

0,5	2,5	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	19	22,5	26,5
0,7	3,6	6,5	9,3	12,2	15,1	18,0	20,8	23,7	27,3	32,3	38,1

Потужність, що генерується вітроколесом

$$P_i = \frac{1}{2} \cdot k_e \cdot \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot v^3$$

де k_e – коефіцієнт ефективності вітроколеса (0,35-0,45),

ρ – щільність повітря (1,225 кг/м³);

v – швидкість вітру на висоті вітроколеса.

Об'єми генерованої вітряком електроенергії за календарний місяць

$$E_i = P_i \cdot t_{im}$$

де t_{im} – час коли очікується відповідне значення швидкості вітру:

$$t_{im} = \frac{730 \cdot k}{100}$$

де k – ймовірність відповідної швидкості вітру, %.

Для швидкості вітру від 4 до 5 м/с

$$t_{\text{ім}} = \frac{730 \cdot 23,2}{100} = 173,74 \text{ год}$$

Приблизна потужність та електроенергія, що виробляється вітряком за січень на швидкості вітру від 4 до 5 м/с

$$P = \frac{1}{2} \cdot 0.35 \cdot 1.225 \cdot \frac{3.14 \cdot 58^2}{4} \cdot 5.4^3 = 153 \text{ кВт}$$

$$E = 153 \cdot 173,74 = 26,582 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Прийнявши до уваги, що діапазон швидкостей складає від 3 до 50 м/с, а також той факт, що при швидкостях вищих за номінальну (> 8 м/с) виробництво електроенергії досягає свого плато. Таким чином виробіток ВЕС за січень:

$$E_{\text{сум.січень}} = \sum_{i=3}^{50} E_{\text{ВЕС},i} = 244,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Результати розрахунків виробництва електроенергії вітряком за січень записані в таблицю 3.7. На базі розрахованих даних побудуємо графік 3.2.

Для кожного місяця виконуються аналогічні розрахунки. На базі розрахунків підрахуємо річний виробіток ВЕС

$$E_{\text{ВЕС, рік}} = \sum_{i=1}^{12} E_{\text{ВЕС, міс. } i} = 244178,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Складемо значення виробленої електроенергії фотоелектричними панелями із даними вітряка, збудуємо графік на рис. 3.3.

Таблиця 3.7 – Генерація ВЕС за січень

Діапазон швидкостей	Швидкість вітру на висоті флюгера	Швидкість вітру на висоті щогли	Ймовірність даної швидкості, %	Тривалість даного вітру, год	Генерація електроенергії ВЕС за місяць, кВт·год
0-1	0,5	0,7	9,4	68,62	14,402
2-3	2,5	3,6	25,7	187,61	4922,19
4-5	4,5	6,5	23,2	169,36	25913,8
6-7	6,5	9,3	16	116,8	53859,9
8-9	8,5	12,2	12,1	88,33	75080,5
10-11	10,5	15,1	6,2	45,26	38471
12-13	12,5	18,0	4,8	35,04	29784
14-15	14,5	20,8	1	7,3	6205
16-17	16,5	23,7	1,2	8,76	7446
18-20	19	27,3	0,4	2,92	2482
Сума:			100	730	244178,8

