

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 621.311.24.

ПОГОДЖЕНО
Директор ІНІ енергетики, авто-
матики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
інженерії енергосистем

_____ **Віктор Каплун**
(підпис)

_____ **Євген Антипов**
(підпис)

« _____ » _____ 2025 р.

« _____ » _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розробка автономної системи електроживлення домогосподарства з відновлюваними джерелами енергії»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Сергій Усенко
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Андрій Петренко
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Олександр Петриченко
(ПІБ)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інженерії енергосистем

к.т.н. доцент _____ Євген Антипов
(ступінь, звання) (підпис) (ПІБ)
« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Петриченку Олександр Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи **«Розробка автономної системи електроживлення домогосподарства з відновлюваними джерелами енергії»** затверджена наказом ректора Національного університету біоресурсів і природокористування України від 18.11.2024 р. № 2061
«С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 14.11.2025 р.
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи ПУЕ, ДБН, ДНАОП, ГКД, ситуаційний план місцевості з геолокацією, архітектурний план будівлі, каталоги виробників обладнання

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналітичний огляд існуючих систем електроживлення з відновлюваними джерелами енергії.
2. Характеристика домогосподарства, як об'єкта електроживлення.
3. Розробка схеми електроживлення з відновлюваними джерелами енергії.
4. Обґрунтування системи електроживлення та визначення її ефективності
5. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень
6. Заходи з охорони праці та техніки безпеки

Перелік графічного матеріалу: презентація виконана в програмному забезпеченні MS Power Point

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2024 р.

Керівник магістерської роботи: _____
Завдання прийняв до виконання _____

Андрій Петренко
Олександр Петриченко

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 106 с., 20 рис., 13 джерел.

Об'єкт дослідження – процес забезпечення енергетичної автономності приватного домогосподарства.

Предмет дослідження – параметри та режими роботи гібридної вітросонячної електростанції, а також її техніко-економічні показники.

Метою магістерської роботи є розробка та комплексне техніко-економічне обґрунтування проєкту автономної гібридної системи електроживлення для приватного домогосподарства з використанням сонячних панелей та вітрової установки.

Робота складається з п'яти основних розділів. У першому розділі проведено аналіз сучасних технологій ВДЕ, на основі якого обґрунтовано доцільність використання саме гібридної вітросонячної системи для кліматичних умов України. У другому розділі визначено профіль та обсяги електроспоживання типового домогосподарства. Третій розділ присвячено вибору основного генеруючого та накопичувального обладнання та опису методик розрахунку його продуктивності.

У четвертому, найбільш аналітичному розділі, виконано детальне погодинне моделювання генерації електроенергії для всіх сезонів року. Проведено аналіз енергетичного балансу системи, що дозволило кількісно оцінити періоди дефіциту та надлишку енергії, а також обґрунтувати достатність ємності акумуляторних батарей та необхідність резервного джерела живлення. У п'ятому розділі проведено повне техніко-економічне обґрунтування проєкту: розраховано капітальні витрати, щорічну економію, потенційний дохід від продажу надлишків за «зеленим» тарифом та визначено скоригований термін окупності.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до обґрунтування ефективності гібридної системи, що поєднує детальне погодинне моделювання для всіх сезонів з економічним аналізом, який враховує дохід від «зеленого» тарифу, дозволяючи отримати реалістичну оцінку інвестиційної привабливості проєкту.

Ключові слова:

Система електроживлення; енергія; домогосподарство; сонячні панелі; вітросонячної енергії; потужності; моделювання роботи; автономність.

ABSTRACT

Qualification work: 106 p., 20 figures, 13 sources.

The object of study is the process of ensuring the energy autonomy of a private household.

The subject of study is the parameters and operating modes of a hybrid wind-solar power plant, as well as its technical and economic indicators.

The purpose of this master's thesis is the development and comprehensive techno-economic justification of a project for an autonomous hybrid power supply system for a private household using solar panels and a wind turbine.

The work consists of five main sections. The first section analyzes modern RES technologies, based on which the expediency of using a hybrid wind-solar system for the climatic conditions of Ukraine is substantiated. The second section defines the profile and volumes of electricity consumption for a typical household. The third section is devoted to the selection of the main generating and storage equipment and the description of methods for calculating its performance.

In the fourth, most analytical section, a detailed hourly simulation of electricity generation for all seasons of the year is performed. An analysis of the system's energy balance was carried out, which made it possible to quantify periods of energy deficit and surplus, as well as to justify the sufficiency of the battery capacity and the need for a backup power source. In the fifth section, a full techno-economic justification of the project is carried out: capital costs, annual savings, potential income from the sale of surplus electricity under the "green" tariff, and the adjusted payback period are calculated.

The scientific novelty of the work lies in the comprehensive approach to justifying the efficiency of the hybrid system, which combines detailed hourly modeling for all seasons with an economic analysis that takes into account income from the "green" tariff, allowing for a realistic assessment of the project's investment attractiveness.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ.....	11
1.1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПИТАННЯ	11
1.2. ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	12
1.3. ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	13
1.4. КЛАСИФІКАЦІЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	15
1.5. СХЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИМИ УСТАНОВКАМИ	18
Висновки по розділу 1	22
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ДОМОГОСПОДАРСТВА, ЯК ОБ’ЄКТА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ	24
2.1. МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ДОМОГОСПОДАРСТВА ТА КЛІМАТИЧНІ ДАНІ	24
2.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ДОМОГОСПОДАРСТВА ТА ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.....	25
Висновки до розділу 2	32
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	33
3.1 ВИБІР ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.....	34
3.2 РОЗРАХУНОК ГЕНЕРАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ	36
3.3. ВИБІР ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ	43
3.4. РОЗРАХУНОК ГЕНЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАНОВКОЮ .	44
3.5. ВИБІР СТРУКТУРИ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ВІТРОСОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ З ДИЗЕЛЬНИМ ГЕНЕРАТОРОМ	46
Висновки до розділу 3	50
РОЗДІЛ 4 ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	51

4.1 АНАЛІЗ РОБОТИ ВІТРОСОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ З УРАХУВАННЯМ ПОГОДНИХ УМОВ.....	51
4.2. АНАЛІЗ БАЛАНСУ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ.....	57
4.3. ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ.....	60
4.4. ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗЕРВНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ	65
Висновки до розділу 4.....	66
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	67
5.1. РОЗРАХУНОК КАПІТАЛЬНИХ ВИТРАТ	68
5.2. РОЗРАХУНОК ЩОРІЧНОЇ ЕКОНОМІЇ ТА ТЕРМІНУ ОКУПНОСТІ	70
5.3. АНАЛІЗ ДОХОДУ ВІД ПРОДАЖУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА «ЗЕЛЕНИМ» ТАРИФОМ ...	71
5.4. РОЗРАХУНОК СКОРИГОВАНОГО ТЕРМІНУ ОКУПНОСТІ ТА ВИСНОВКИ.....	71
Висновки до розділу 5.....	71
РОЗДІЛ 6 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	73
ВИСНОВКИ.....	79
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80
ДОДАТКИ.....	81
Додаток А Основні кліматичні показники місця розміщення домогосподарства	81
Додаток Б Показники сонячної активності для вибраних днів року	83
Додаток В Показники вітрової активності	90
Додаток Г Специфікація на сонячні модулі VBHN330SJ47/ VBHN325SJ47.....	101
Додаток Д Специфікація вітрогенератора.....	103

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АВР – автоматичне вмикання резерву;

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ВЕУ – вітроенергетична установка;

ДЕС – дизель-електрична станція;

СЕ – сонячний елемент;

СЕС – сонячна електростанція;

ФЕП – фотоелектрична панель;

ВСТУП

Сучасний етап розвитку глобальної та національної енергетики характеризується глибинними трансформаціями, зумовленими комплексом економічних, екологічних та безпекових викликів. Нестримне зростання вартості традиційних енергоносіїв, посилення кліматичних змін та загальна політична нестабільність змушують кардинально переосмислювати підходи до енергозабезпечення на всіх рівнях. Для України ці глобальні тенденції набувають особливої гостроти. Техногенна зношеність централізованих електромереж, їхня вразливість до зовнішніх загроз та періодичні дефіцити генеруючих потужностей ставлять під питання надійність та безперебійність електропостачання, що є базовою умовою комфортного та безпечного життя.

За цих умов концепція енергетичної автономії перестає бути нішевим технологічним рішенням і перетворюється на нагальну практичну потребу, особливо у секторі приватних домогосподарств. Можливість забезпечити себе власною електроенергією, незалежно від стану зовнішніх мереж, стає ключовим фактором енергетичної безпеки та стійкості.

Найбільш перспективним шляхом до досягнення такої автономії є використання відновлюваних джерел енергії. Проте кліматичні особливості України, з їхньою вираженою сезонністю, створюють суттєві перешкоди для ефективного використання сонячних чи вітрових установок окремо. Пікова продуктивність сонячних панелей влітку нівелюється їхнім різким спадом взимку, тоді як вітровий потенціал, навпаки, є найвищим саме в холодну пору року. Ця природна асинхронність наштовхує на очевидне, але технічно складне рішення – створення гібридних систем, здатних комплексно використовувати переваги обох технологій.

Саме тому дослідження, спрямовані на розробку та обґрунтування ефективних гібридних вітросонячних систем для приватних домогосподарств, набувають сьогодні виняткової актуальності. Це не просто задача інженерного проектування, а комплексне науково-технічне завдання, що лежить на перетині енергетики, кліматології та економіки, і вирішення якого здатне запропонувати реальний шлях до енергетичної незалежності для тисяч українських родин.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

1.1. Актуальність питання

Екологічні та енергетичні кризи, а також удари окупантів по енергетичній інфраструктурі зумовлюють необхідність пошуку нових методів виробництва електроенергії, удосконалення наявних технологій і розробки рішень для резервного електропостачання [1]. Пошук нових видів дешевої та чистої енергії є важливим завданням для всього світу. За останні десятиліття найбільшого поширення в альтернативній енергетиці набули сонячні та вітрові електростанції, адже вони працюють на відновлюваних джерелах енергії та не забруднюють атмосферу викидами CO₂ [2].

Окрім масштабних енергетичних систем, що базуються на великих вітрових і сонячних електростанціях, дедалі більшої популярності для забезпечення потреб споживачів набувають малі вітрові турбіни та побутові фотоелектричні установки. Це сприяє децентралізації виробництва електроенергії. Особливо ефективним є їхнє поєднане використання, адже періоди роботи таких пристроїв часто взаємно доповнюють одне одного, що дозволяє краще покривати потреби в енергії. Тому сьогодні для індивідуальних споживачів важливо застосовувати доступні засоби отримання електроенергії з вітрових та сонячних джерел.