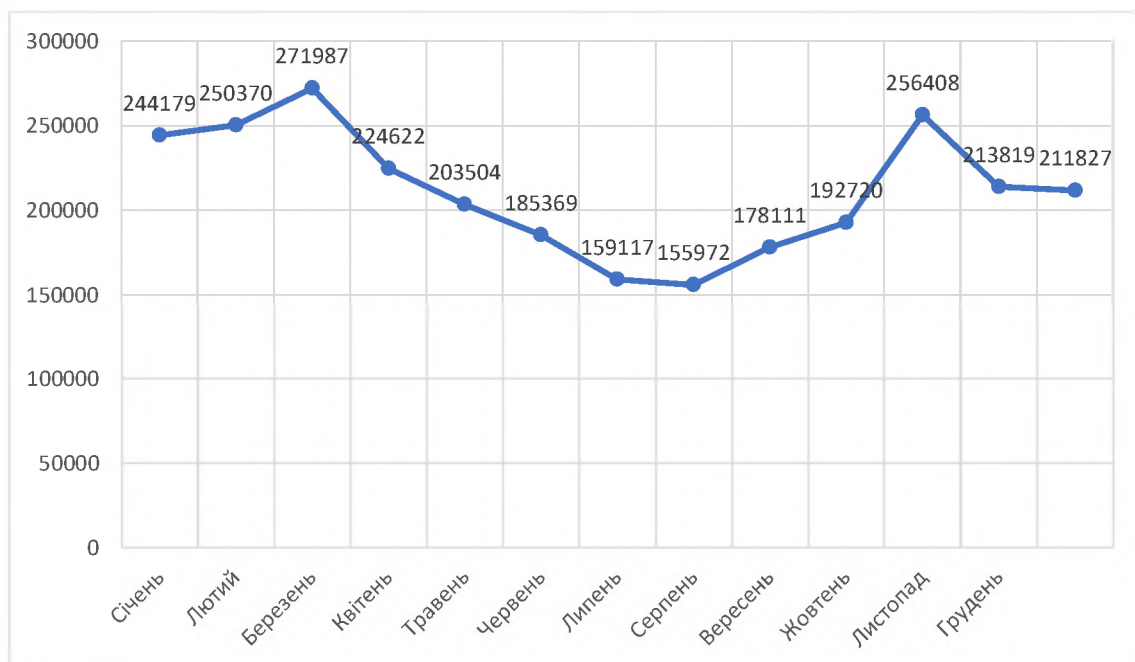


Рисунок 3.2 – Графік виробництва електроенергії ВЕСУ впродовж року

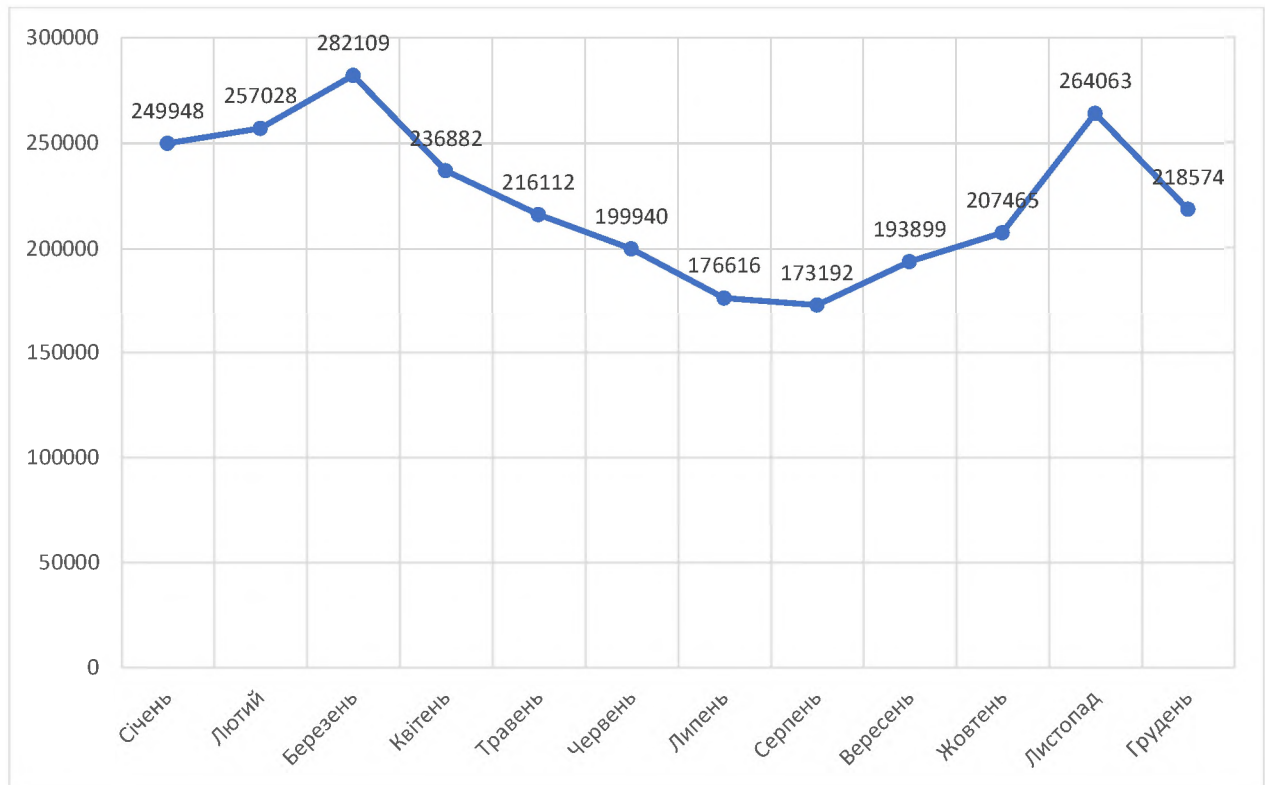


Рисунок 3.3 – Графік загальної місячної потужності генерації від фотоелектричних панелей та вітроустановки

3.3 Вибір акумуляторів енергії

Стандартні гібридні сонячні інвертори є ключовими компонентами для будь-якої простої та економічно вигідної домашньої системи зберігання енергії. Гібридні інвертори поєднують в собі функції сонячного інвертора та зарядного пристрою. Ці сучасні пристрої використовують енергетичні лічильники та програмне забезпечення, яке можна налаштувати для оптимального використання доступної енергії.

Однак, більшість гібридних сонячних інверторів мають обмеження щодо потужності батареї та невелику вихідну потужність перенапруги порівняно зі спеціалізованими інверторами для позамережевого використання або режиму множинного використання. Окрім того, більша частина гібридних інверторів не мають додаткової потужності для передачі, що вимагає розподілу основних та

вторинних навантажень. Гібридні інвертори "все в одному" є доступним варіантом для середніх домогосподарств, які прагнуть більшої енергетичної незалежності завдяки сонячним панелям та акумуляторам, але не планують повного відключення від мережі або рідко стикаються з відключенням електроенергії. Для потужних генераційних установок виділяють окремі інвертори, потужністю до сотень кВА.

На рисунку 3.4 показано схему підключення елементів системи для забезпечення обміну енергією.

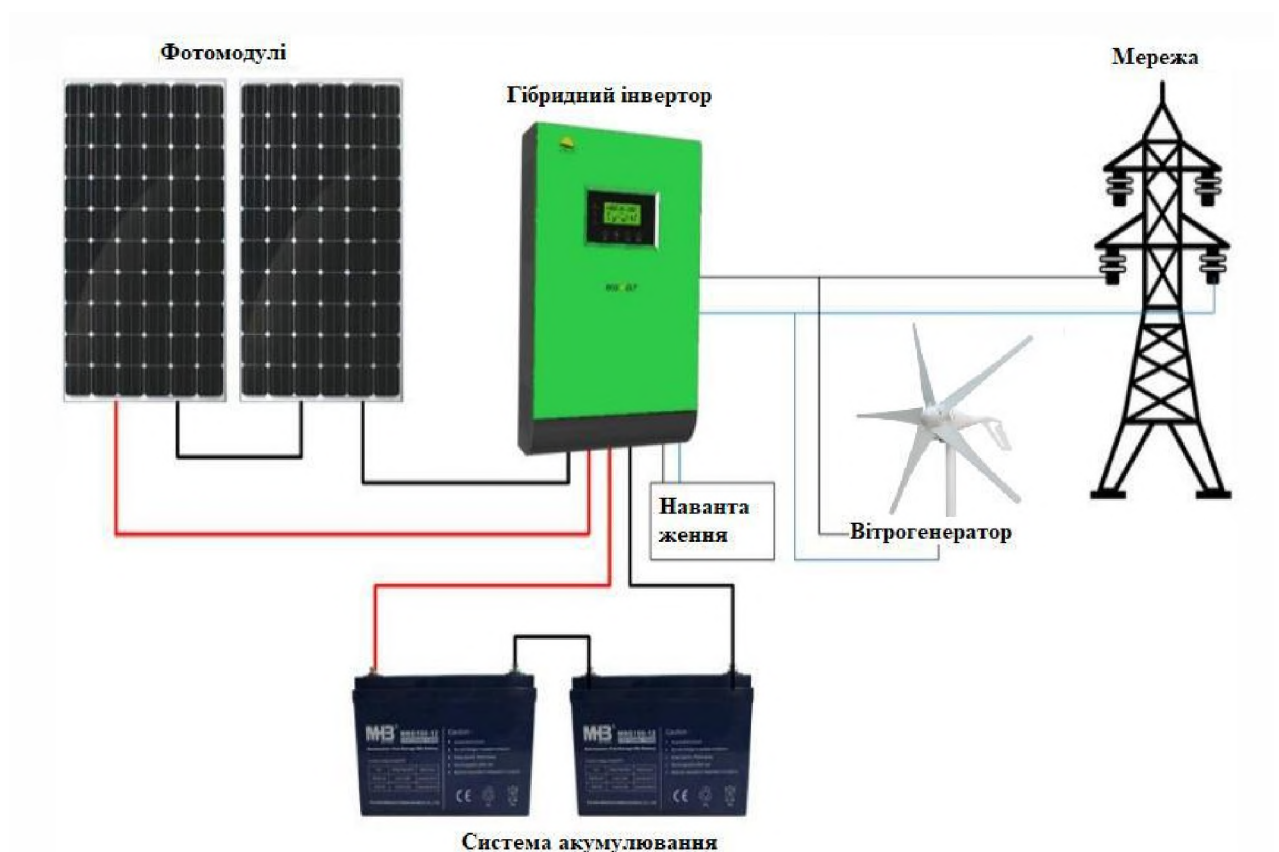


Рисунок 3.4 – Схема передачі потужності для зберігання електроенергії

На основі даних про об'єм виробленої електроенергії знайдемо потужність, яку резервуємо в акумуляторних елементах:

$$W_{рез} = 0.2 \cdot \frac{W_{mic.min}}{30} = 0.2 \cdot \frac{250000}{30} = 1,667 \text{ MBm}$$

Обираємо акумулятор 48V ADS LT – LFP48100T ємністю 4,8 кВт·год. Його характеристики наведені в табл. 3.8.

Кількість акумуляторів необхідна для забезпечення рівня резервації:

$$N_{акб} = \frac{W_{рез}}{E_{акб}} = \frac{1667}{4} \approx 416$$

Таблиця 3.8 – Характеристики акумулятора 48V ADS LT – LFP48100T

Тип акумулятора	Літій-залізофосфатний (LiFePO ₄)
Номінальна ємність	4,8 кВт·год
Номінальна напруга	48 В
Максимальний струм заряду	50А
Кількість циклів заряду/розряду:	6000
Робоча температура, °С:	-20 до +60

4 МОДЕЛЮВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ І ВІТРОВОЇ ЧАСТИНИ УСТАНОВКИ

4.1 Моделювання фотоелектричних панелей

Для вивчення фотоелектричних модулів методами комп'ютерного моделювання інформативним та зручним середовищем є Simulink Matlab[8].