Нині у світі відбувається суттєва трансформація енергетичної політики: відхід від застарілих моделей із домінуванням великих виробників, використанням викопного палива, неефективних мереж і обмеженої конкуренції на ринках газу, електроенергії та вугілля. Нова модель передбачає формування більш конкурентного середовища, рівні можливості розвитку та зменшення залежності від одного типу енергогенерації чи способу постачання палива.

При цьому пріоритет надається підвищенню енергоефективності та ширшому використанню альтернативних і відновлюваних джерел. Важливим елементом є й заходи з підвищення надійності енергосистем, що водночас сприяють зниженню викидів в атмосферу та адаптації до кліматичних змін [3].

1.2. Використання сонячної енергії

Сонячна енергія є енергією, яка виробляється з сонячних променів. Сонце є безкоштовним та відновлюваним джерелом енергії, що робить його дуже привабливим для використання у виробництві електроенергії. Сонячні панелі або фотоелектричні панелі (ФЕП) забезпечують генерацію електроенергії з сонячних променів.

Сонячні панелі складаються з багатьох сонячних елементів, які називають фотоелектричними клітинами. Фотоелектричні клітини виробляють електричний струм, коли на них падають сонячні промені. Ці клітини виготовляються з напівпровідників, які мають властивість перетворювати світло в електричний струм. Сонячні панелі складаються з багатьох фотоелектричних клітин, які зв'язуються між собою, щоб створити панель.

Сонячна енергія може бути використана для виробництва електроенергії, тепла та гарячої води. В основі використання сонячної енергії лежить збір сонячної енергії за допомогою сонячних колекторів або сонячних панелей, що перетворюють сонячну енергію на електричний струм [4].

Сонячні колектори використовуються для збору тепла. Це може бути використано для опалення будинку або підігріву води в бойлері. Сонячні колектори містять трубки з чорними або темними матеріалами, які нагріваються внаслідок сонячних променів. Вода або інший теплоносій потім протікає цими трубками, нагрівається і може бути використана для опалення будинку або підігріву води.

Сонячні панелі використовуються для генерації електричної енергії. Сонячні панелі можна встановити на даху будинку або на землі, а їхній виробництво залежить від кількості сонячних променів, які падають на панелі. Коли сонячні промені падають на сонячну панель, фотоелектричні клітини перетворюють сонячну енергію на

електричний струм, який потім може бути використаний для живлення електричних приладів у будинку або для передачі енергії до електромережі.

Одна з переваг сонячної енергії полягає в тому, що вона є безшумною та не виробляє шкідливих викидів в атмосферу. Крім того, використання сонячної енергії дозволяє знизити залежність від традиційних джерел енергії, таких як вугілля та нафта.

Однак, використання сонячної енергії також має свої недоліки. Один з них полягає в тому, що сонячні панелі та сонячні колектори є досить дорогими технологіями, що можуть заборонити їх використання для деяких людей або країн. Крім того, ефективність сонячної енергії залежить від кліматичних умов та часу доби, коли сонце світить найяскравіше.

У загальному, сонячна енергія є важливим джерелом енергії, яке може бути використано для виробництва електроенергії, тепла та гарячої води.

1.3. Перспективні технології сонячної енергетики

У процесі багаторічного розвитку фотовольтаїки було створено різні типи сонячних батарей, які умовно поділяють на три покоління технологій: кремнієві (перше покоління), тонкоплівкові (друге покоління) та органічні (третє покоління). Кожен різновид сонячних елементів (СЕ) має власні особливості — рівень ефективності, вартість виробництва, тривалість експлуатації та специфіку отримання й модифікації матеріалів. Головна увага приділяється саме матеріалам, що здатні ефективно поглинати світло: від неорганічних моно- та полікристалічних напівпровідників до органічних, полімерних та гібридних структур. Досягнення необхідної ефективності перетворення сонячного випромінювання на електричну енергію можливе лише за умови правильної комбінації всіх складових сонячної батареї [5].

За даними Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (IRENA), технології першого покоління й надалі залишаються головним рушієм розвитку сонячної фотоелектричної галузі та й досі займають переважну частку ринку — близько 95% [6]. Тандемні та перовскітові технології також відкривають перспективні можливості,

проте для їхнього виходу на масове виробництво необхідно вирішити питання вартості та довговічності сонячних комірок. Оптимізація архітектури комірок дала змогу підвищити ефективність, зокрема завдяки використанню двосторонніх (bifacial) комірок і модулів, а також технології PERC (Passivated Emitter Rear Cell) із пасивованим діелектричним шаром на зворотному боці. Додатково результативність підсилюється поєднанням із сучасними інноваціями, такими як половинчасті комірки (half-cut cells) та інші рішення (рис. 1.1).

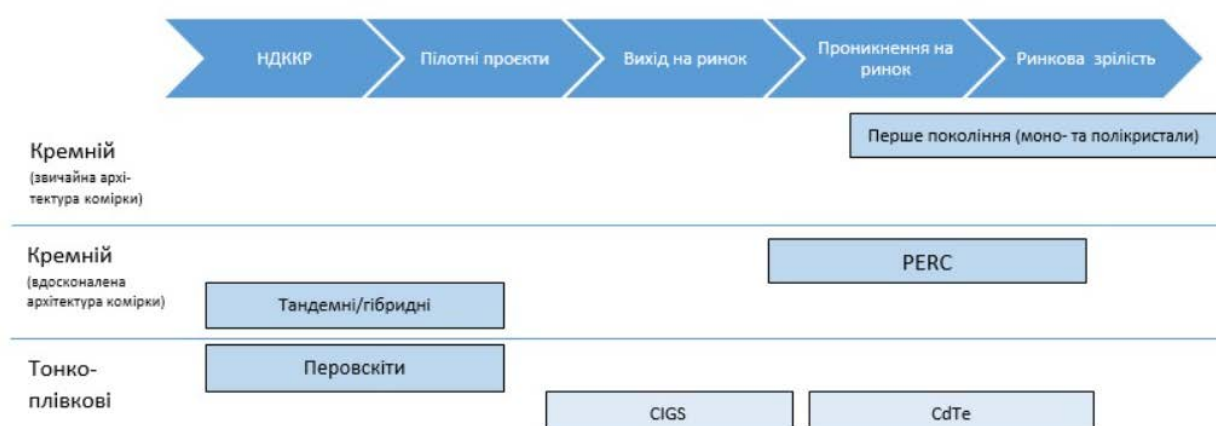


Рис. 1.1. Стадії розвитку сонячних фотоелектричних технологій (Solar PV)

Сонячні електростанції (СЕС) є одним із ключових напрямів відновлюваної енергетики, що активно розвивається у світі. Попри значне підвищення ефективності сонячних панелей упродовж останніх десятиліть, виробники продовжують вдосконалювати їхні характеристики, і ця тенденція, за прогнозами, збережеться щонайменше до 2030 року. Сьогодні переважна більшість сонячних батарей виготовляється з монокристалічного кремнію, який забезпечує вищу ефективність завдяки меншій кількості дефектів у порівнянні з полікристалічним. Монокремній займає близько 80% ринку, тоді як частка полікристалічного скоротилася до 20% і має тенденцію до зникнення.

Альтернативою традиційним рішенням стали тонкоплівкові технології другого покоління, в яких напівпровідникові шари мають товщину лише кілька мікрометрів. Вони поділяються на кремнієві (аморфний і мікроаморфний кремній) та безкремнієві (перовскіти, CdTe, CIGS). Їхньою перевагою є дешевше виробництво, проте рівень ефективності нижчий. Активне впровадження тонкоплівкових технологій розпоча-

лося у 2006 році, коли через дефіцит і високу вартість кремнію вони виявилися вигіднішими. Проте здешевлення кремнію у 2012 році зумовило різке зменшення їхньої частки на ринку: сьогодні тонкоплівкові модулі становлять близько 5%, тоді як кремнієві — близько 95%.

Особливу увагу привертають перовскітні технології, які демонструють стрімке зростання ефективності: від 3,8% у 2009 році до понад 24% у 2018-му. Перовскіти відзначаються дешевим та простим виробництвом, але мають проблеми з довговічністю через чутливість до вологи, а також із масштабуванням: високих показників ККД вдалося досягти лише для малих комірок. У разі вирішення цих проблем вони можуть радикально змінити ринок завдяки низькій собівартості та простішим технологічним вимогам порівняно з кремнієм.

Ще однією сучасною розробкою є технологія PERC (Passivated Emitter and Rear Cell), яка базується на використанні пасивованого шару на зворотній стороні комірки. Це дозволяє зменшити рекомбінацію електронів, покращити поглинання світла та відбивну здатність, що підвищує загальну ефективність. Комерційні модулі PERC вже досягли ефективності 23–24%. Значною перевагою є можливість двостороннього використання, коли панелі генерують енергію з обох боків. Сьогодні близько чверті нових сонячних панелей виготовляється за цією технологією, що пояснюється відсутністю зростання вартості при істотному підвищенні продуктивності.

Окремий сегмент ринку займають комірки CIGS (на основі міді, індію, галію та селеніду) з ефективністю до 22,9%. Їхня основна проблема — обмеженість індію та складність масштабного виробництва. Конкуренцію їм складають CdTe-комірки (телурид кадмію), які демонструють ефективність близько 21% та відзначаються високим рівнем поглинання випромінювання при низькій вартості виготовлення. Нині саме CdTe є найпоширенішою серед усіх тонкоплівкових технологій [22].

1.4. Класифікація вітроенергетичних установок

У загальному вигляді вітроенергетична установка (ВЕУ) — це комплекс обладнання та споруд, що працюють у взаємозв'язку й призначені для перетворення енергії

вітру в інші види енергії. Основними її складовими є вітроагрегат і вітродвигун. Вітроагрегат виступає головною частиною установки й включає в себе вітродвигун, систему передачі енергії від вітру до споживача та сам пристрій-споживач (наприклад, електрогенератор, водяний насос чи нагрівач). Вітродвигун виконує функцію перетворення кінетичної енергії вітру в механічну енергію робочого руху. Цей рух може мати різні форми, проте в сучасних установках переважає обертальний рух, хоча іноді пропонуються й інші варіанти, зокрема коливальні.

Принцип роботи всіх ВЕУ однаковий: потік вітру змушує обертатися вітроколесо з лопатями, яке створює крутильний момент і через систему передач передає його валу генератора, де енергія перетворюється на електричну.

Залежно від конструкції розрізняють два основні типи вітроустановок — із горизонтальною та вертикальною віссю обертання [7].

Конструктивна схема ВЕУ з горизонтальною віссю наведена на рис. 1.2. Основними елементами установки є вітроприймальний пристрій (лопати), редуктор передачі крутильного моменту до електрогенератора, електрогенератор і башта.