Бібліотека стандартних блоків має в своєму складі сонячну панель, яка представлена як PV Array(укр. фотоелектричний масив). Вікно параметрів даного блока показане на рисунку 4.1. Звернувшись до електричних характеристик фотоелектричного модуля можемо заповнити відповідні поля у вікні Block Parameters, як то: напруга холостого ходу, температурні коефіцієнти, тощо. Для вивчення роботи сонячної панелі та отримання вольт-амперних та вольт-ватних характеристик можна скласти схему рис. 4.2. На вхідні порти масиву організована подача сигналів сонячного опромінення і температури комірок. Змінюючи напругу на виході масиву фотопанелей ми індукуємо струм в системі. Отримані дані використовуємо для побудови вольт-амперної та вольт-ватної характеристик, відповідно (рис.4.3).

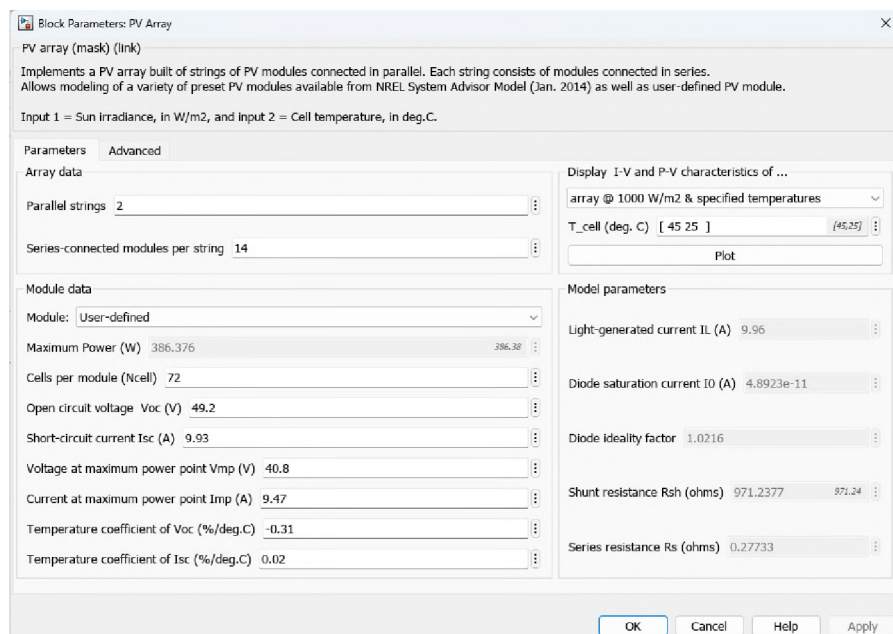


Рисунок 4.1 – Вікно параметрів блоку PV Array

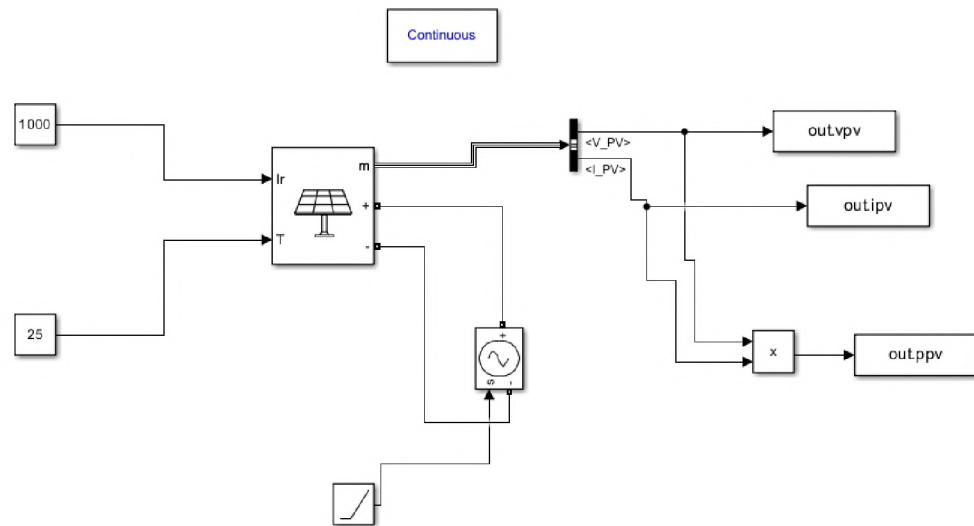


Рисунок 4.2 – Схема для дослідів

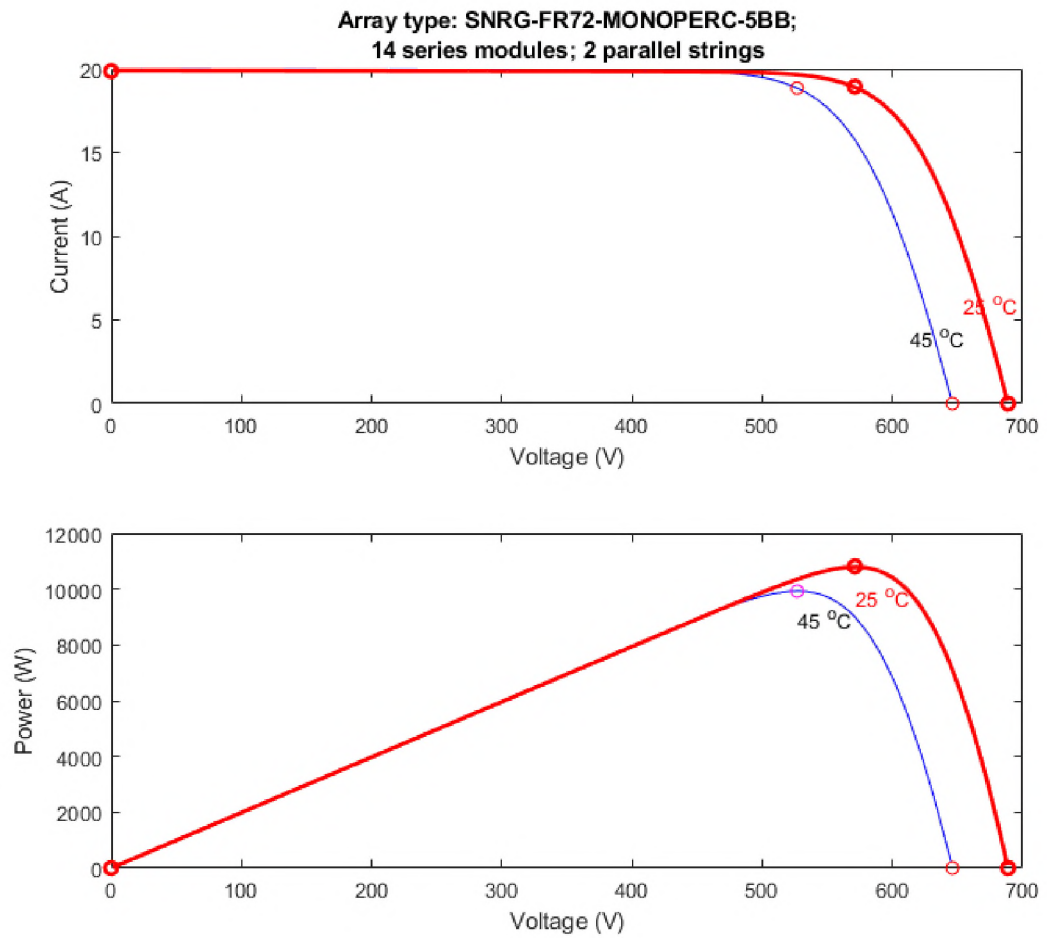


Рисунок 4.3 – Вольт-амперні(ВАХ) та вольт-ватні(ВВХ) характеристики зібраних модулів

Зі зростанням температури комірок знижується потужність на виході фотоелектричного масиву. Це обумовлено тим, що зростає внутрішній опір напівпровідникових елементів. Відповідно, навіть при значеннях сонячної радіації, що перевищують