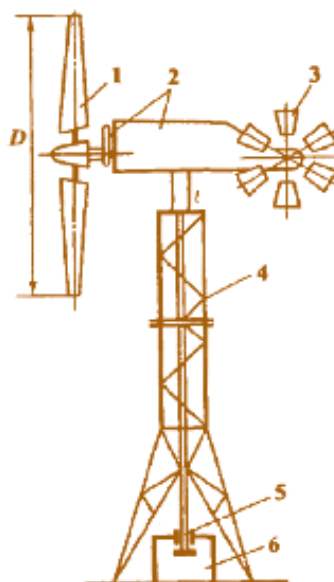


Рис.1.2. Конструктивна схема ВЕУ з горизонтальною віссю обертання:

1 – робоча лопать; 2 – трансмісія; 3 – віндро́за; 4 – башта; 5 – вал відбору потужності; 6 – електрогенератор

Вітроприймальний механізм разом із редуктором утворюють вітродвигун. Завдяки особливій формі лопатей у повітряному потоці виникають асиметричні сили, що створюють крутний момент.

Сьогодні найбільш поширеними є горизонтально-осьові пропелерні вітроустановки, які працюють на основі підйомної сили лопатей. Вони вважаються ефективнішими завдяки високому коефіцієнту використання енергії вітру ($\rho_c = 0,35 \dots 0,45$), достатньому пусковому моменту та здатності швидко входити в робочий режим при швидкості вітру 3–5 м/с.

Вітроустановки з вертикальною віссю обертання мають власні переваги порівняно з горизонтальними. Для них немає потреби у системах орієнтації на напрям вітру, конструкція є простішою, а гіроскопічні навантаження на лопаті, систему передачі та інші елементи значно менші. Крім того, у таких установках можна розташувати редуктор і генератор у нижній частині башти, що полегшує обслуговування.

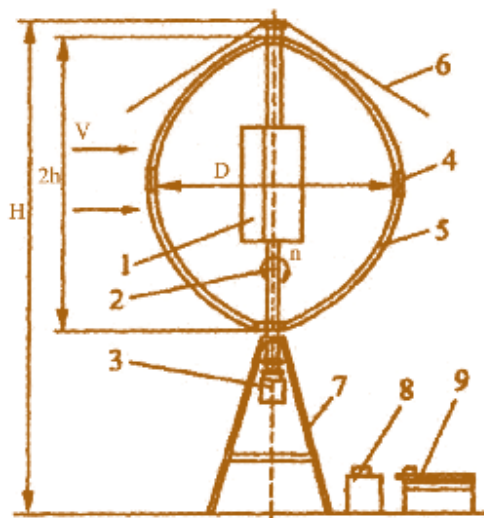


Рис.1.3. Конструктивна схема ВЕУ з вертикальною віссю обертання:

1 – стартер (ротор Савоніуса); 2 – вісь; 3 – електрогенератор; 4 – гальмівний пристрій; 5 – робоча лопать; 6 – розтяжка; 7 – рама; 8 – перетворювач напруги; 9 – акумулятор; V – швидкість вітру; H – висота вітроустановки; h – половина висоти робочої лопаті; n – швидкість обертання робочої лопаті; D – діаметр розгортки лопатей

До недоліків вітроустановок з вертикальною віссю можна віднести такі:

– значно вища схильність до втомних руйнувань, що спричиняється автоколивальними процесами, які виникають доволі часто;

– наявність пульсацій крутного моменту, що викликає коливання потужності та інших параметрів генераторів;

– за результатами останніх випробувань ВЕУ типу Дар'є та Н-ротора потужністю 5 МВт встановлено, що основною слабкою ланкою є підп'ятник-підшипник головного валу. Саме його руйнування стало причиною припинення проєктів зі створення потужних вертикально-осьових вітроустановок, тоді як розробки установок малої потужності успішно продовжуються.

Залежно від потужності генератора вітроустановки поділяються на класи, їхні параметри та призначення наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Класифікація вітроустановок

Клас устано- вки	Потужність, МВт	Діаметр ко- леса, м	Кількість лопатеї	Призначення
Малої потуж- ності	До 0,1	3 – 10	3 – 2	Зарядка акумуляторів, насоси, побутові пот- реби
Середньої потужності	Більше 0,1 до 1,0	25 – 44	3 – 2	Енергетика
Великої по- тужності	Більше 1,0	>45	3 – 2	Енергетика

1.5. Схеми генерації енергії вітроенергетичними установками

Можливі технологічні схеми ефективного отримання електричної енергії за рахунок енергії вітру для автономної, мережевої та комбінованої схеми ВЕУ подано на рис. 1.4-1.10 [8].

Схеми 1.4-1.5 стосуються генерування електроенергії постійного струму. Як основний генеруючий засіб може бути використано генератор постійного або змінного струму. У разі використання генератора змінного струму його обладнують випрямлячем. Вироблена енергії подається через контролер на акумулятор або безпосередньо до споживачів.

Основною перевагою цього способу генерування електроенергії є відсутність потреби в регулюванні частоти обертання ротора.

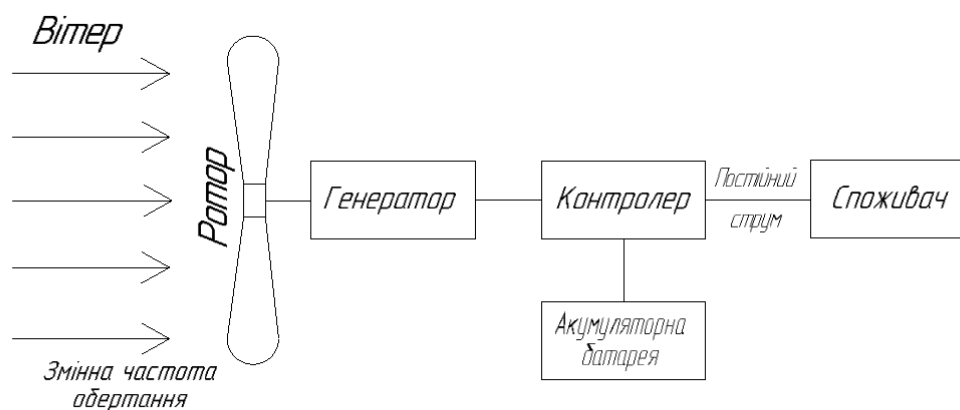


Рис.1.4. Вітроелектрична установка постійного струму без баластного навантаження

У разі необхідності живлення автономного споживача змінним струмом до складу системи вводиться інвертор (рис. 1.6). В такому разі частота обертання вітроколеса не має визначального значення, оскільки генератор навантажується на акумулятор, а з акумулятора здійснюється відбір потужності до споживача.

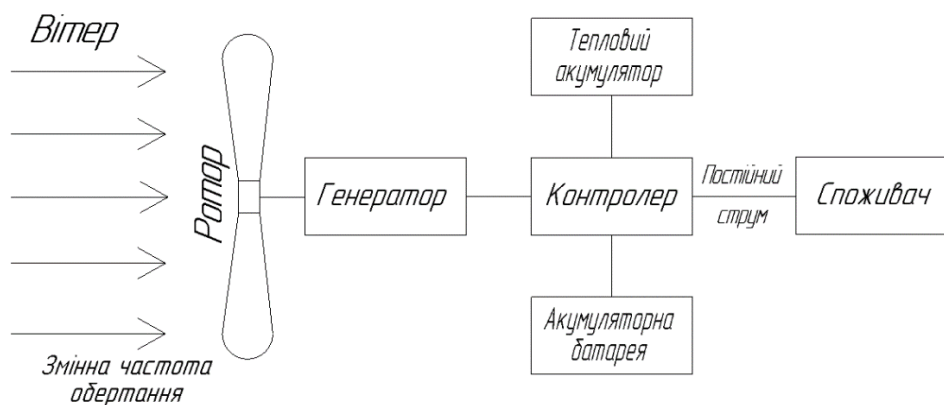


Рис.1.5. Вітроелектрична установка постійного струму з баластним навантаженням

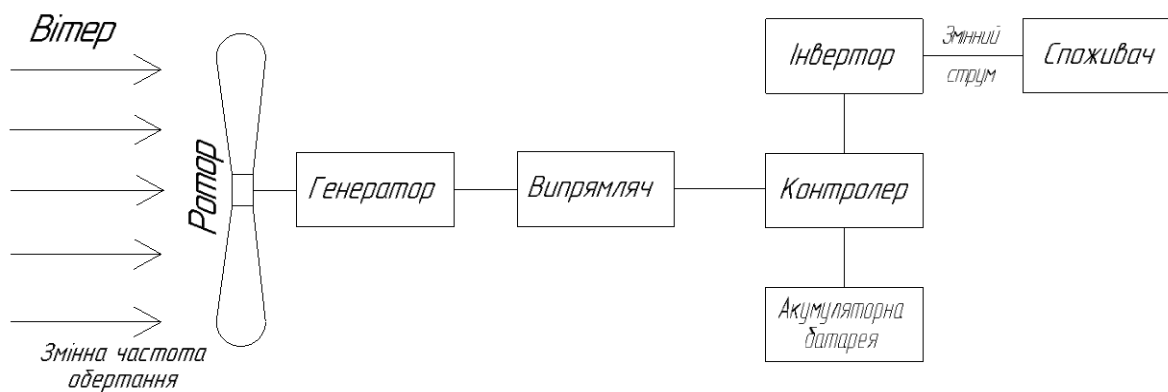


Рис.1.6. Вітроелектрична установка змінного струму

При побудові вітроустановки для роботи на електричну мережу її конструкція максимально проста (рис. 1.7). В цьому випадку необхідною умовою є постійна частота обертання ротора при використанні синхронного генератора або близька до постійної при використанні асинхронного генератора.

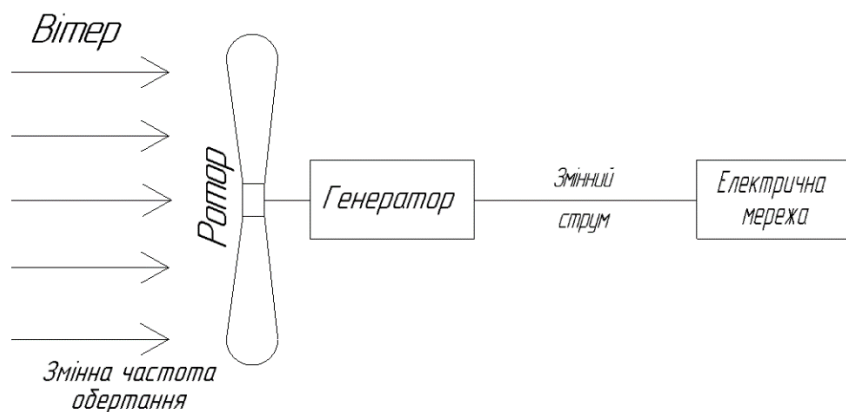


Рис.1.7. Мережева вітроелектрична установка змінного струму

Введення до структури вітроелектричної установки ланки постійного струму позбавляє необхідності регулювання частоти обертання ротора, а синхронізація з мережею здійснюється мережевим інвертором (рис. 1.8).

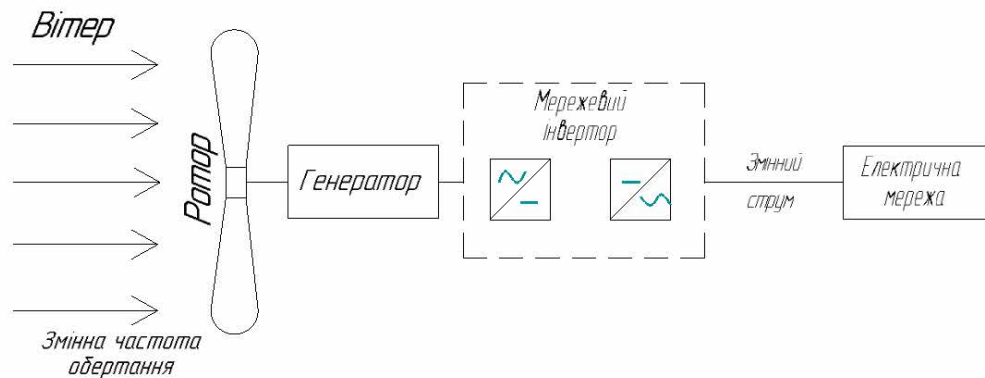


Рис.1.8. Мережева вітроелектрична установка змінного струму з ланкою постійного струму

Використовуються також комбіновані електрогенерувальні системи.

У схемі на рис. 1.9 вітроустановка використовується як основне джерело електроенергії. В якості резерву може бути використано дизель-генератор і/або зовнішня електрична мережа. Перемикання між джерелами здійснюється за допомогою АВР. При використанні лише дизель-генератора система може працювати в автономному режимі без приєднання до електричної мережі.

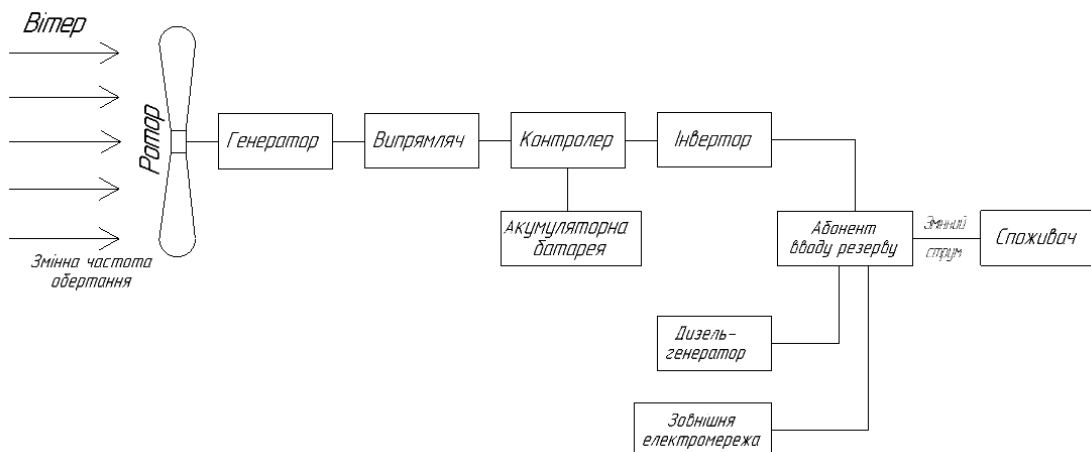


Рис. 1.9. Автономна гібридна система, побудована на базі вітроелектричної установки з додатковими джерелами енергії

Система зображена на рис. 1.10 відноситься до автономних з гібридною структурою. Вітроелектрична установка використовується як основне джерело електроенергії, а фотоелектрична установка – як додаткове джерело.

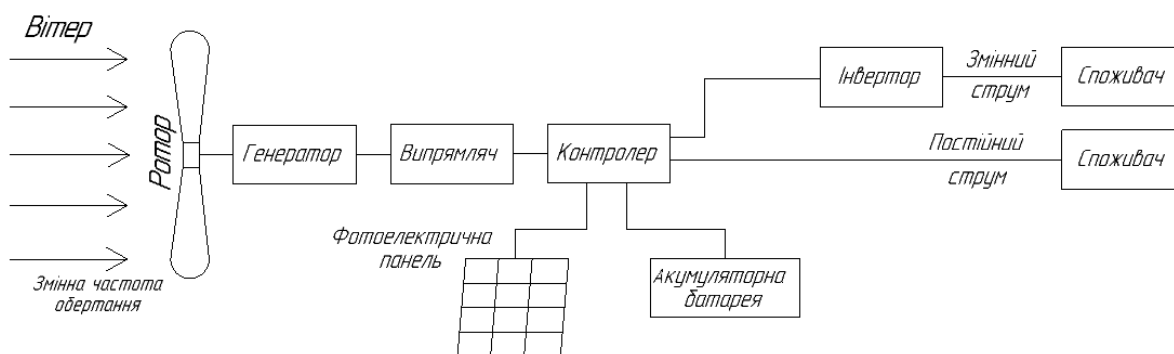


Рис.1.10. Автономна гібридна вітро-сонячна система електропостачання

Висновки по розділу 1

Кожне відновлюване джерело енергії має як сильні сторони, так і недоліки.

Основна перевага сонячної енергії полягає в тому, що сонячне світло є практично невичерпним ресурсом. Вона доступна для всіх, проте виникають сумніви щодо її повної екологічної безпеки. Сучасне виробництво сонячних батарей потребує використання токсичних речовин, які можуть шкодити довкіллю. У готових модулях (фотоелементах) часто містяться небезпечні елементи — свинець, кадмій, галій, миш'як. Крім того, після закінчення терміну служби сонячних панелей (30–50 років) постає проблема їх утилізації, адже ефективного способу переробки наразі не знайдено.

Суттєвим мінусом сонячної енергетики є нестабільність виробництва електроенергії. Панелі не працюють уночі, а на світанку й у вечірніх сутінках їхня ефективність знижується у кілька разів. Впливають і погодні умови. До цього додаються висока вартість обладнання, невисока економічна ефективність та складність технічного

обслуговування. Ще однією проблемою є перегрів фотоелементів, який значно зменшує продуктивність системи, тому розробники змушені шукати рішення для їх охолодження.

Отже, навіть ця на перший погляд ідеальна технологія має низку проблем. Проте завдяки швидкому розвитку науки й техніки можна очікувати поступове усунення більшості недоліків у майбутньому.

Вітроенергетичні установки (ВЕУ) поділяють на системи з горизонтальною та вертикальною віссю обертання. Найбільш поширеними є установки з горизонтальною віссю, однак вертикальні мають певні переваги: вони не потребують механізмів орієнтації на вітер, мають простішу конструкцію, менші навантаження, а також можливість розміщення редуктора й генератора в основі башти.

Ефективність ВЕУ безпосередньо залежить від швидкості вітру, яка є мінливою, тому електрогенерація у таких системах нестабільна. Для узгодження роботи з електромережею необхідне регулювання потужності.

Сьогодні існують технічні рішення, що дозволяють ефективно використовувати вітер для отримання електроенергії в автономних, мережевих та комбінованих системах. Залежно від потреб можлива генерація як змінного, так і постійного струму з використанням різних типів генераторів та допоміжних елементів.

Для підвищення надійності енергопостачання житлових господарств застосовуються комплексні системи, які поєднують сонячні батареї та вітроустановки. Додатковим резервним джерелом у таких схемах виступає дизельна електростанція (ДЕС).

Продовження таблиці 2.2

Показник	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Сумарно за рік
Інсоляція горизонтальної поверхні, кВт-год/м ² /день													
Дифузна горизонтальна радіація, кВт-год/м ² /день													
Позаземне випромінювання, кВт-год/м ² /день													
Коефіцієнт прозорості атмосфери													
Середньомісячна температура, °С													
Швидкість вітру, м/с													

Показники сонячної активності для вибраних днів року приведено в додатку Б. Показники вітрової активності для вибраних днів року приведені в додатку В. Дані отримано за допомогою програмного забезпечення PVSystem.

2.2. Характеристика домогосподарства та електроспоживання

В даній роботі метою є розрахунок та проектування вітросонячної електричної станції для домогосподарства в м. Черкаси. Вітроелектрична установка розміщується у підвір'ї домогосподарства. Сонячна електростанція розміщується на даху приватного будинку. Тривимірна модель будинку з вказаними ефективними розмірами даху та кутами нахилу скатів представлена на рис. 2.1

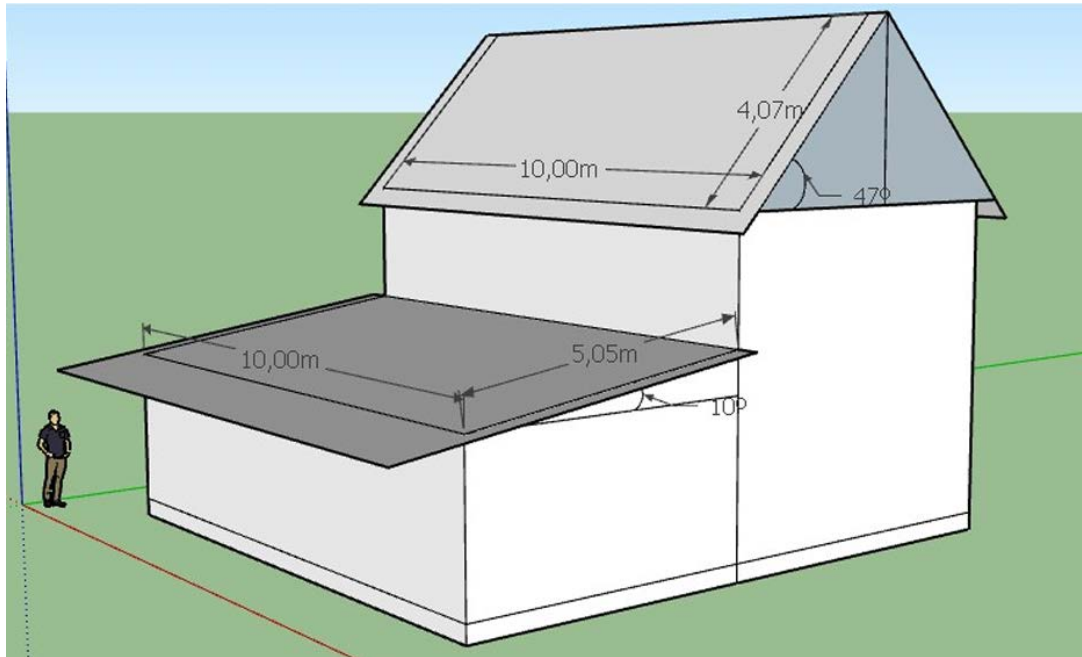


Рис 2.1. Тривимірна модель будинку

Як видно з рисунку, сонячна станція буде складатися з двох фото полів, що мають південну орієнтацію, але різні кути нахилу відносно горизонтальної поверхні. Поверхні сонячних полів не будуть затінятися в ході експлуатації.