номінальні отримана енергія на виході панелей, зазвичай, не буде максимальною. Хоча варто зауважити, що взимку за низьких температур і високих показників опромінення, може виникнути ситуації з перевиробленням енергії.

4.2 Моделювання вітрогенератора

Аналогічним чином, як і для фотоелектричної панелі, для вітрової турбіни в Simulink передбачений окремий блок Wind Turbine. На рис. 4.4 представлений його блок параметрів. Тут серед основних параметрів представлено: номінальну потужність, базову швидкість вітру, тощо.

Для вивчення вітроустановки доцільно зібрати блок-схему, як показано на рисунку 4.4. В цьому випадку на вхід блоку Wind Turbine ми заводимо швидкість генератора у відносних одиницях, кут атаки у градусах і швидкість вітру у метрах на секунду. Як результат на виході отримуємо механічний момент, який розвиває вітрова турбіна у відносних одиницях. На рисунку 4.5 представлений графік того, як змінюється момент на валу. Насправді генератор починає процес вироблення енергії, коли графік моменту переходить через нуль осі абсцис, ця стадія настає близько стартової швидкості ротора – 3 м/с. Від’ємне величина моменту показує, що електрична машина працює в генераторному режимі. Залежність вихідної потужності вітрогенератора від швидкості вітру наведена на графіку рисунка 4.6.

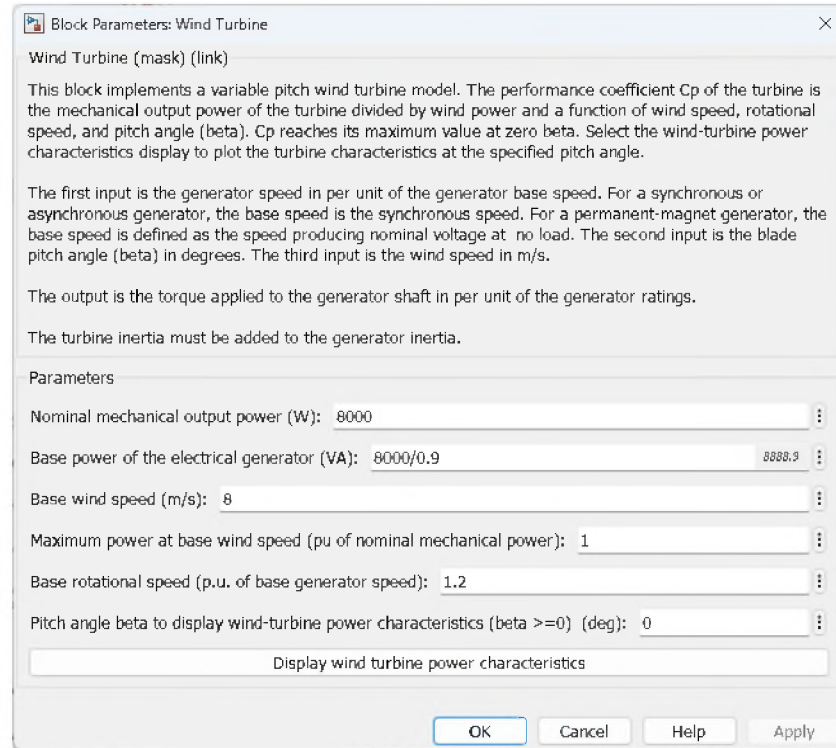


Рисунок 4.4 – Вікно параметрів Wind Turbine

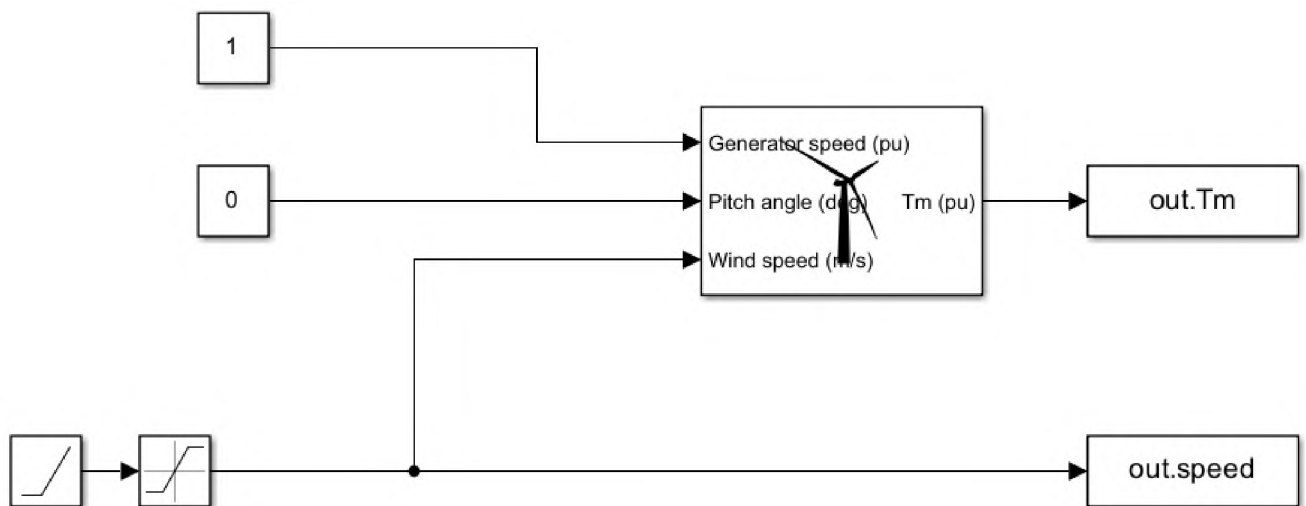


Рисунок 4.5 – Схема для дослідження вітрогенератора

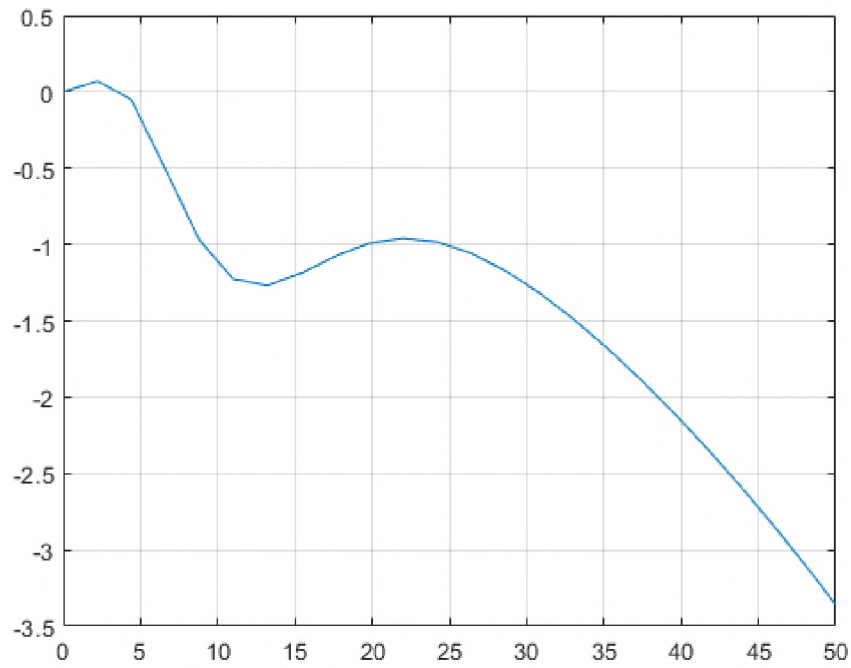


Рисунок 4.6 – Залежність моменту від швидкості вітру

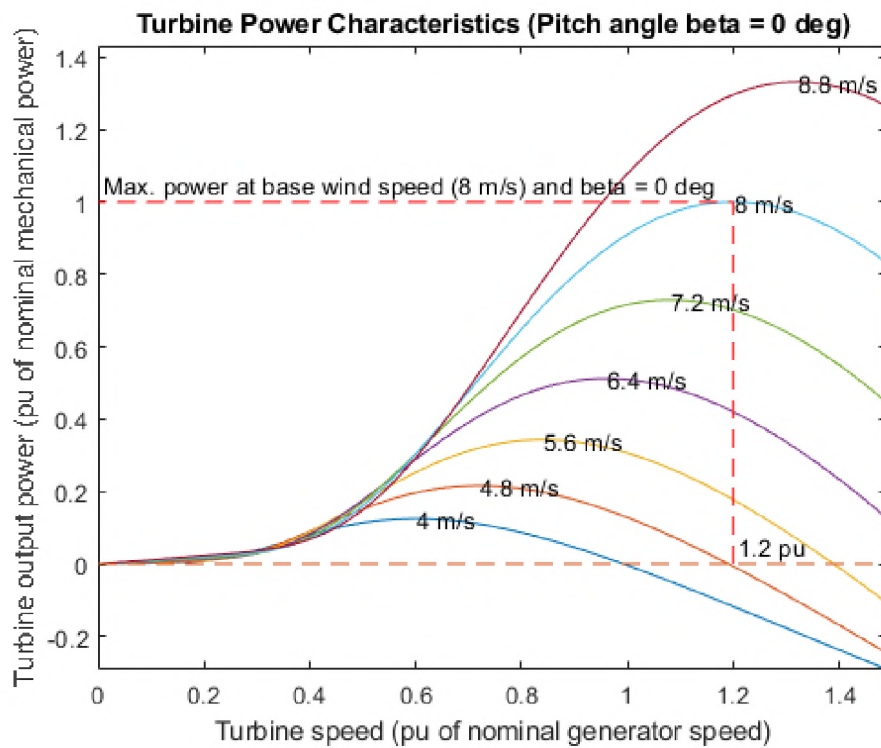


Рисунок 4.7 – Залежності вихідної потужності від швидкості вітру

ВИСНОВКИ

У даній випускній кваліфікаційній роботі досліджені питання конфігурацій фотоелектричних станцій, розглянуті автономні фотоелектричні системи, зокрема: домашні та потужні будинкові фотоелектричні станції. Розглянуті комбіновані системи, де в якості джерела електричної енергії поряд з нетрадиційними можуть використовуватися генератори на викопному паливі. Вивчено, що існують гібридні фотоелектричні системи: децентралізовані та промислові. Не останню роль в них грає інвертор, від обов'язковий елемент для обміну згенерованою електроенергією з промисловою мережею.

За вихідними даними приладдя об'єкта був проведений розрахунок навантажень металообробного цеху методом коефіцієнта використання. Визначені потужності споживання за родом. Коефіцієнт потужності не задовольняє вимогам і навантаження потребує застосування компенсаційних пристроїв. Обрано конденсаторну установку УКРМ 0.4-400/10-40 потужністю 400 квар.

Із довідника для міста Приморське визначені дані про рівні сонячної радіації. За розрахованими даними були обрані сонячні панелі SNRG-FR72-MONOPERC-5BB 390 Вт та 4 інвертори потужністю ABB PVS-175-TL-SX2 185 кВт кожний, розраховані об'єми виробленої електроенергії.