Кут нахилу одного скату становить 10° . Площа скату

$$S_1 = 10 \cdot 5,05 = 50,5 \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

Кут нахилу одного скату становить 47° . Площа скату

$$S_2 = 10 \cdot 4,07 = 40,7 \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

Загальна площа сонячних полів становить

$$S = S_1 + S_2 = 50,5 + 40,7 = 91,2 \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

Проаналізуємо все навантаження змінного струму із зазначенням його номінальної потужності. Помноживши потужність на середнє число годин роботи в тиждень

для кожного приладу, отримаємо значення споживаної енергії змінного струму в тиждень. Значення енергії, що споживається приладами подані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.3

Навантаження електроспоживачів

№	Навантаження змінного струму	кВт * год / тиждень
1	Освітлення	16,8
2	НВЧ піч	2,1
3	Чайник	7
4	Інші кухонні пристрої	4,97
5	Холодильник	4,2
6	Телевізор	1,4
7	Комп'ютер	6,3
8	Кондиціонер	5,6
9	Порохотяг	2,1
10	Фен	0,7
11	Пральна машина	8,4
12	Праска	2,1
13	Інструменти	2,1
Усього		63,77

Графіки розподілу потужності показані на рис. 2.2- 2.6.

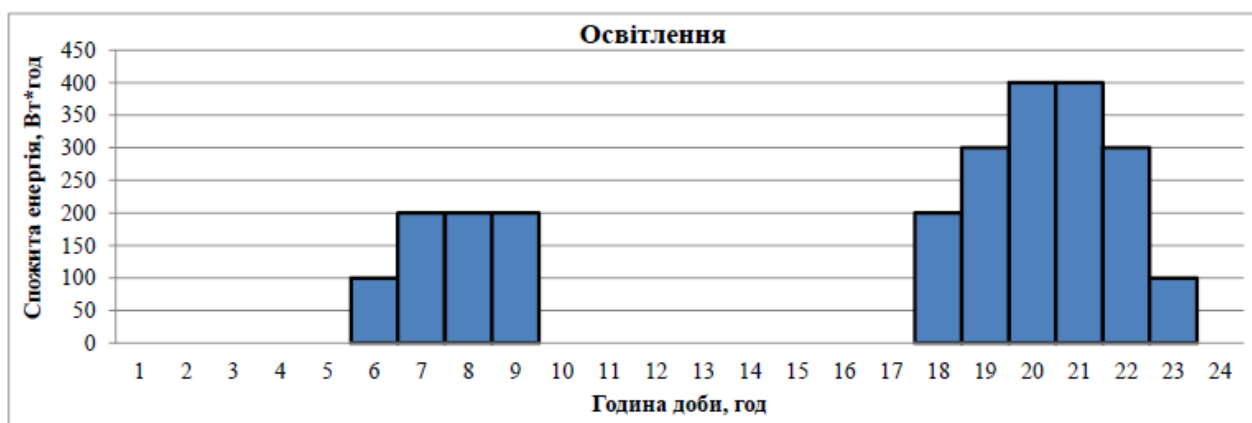


Рис. 2.2. Графік розподілу потужності

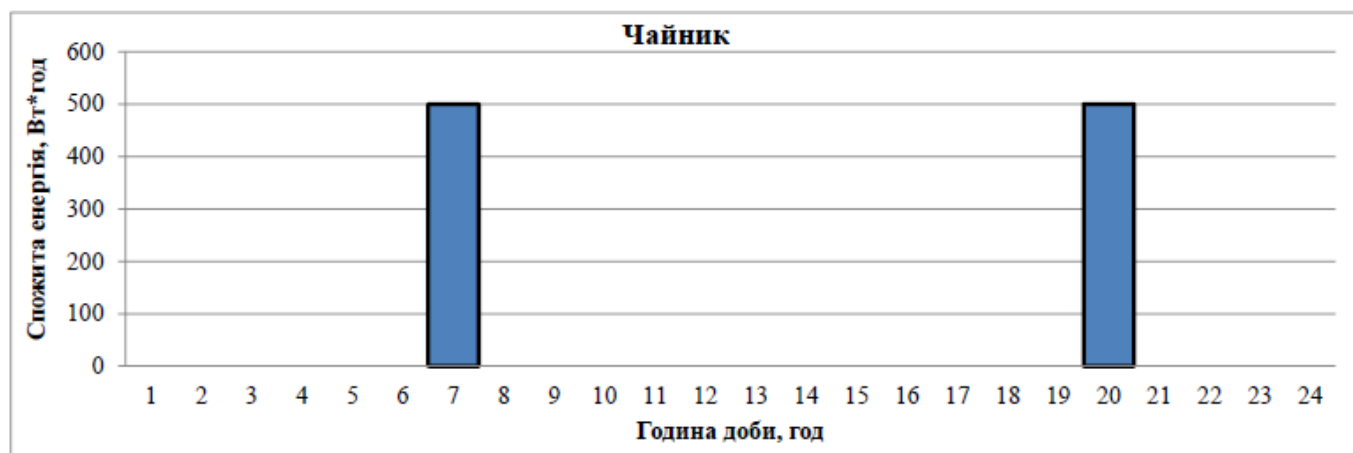
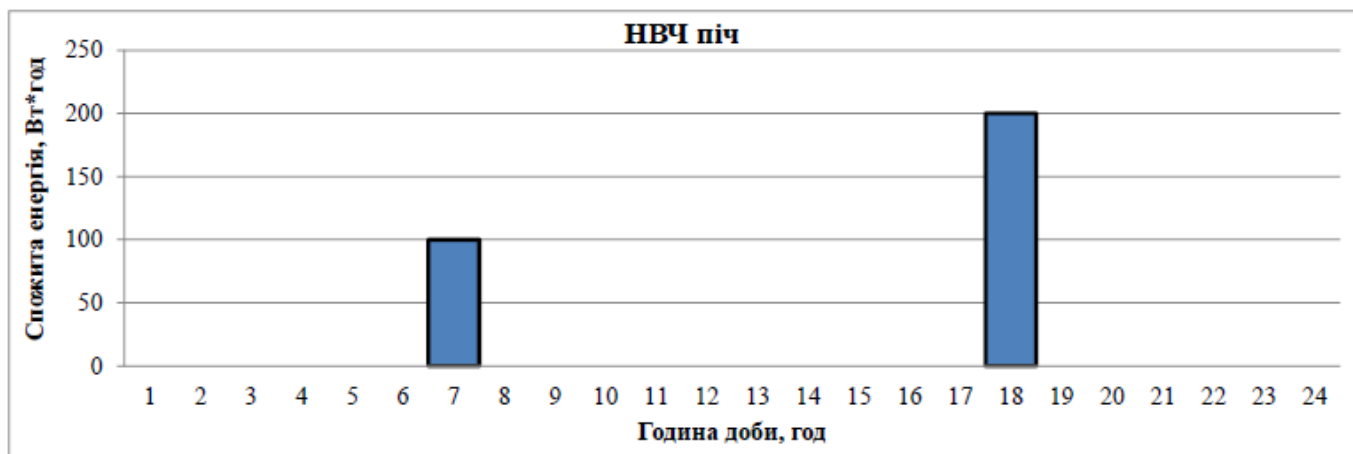


Рис. 2.3. Графіки розподілу спожитої потужності

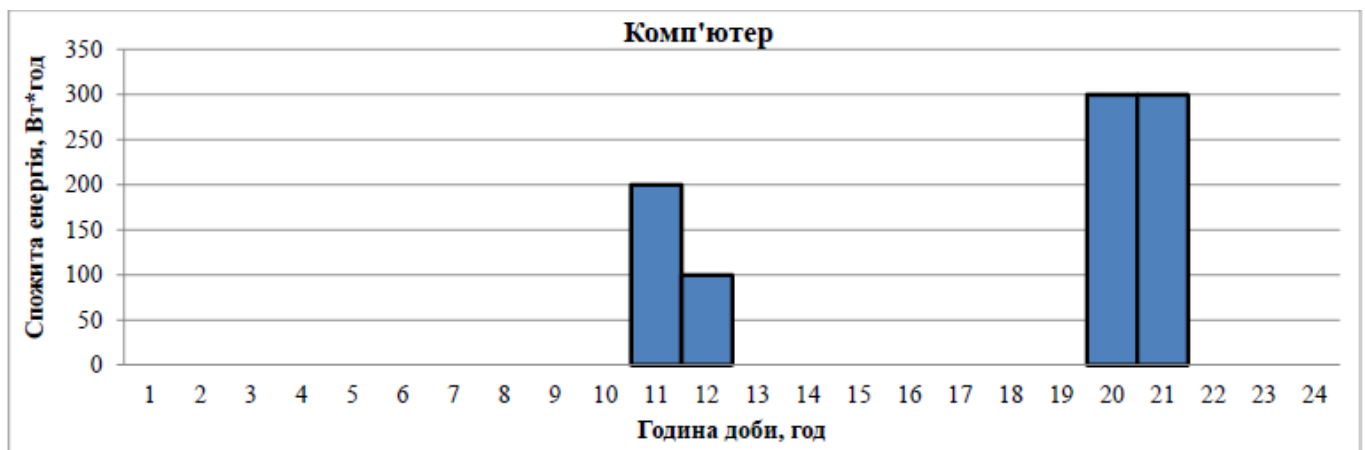
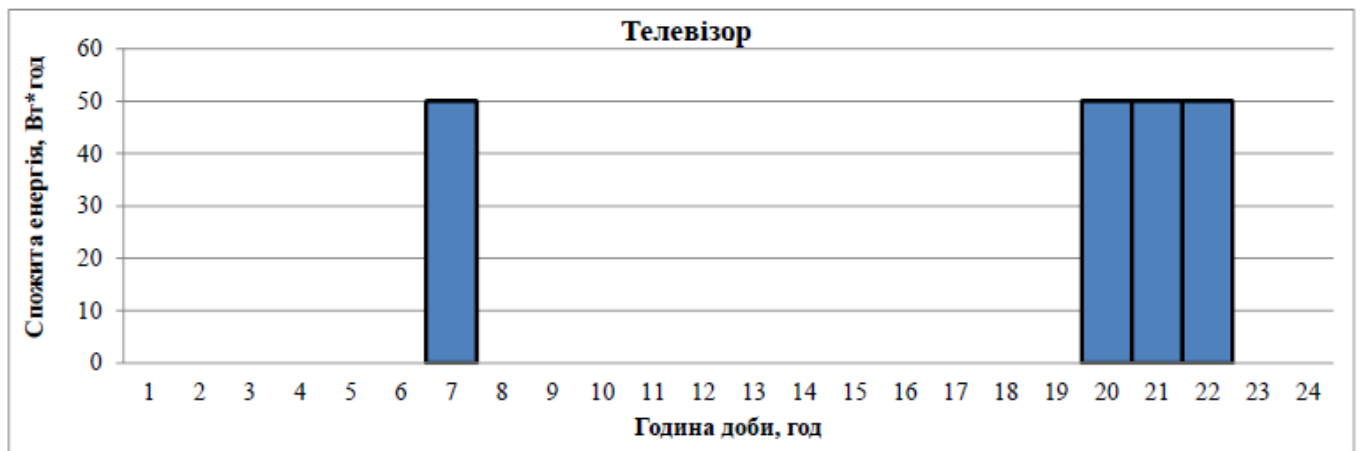


Рис. 2.4. Графіки розподілу спожитої потужності

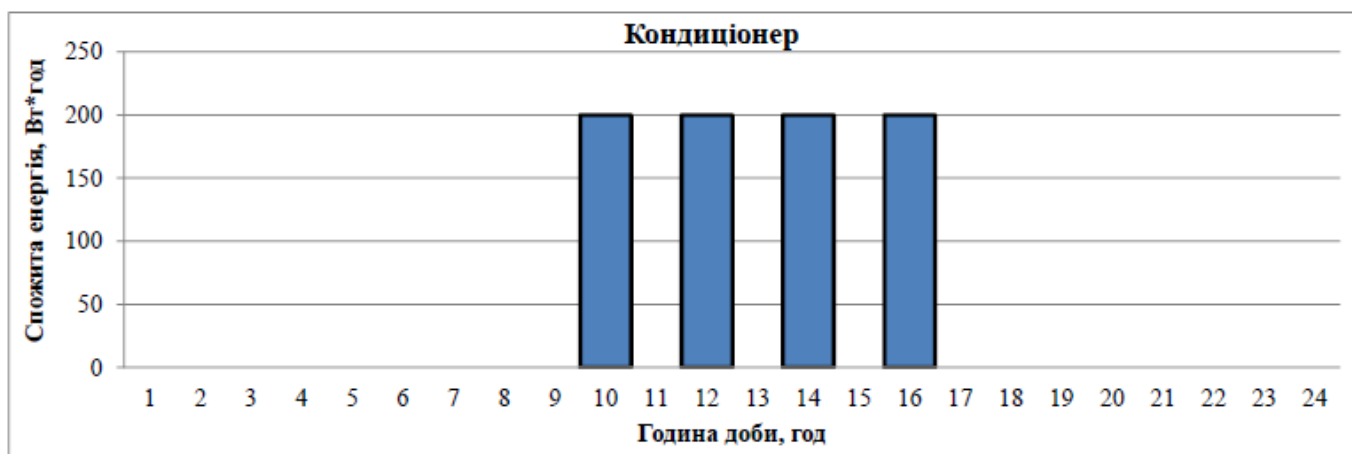


Рис. 2.5. Графіки розподілу спожитої потужності

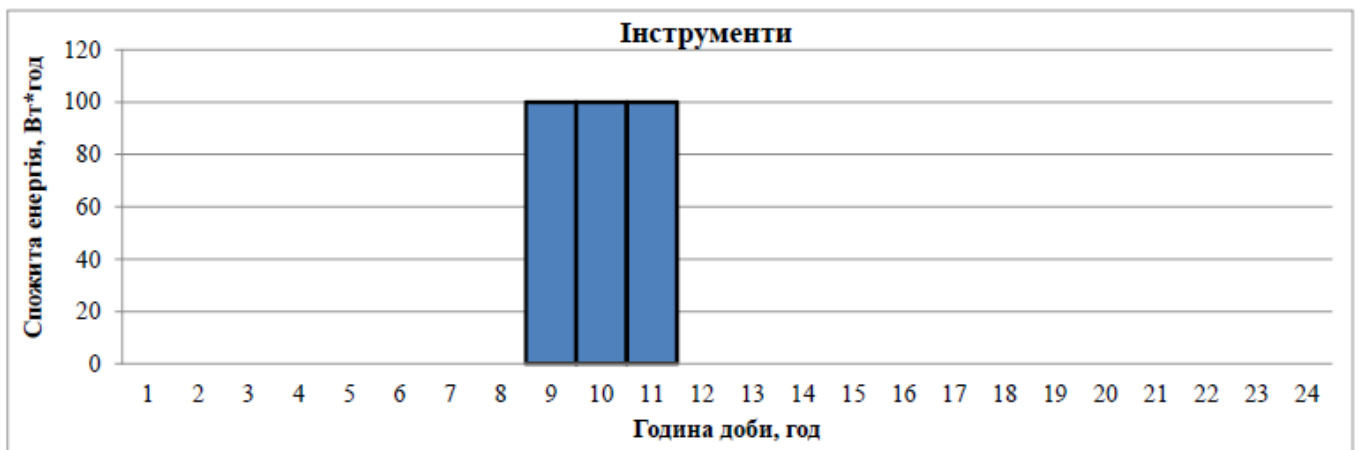
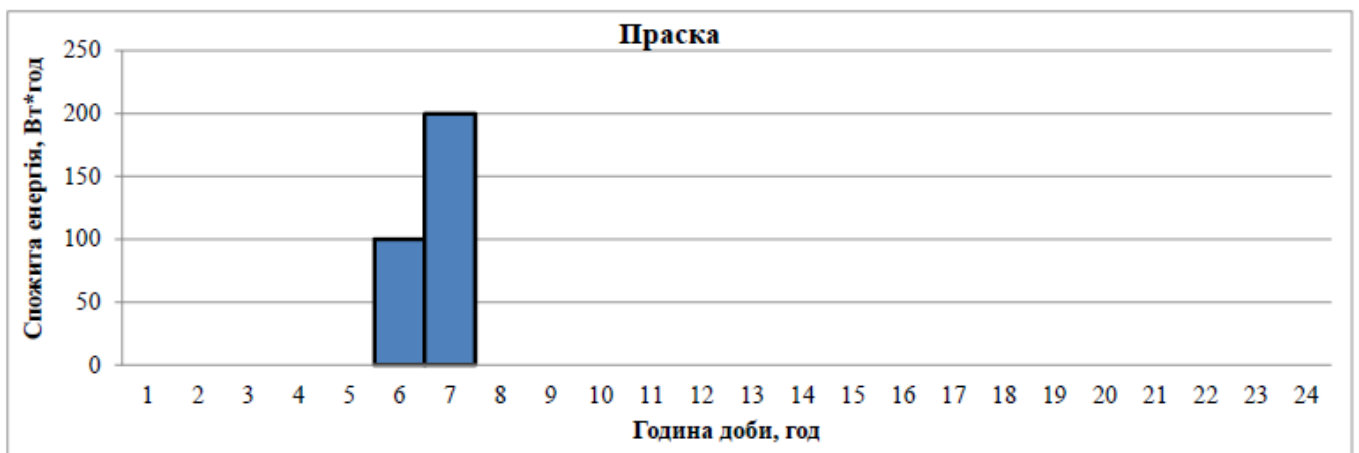


Рис. 2.6. Графіки розподілу спожитої потужності

Сумарна споживана потужність впродовж доби наведена на рис. 2.7.

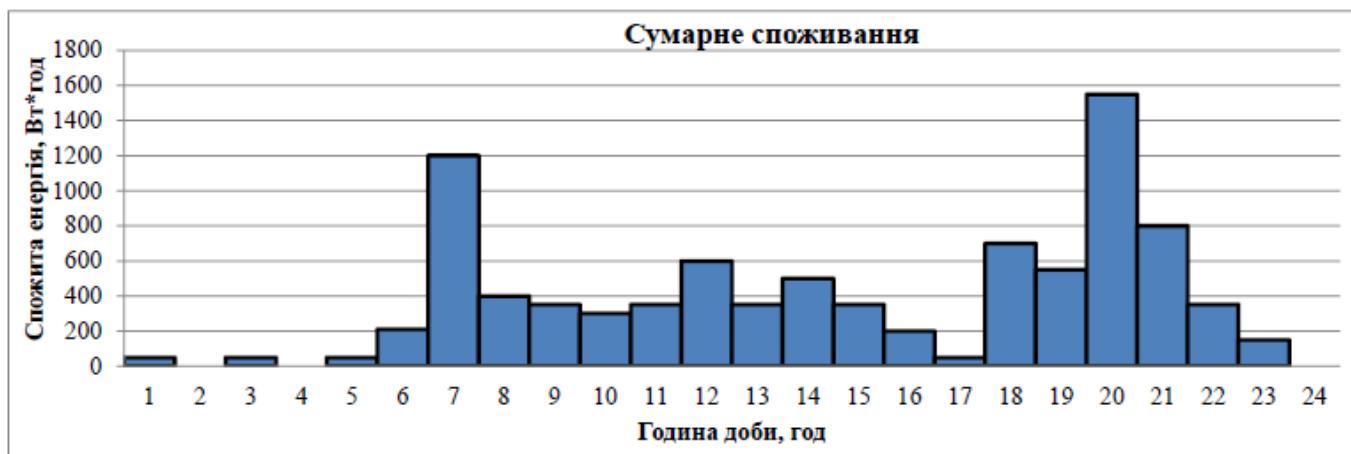


Рис. 2.7. Графіки розподілу сумарної спожитої потужності

Як видно з рисунку 2.7 протягом доби виділяється два максимуми споживання електроенергії – вранці та ввечері.