Поряд з сонячною установкою гібридної електростанції передбачена вітроенергетична установка з номінальною швидкістю вітру, при якій розгортає свою номінальну потужність. Обрано вітряк Gamesa G58 номінальною потужністю 850 кВт з діаметром колеса 56 м висотою 74 м. За даними про повторюваності вітру у визначеній місцевості розрахований виробіток електроенергії вітроустановки.

Розрахована необхідна ємність та обрані LiFePo₄ акумулятори енергії 48V ADS LT – LFP48100T в кількості 416 штук.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. R. E. Precup, T. Kamal, and S. Z. Hassan, Solar Photovoltaic Power Plants: Advanced Control and Optimization Techniques. Springer Nature Singapore, 2019.
2. A. Goetzberger and V. U. Hoffmann, Photovoltaic Solar Energy Generation. Springer Berlin Heidelberg, 2005.
3. C. J. Winter, R. L. Sizmann, and L. L. Vant-Hull, Solar Power Plants: Fundamentals, Technology, Systems, Economics. Springer Berlin Heidelberg, 2012.
4. C. S. Solanki, SOLAR PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY AND SYSTEMS: A Manual for Technicians, Trainers and Engineers. PHI Learning, 2013.
5. Дейнеко Л.В., Шовкун І.А., Шелудько Е.І. та ін., Неоіндустріальна трансформація промислового потенціалу України. ДУ 'Інститут економіки та прогнозування НАН України'.
6. Справочник по климату СССР Выпуск 10 Украинская ССР Часть III Ветер, Ленинград, 1967.
7. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние/ Гидрометеиздат, Ленинград, 1966
8. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: Метод. пос. для курсового проектирования. ФОРУМ-ИНФРА-М, 2003.
9. Сташко В. Возобновляемые источники электроснабжения. МЦ ЭОР, 2022.

ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ

А.1 Безпека з вітроустановками

Правила техніки безпеки при експлуатації вітроенергетичної установки

Експлуатація ВЕУ повинна бути організована таким чином, щоб забезпечити її енергетично, технічно і економічно ефективну експлуатацію. Гарантія якості експлуатації ВЕУ є невід'ємною частиною і результатом сукупності забезпечення якості проектування, конструювання, виробництва, постачання, управління, експлуатації та обслуговування ВЕУ і всіх її складових частин.

Гарантія якості є невід'ємною частиною і результатом сукупності забезпечення якості проектування, конструювання, виробництва, управління, експлуатації та обслуговування ВЕУ і всіх її складових частин.

Знання обов'язкового стандарту обов'язково для персоналу, який бере участь в розробці, погодженні та затвердженні місцевих інструкцій по експлуатації.

Знання місцевих інструкцій, складених на підставі цього стандарту, обов'язково для споживача.

При експлуатації ВЕУ повинен бути забезпечений безпечний, надійний і економічний режим роботи обладнання ВЕУ відповідно до інструкцій по експлуатації обладнання, безперебійна робота обладнання в допустимих режимах, надійне дію пристроїв контролю, захисту і автоматики.

Споживач, який здійснює управління ВЕУ повинен розташовуватися на рівні землі.

Допускається розміщувати пульт управління ВЕС в приміщенні придатному для умов експлуатації вітрогенератора за умови організації швидкого доступу для ремонту ВЕУ.

Профілактичні випробування ВЕУ повинні бути організовані відповідно до інструкцій експлуатації електрообладнання.

Поточний ремонт обладнання ВЕУ а також перевірка його дій виробляти в міру необхідності в залежності від їх призначення і технічного стану.

Вітроенергетична установка - складний технічний пристрій, що поєднує в собі аеродинамічну і електротехнічну частини. Найменше недотримання збірки ВЕУ або її експлуатації може призвести до її поломки і заподіяння як матеріального збитку так і шкоду здоров'ю, а також знаходяться поруч людей.

Необхідно повністю ізолювати підключаються дроти та кабелі.

При перших запусках ВЕУ необхідно спостереження за роботою ВЕУ протягом 2-3 годин і уважно поставитися до можливих вібрацій, стукам, бавовни, що свідчить про неправильну роботу ВЕУ і негайно зупинити її роботу.

Забороняється проводити перший пуск ВЕУ при швидкості вітру більше 5м/с (відповідає середньому вітрі).

Забороняється вносити конструктивні і регульовальні зміни в конструкцію ВЕУ. Забороняється подавати будь-яку напругу на електрогенератор для його запуску. Забороняється підключати будь-які виходи електрогенератора і блоку ОЕЗА до мережі електрики або будь-якого іншого джерела електроенергії.

Необхідно прийняти комплекс заходів щодо захисту ВЕУ від попадання блискавки.

А.2 Охорона праці і техніка безпеки при експлуатації СЕС

Адміністрацію підприємства (організації) повинні забезпечити систематичний контроль за дотриманням електромонтерами правил безпеки, застосування запобіжних засобів, спецодягу та інших засобів індивідуального захисту. Посадові особи, які не забезпечують виконання цих вимог, залучаються в установленому порядку до адміністративної або кримінальної відповідальності згідно з чинним законодавством

Електрозахисні засоби і засоби індивідуального захисту, що використовуються електромонтерами при роботах, повинні відповідати вимогам державних стандартів.

Навчання техніці безпеки організовує для всіх робітників, що пройшли ввідний інструктаж.

Перед початком робіт в місцях, де є або може виникнути виробнича небезпека незалежно від характеру виконуваних робіт, що відповідає виконавцю видається наряд-допуск на виконання робіт підвищеної небезпеки.

Особи, які не досягли 18 річного віку, не допускаються в якості електромонтерів та робочих до робіт в електроустановках. Технічне обслуговування являє собою комплекс робіт, що проводив для підтримки в справності електроустановок при використанні їх за призначенням, а також при використанні їх за призначенням, а також при зберіганні і транспортуванні. Вона складається: з повсякденного догляду за електроустановками; контролі режимів їх роботи; спостереження за справним станом; контролем за дотриманням правил технічної експлуатації.

Поточна експлуатація- це проведення робіт, оперативним (оперативно ремонтним) персоналом на закріпленій ділянці під час однієї зміни.

Всі роботи, що проводяться без наряду виконуються за розпорядженням осіб уповноважених на це з оформленням в оперативному журналі; в

Поточної експлуатації з подальшим записом в оперативному журналі.

В основу організації праці електромонтера покладено планово попереджувальний характер технічного обслуговування і ремонту електроустановок із системою оперативно виробничого планування.

При отриманні сигналу про несправності електроустановки електромонтер усуває її і робить огляд.

Керівний технічний працівник (енергетик, майстер) повинен щодня переглядати записи в журналі і вживати необхідних заходів для усунення виявлених несправностей в роботі електрообладнання.

Стан умов праці, при якому виключено вплив на працюючих, різних небезпечних або шкідливих виробничих факторів, прийнято називати безпекою праці.

ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____