Висновки до розділу 2

1. Для забезпечення надійного та якісного електропостачання, в системі електропостачання з використанням відновлюваних джерел використано поєднання фотоелектричної системи з вітроелектроустановкою
2. Наведено опис будинку домогосподарства, у якому пропонується впровадити систему електропостачання на основі вітросонячної електроустановки.
3. Проведено аналіз електричних споживачів змінного струму в будинку. На основі добових графіків споживання встановлено, що «будинок» споживає 63,77 кВт-год на тиждень.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

3.1. Вибір фотоелектричних перетворювачів

Згідно розрахунку вибрані фотоелектричні перетворювачі українського виробника марки Panasonic (Додаток Г). Особливості даних панелей (рис. 3.1):

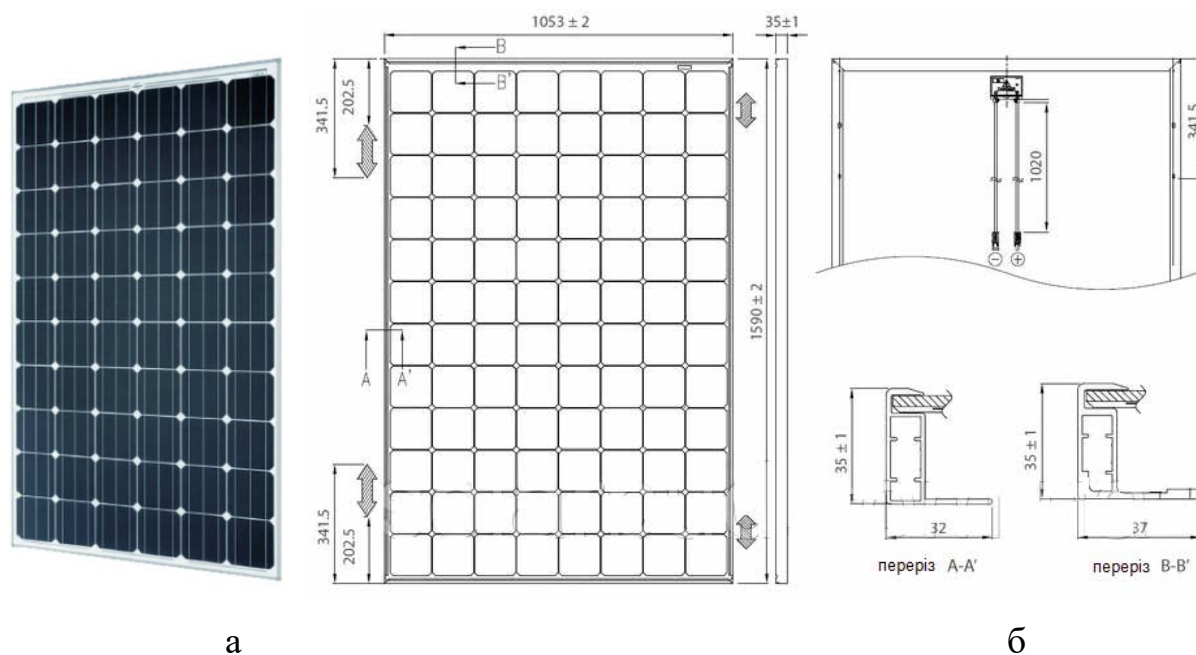


Рис. 3.1. Загальний вигляд (а) та габарити (б) фотоелектричних перетворювачів марки Panasonic.

Фотомодулі Panasonic складаються з унікальних гібридних фотоелементів НІТ, які суміщають шари різних видів кремнію: ультратонкого аморфного і високо-ефективного монокристалічного. Шар нелегованого аморфного кремнію розташований в НІТ осередку між монокристалічною кремнієвою пластиною і зарядженими аморфними кремнієвими шарами. У порівнянні зі звичайними кремнієвими сонячними осередками, структура НІТ мінімізує дефектну область осередків, що значно зменшує втрату потужності. Завдяки дуже низькому температурному коефіцієнту при підвищенні температури сонячний модуль НІТ буде виробляти на 10% більше електроенергії, ніж звичайні сонячні модулі при такій же робочій температурі.

Відмінна продуктивність при низькому рівні освітлення завдяки невідбиваючому склу з пірамідальною текстурою.

Переваги фотомодулів НІТ:

Унікальна технологія – гібридна сонячна панель з ККД понад 19%;

Висока ефективність, навіть при високих температурах завдяки дуже низькому температурному коефіцієнту;

Низький рівень довгострокової деградації завдяки відсутності ефекту сонячного насичення;

Менша схильність до мікротріщин;

Висока надійність, підтверджена сертифікатами;

15 років гарантії на матеріали;

Допуск до + 10%.

Фотоелектричні перетворювачі виконані у вигляді панелі, вмонтованій в каркас з алюмінієвого профілю. Панеллю є фотоелектричний генератор, що складається із скляної плити, з тильного боку якої між двома шарами герметизуючої (що ламінує) плівки розміщені фотоелектричні елементи, що електрично сполучені між собою металевими шинами. Нижній шар герметизуючої плівки захищений від зовнішніх дій шаром захисної плівки.

До внутрішньої сторони корпусу модуля прикріплений блок терміналів, під кришкою якого розміщені електричні контакти, призначені для підключення модуля. Фотоелектричні елементи поділяються на види, розглянемо їх відзнаки.

Залежно від того, яким чином організовані атоми кремнію в кристалі, фотоелектричні елементи поділяються на види: фотоелектричні елементи з монокристалічного кремнію; фотоелектричні елементи з полікристалічного кремнію; фотоелектричні елементи з аморфного кремнію.

Монокристалічні елементи мають найвищу ефективність перетворення енергії. Основний матеріал – дуже чистий кремній, з якого виготовлені монокристалічні фотоелектричні панелі, добре освоєний в області виробництва напівпровідників. Диски

кремнієвого монокристалу піддаються ряду виробничих операцій, таких як: обточування, шліфовка і очищення; накладення захисних покриттів; металізація; антирефлексійне покриття. ККД монокристалічних батарей – 14-17%.

Фотоелектричні модулі з полікристалічного кремнію. Виробництво полікристалічних панелей менш енергоємне і значно дешевше. Проте усередині кристала полікристалічного кремнію є області, що відокремлені зернистими кордонами, викликають меншу ефективність елементів. Кремній, отримуваний для полікристалічних сонячних батарей, яскраво синього кольору. ККД полікристалічних батарей – 10-12%.

Фотоелектричні модулі з аморфного кремнію. Аморфний кремій виробляють за допомогою «техніки випарної фази», коли тонка плівка кремнію осідає на матеріал і захищається покриттям. Ця технологія має ряд недоліків і переваг: процес виробництва Фотоелектричних панелей на основі аморфного кремнію відносно простий і недорогий; можливе виробництво елементів великої площі; низьке енергоспоживання при виробництві. Проте ефективність перетворення значно нижча, ніж в кристалічних елементах; елементи схильні до процесу деградації. ККД батарей з аморфного кремнію – 5-6%.

Електричні характеристики фотоелектричних перетворювачів за умови випромінювання 1000 Вт/м^2 , при температурі $25 \text{ }^\circ\text{C}$ подано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Електричні характеристики при стандартних умовах STS

Модель		VBHN325SJ47	VBHN330SJ47
Потужність	Вт	325	330
Кількість комірок	шт	96 (12*8)	96 (12*8)
Напруга максимальної потужності	В	57,6	58

Струм максимальної потужності	А	5,65	5,70
Напруга холостого ходу	В	69,6	69,7
Струм короткого замикання	А	6,03	6,07
Допустиме відхилення потужності	%	0...+10	0...+10
ККД фотомодуля	%	19,4	19,7
Температурний коефіцієнт максимальної потужності	%/°С	-0,29	-0,29
Температурний коефіцієнт напруги холостого ходу	В/°С	0,174	0,174
Температурний коефіцієнт струму короткого замикання	мА/°С	1,81	1,82
Вага модуля	кг	18,5	18,5
Габаритні розміри	мм	1590*1053*35	1590*1053*35
Вітрові і сніжні навантаження	Па	2400	2400

Таблиця 3.1 з параметрами фотоелектричних панелей, а також розміри потрібні для подальших розрахунків потужності.

3.2 Розрахунок генерації сонячних панелей

У розділі 2 встановлено, що загальна площа сонячних полів становить

$$S = 91,2 \text{ м}^2.$$

Площа одного модуля становить

$$S_{\text{м}} = 1,59 * 1,053 = 1,67 \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

Ефективна площа модуля становить приблизно 80 % від площі модуля

$$S_{\text{м.еф}} = 0,8 * S_{\text{м}} = 0,8 * 1,67 = 1,336 \approx 1,3 \text{ м}^2 \quad (3.2)$$

Кількість установлених модулів

$$n = \frac{S}{S_{\text{м}}} = \frac{91,2}{1,67} = 54,6 \approx 55 \text{ шт} \quad (3.3)$$

Уточнюємо кількість модулів залежно від їх компоновання на даху (рис. 3.2).

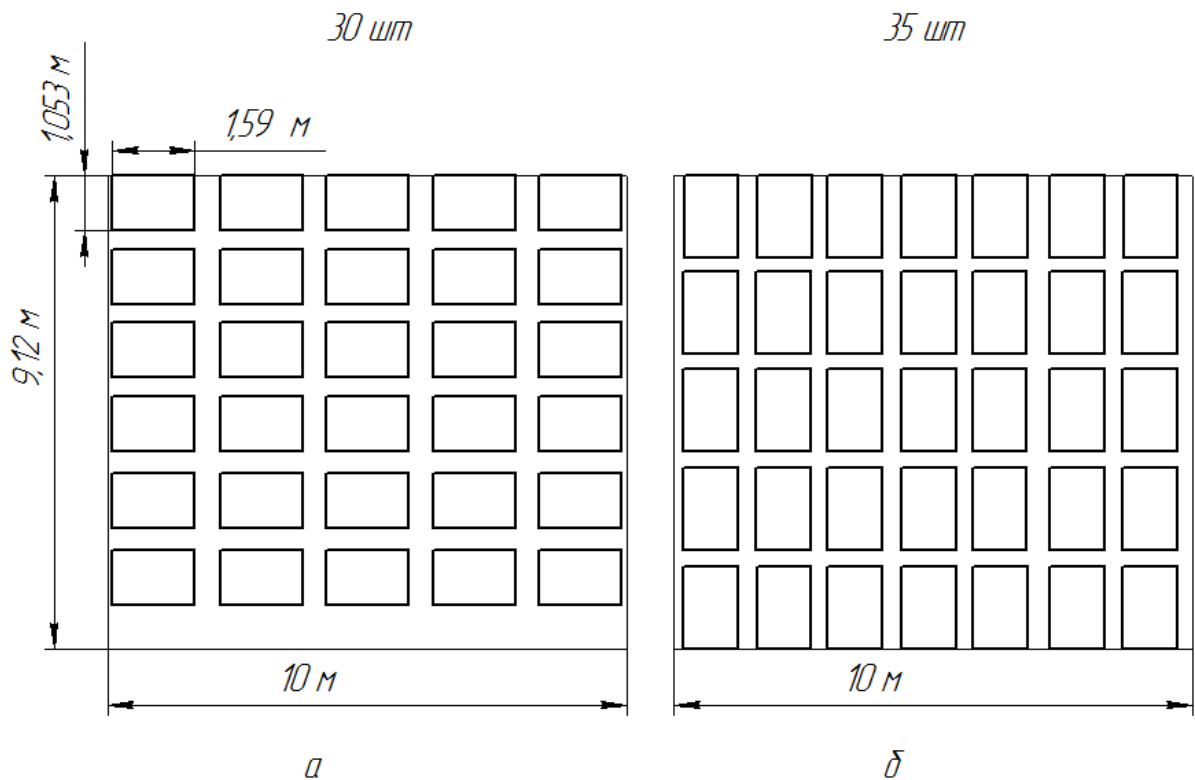


Рис. 3.2. Варіанти компоновки сонячних панелей: а – горизонтальна; б - вертикальна

Кращим варіантом є вертикальна компоновка модулів (рис. 3.2 б) – до розрахунку приймаємо 35 шт модулів. При цьому ефективна площа сонячної електростанції становить

$$S_{\text{сес.еф}} = 35 * S_{\text{м.еф}} = 35 * 1,3 = 45,5 \text{ м}^2 \quad (3.4)$$

Приймаємо до установки кут нахилу сонячних модулів рівний широті місцевості, тобто $\beta \approx 49^\circ$.

Далі необхідно розрахувати коефіцієнти транспозиції (3.5) (3.6) для перерахунку інтенсивності прямої і дифузної радіації :

$$R_B = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\Phi)} \quad (3.5)$$

$$R_D = \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (3.6)$$

де θ – кут між напрямком сонячного випромінювання та нормаллю до похилої поверхні, Φ – кут між напрямком сонячного випромінювання та нормаллю до горизонтальної поверхні, β – кут встановлення фотоелектричних модулів.

Кут θ розраховується за формулою (3.7):

$$\cos \theta = \cos \beta \cdot \cos \alpha + \sin \beta \cdot \cos \alpha \cdot \cos(z - z_s) \quad (3.7)$$

де α – висота сонця (Додаток Б),

z – азимут сонця (Додаток Б),

z_s – азимут проекції нормалі площадки на горизонтальну площину (орієнтація південна, $z_s = 0$).

У формулі (3.6) значення Φ визначається за виразом

$$\Phi = 90^\circ - \alpha \quad (3.8)$$

Інтенсивність випромінювання, що відбивається від поверхні ландшафту та падає на похилу поверхню, обраховується як (3.8):

$$I_{Rt} = \frac{(1 - \cos(\beta)) * p * (I_B + I_D)}{2} \quad (3.9)$$

де p – коефіцієнт відбиття (альbedo)(приймаємо у зимній період $p = 0,8$, у літній $p = 0,4$),

I_B, I_D – інтенсивність прямої та дифузної радіації на горизонтальну площину (Додаток 2).

Отже, сумарна радіація , що надходить до похилої поверхні буде рівною (3.10):

$$I_t = I_B \cdot R_B + I_D \cdot R_D + I_{Rt} \quad (3.10)$$

У даній роботі щодобова інсоляція розраховується на основі довідкових метеоданих, тому вона визначається як сума погодинних середніх значень інтенсивності радіації (3.11):

$$W_t = \Delta h \cdot \sum I(n, i) \quad (3.11)$$

де Δh – інтервал між сусідніми вимірюваннями (відліками) (приймаємо $\Delta h = 1$ год),

$I(n, i)$ - середнє значення радіації в n -ий день для i -го відліку (Додаток 2).

Результати розрахунків для найкоротшого дня року представлено в таблиці 3.2 та у таблиці 3.3 для найдовшого дня року.

Таблиця 3.2

Розрахунок питомої інсоляції для найкоротшого дня року

День		Розрахунок за умови чистого неба												
22 грудня														
Години	Пряма радіація I_B , Вт/м ²	Дифузна радіація I_D , Вт/м ²	Кут нахилу модуля β	Висота Сонця α	Азимут сонця z	Кут Φ	Коефіцієнт R_D	$\cos\theta$	Коефіцієнт R_B	Альbedo ρ	Інтенсивність відбитого випромін на похилу площалку IR_L , Вт/м ²	Сумарна радіація, Вт/м ²	Сумарна радіація, кВт/м ²	
8	10	0	48	6	-50	84	0,835	1,141	1,147	0,8	1,32	12,8	0,013	
9	100	30	48	11	-38	79	0,835	1,232	1,255	0,8	17,21	167,7	0,168	
10	200	50	48	12	-25	78	0,835	1,313	1,343	0,8	33,09	343,3	0,343	
11	270	60	48	13	-11	77	0,835	1,363	1,399	0,8	43,67	471,4	0,471	
12	280	60	48	15	0	75	0,835	1,364	1,412	0,8	45,00	490,5	0,491	
13	270	60	48	13	15	77	0,835	1,351	1,387	0,8	43,67	468,2	0,468	
14	200	50	48	12	30	78	0,835	1,284	1,313	0,8	33,09	337,4	0,337	
15	70	20	48	11	33	79	0,835	1,269	1,292	0,8	11,91	119,1	0,119	
16	0	0	48	6	60	84	0,835	1,035	1,041	0,8	0,00	0,0	0,000	
Добова інсоляція, кВт*год/м ²												2410	2,410	

Таблиця 3.3

Розрахунок питомої інсоляції для найдовшого дня року

День		Розрахунок за умови чистого неба												
22 червня														
Години	Пряма радіація I_B , Вт/м ²	Дифузна радіація I_D , Вт/м ²	Кут нахилу модуля β	Висота Сонця α	Азимут сонця z	Кут Φ	Коефіцієнт R_D	$\cos\theta$	Коефіцієнт R_B	Альbedo ρ	Інтенсивність відбитого випромін на похилу площалку IR_L , Вт/м ²	Сумарна радіація, Вт/м ²	Сумарна радіація, кВт/м ²	
5	100	40	48	8	-115	82	0,835	0,352	0,355	0,4	9,26	78,2	0,078	

Продовження таблиці 3.3

6	300	60	48	17	-110	73	0,835	0,397	0,415	0,4	23,82	198,4	0,198
---	-----	----	----	----	------	----	-------	-------	-------	-----	-------	-------	-------

7	450	80	48	28	-90	62	0,835	0,591	0,669	0,4	35,07	402,9	0,403
8	600	90	48	37	-80	53	0,835	0,637	0,798	0,4	45,66	599,7	0,600
9	750	95	48	47	-50	43	0,835	0,782	1,147	0,4	55,92	995,3	0,995
10	850	100	48	55	-45	35	0,835	0,685	1,195	0,4	62,87	1161,7	1,162
11	900	110	48	60	-20	30	0,835	0,684	1,367	0,4	66,84	1389,4	1,389
12	920	110	48	65	0	25	0,835	0,597	1,412	0,4	68,16	1459,3	1,459
13	900	110	48	60	20	30	0,835	0,684	1,367	0,4	66,84	1389,4	1,389
14	800	100	48	55	45	35	0,835	0,685	1,195	0,4	59,56	1098,7	1,099
15	750	95	48	47	50	43	0,835	0,782	1,147	0,4	55,92	995,3	0,995
16	550	90	48	37	80	53	0,835	0,637	0,798	0,4	42,35	556,5	0,556
17	420	80	48	28	90	62	0,835	0,591	0,669	0,4	33,09	380,9	0,381
18	250	60	48	17	110	73	0,835	0,397	0,415	0,4	20,51	174,3	0,174
19	100	40	48	8	115	82	0,835	0,352	0,355	0,4	9,26	78,2	0,078
							Добова інсоляція, кВт*год/м ²				10958,0	10,958	

На основі розрахованих даних проводимо розрахунок вихідної потужності сонячних модулів при зміні освітлення на протязі дня.

Потужність модуля

$$P_M = \frac{I_M}{1000} * P_H \quad (3.12)$$

де I_M – сумарна радіація модуля, Вт/м² (табл. 3.2, 3.3);

P_H – номінальна потужність модуля при стандартних умовах, Вт

Розрахунок представлено в таблицях 3.4, 3.5.

Таблиця 3.4

Розрахунок теоретичної генерації СЕС у зимовий період

День	22 грудня	Розрахунок за умови чистого неба
------	-----------	----------------------------------

Години	Сумарна питома іррадіація, Вт/м ²	Потужність модуля при стандартних умовах, Вт	Вихідна потужність модуля, Вт	Кількість модулів, шт	Загальна генерація СЕС, Вт	Загальна генерація СЕС, кВт
8	12,8	330	4,2	35	147,7	0,148
9	167,7	330	55,3	35	1937,1	1,937
10	343,3	330	113,3	35	3965,6	3,966
11	471,4	330	155,6	35	5444,4	5,444
12	490,5	330	161,9	35	5665,4	5,665
13	468,2	330	154,5	35	5408,0	5,408
14	337,4	330	111,3	35	3896,5	3,896
15	119,1	330	39,3	35	1375,3	1,375
16	0,0	330	0,0	35	0,0	0,000
Сумарна генерація за добу, кВт-год					27840,0	27,8

Таблиця 3.5

Розрахунок теоретичної генерації СЕС у літній період

День	22 червня	Розрахунок за умови чистого неба				
Години	Сумарна питома іррадіація, Вт/м ²	Потужність модуля при стандартних умовах, Вт	Вихідна потужність модуля, Вт	Кількість модулів, шт	Загальна генерація СЕС, Вт	Загальна генерація СЕС, кВт
5	78,153	330	25,8	35	902,7	0,903
6	198,385	330	65,5	35	2291,3	2,291
7	402,946	330	133,0	35	4654,0	4,654
8	599,677	330	197,9	35	6926,3	6,926
9	995,312	330	328,5	35	11495,9	11,496

Продовження таблиці 3.5

10	1161,743	330	383,4	35	13418,1	13,418
11	1389,350	330	458,5	35	16047,0	16,047

12	1459,255	330	481,6	35	16854,4	16,854
13	1389,350	330	458,5	35	16047,0	16,047
14	1098,704	330	362,6	35	12690,0	12,690
15	995,312	330	328,5	35	11495,9	11,496
16	556,459	330	183,6	35	6427,1	6,427
17	380,887	330	125,7	35	4399,2	4,399
18	174,328	330	57,5	35	2013,5	2,013
19	78,153	330	25,8	35	902,7	0,903
Сумарна генерація за добу, кВт-год					126565,1	126,565

3.3. Вибір вітроелектроустановки

Для додаткове джерело генерування електроенергії була вибрана вітроелектроустановка загальною потужністю з електрогенератором VE-3. Основні характеристики зведено в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6

Основні характеристики вітрогенератора

Вітрогенератор/Специфікація	VE-3
Номінальна потужність, кВт	3
Максимальна потужність, кВт	9
Пускова швидкість вітру, м/с	0,9
Швидкість вітру для стійкого заряджання АКБ, м/с	2,5
Швидкість вітру для номінальної потужності, м/с	8
Діаметр вітроколеса, м	4,8
Висота крила, м	5

Продовження таблиці 3.6

Вага вітроколеса, кг	360
----------------------	-----

Кількість крил, шт	5
--------------------	---

3.4. Розрахунок генерування електроенергії вітроелектроустановкою

Розрахунок ведемо відповідно до характеристики вітрогенератора (рис. 3.3)

(Додаток Д)

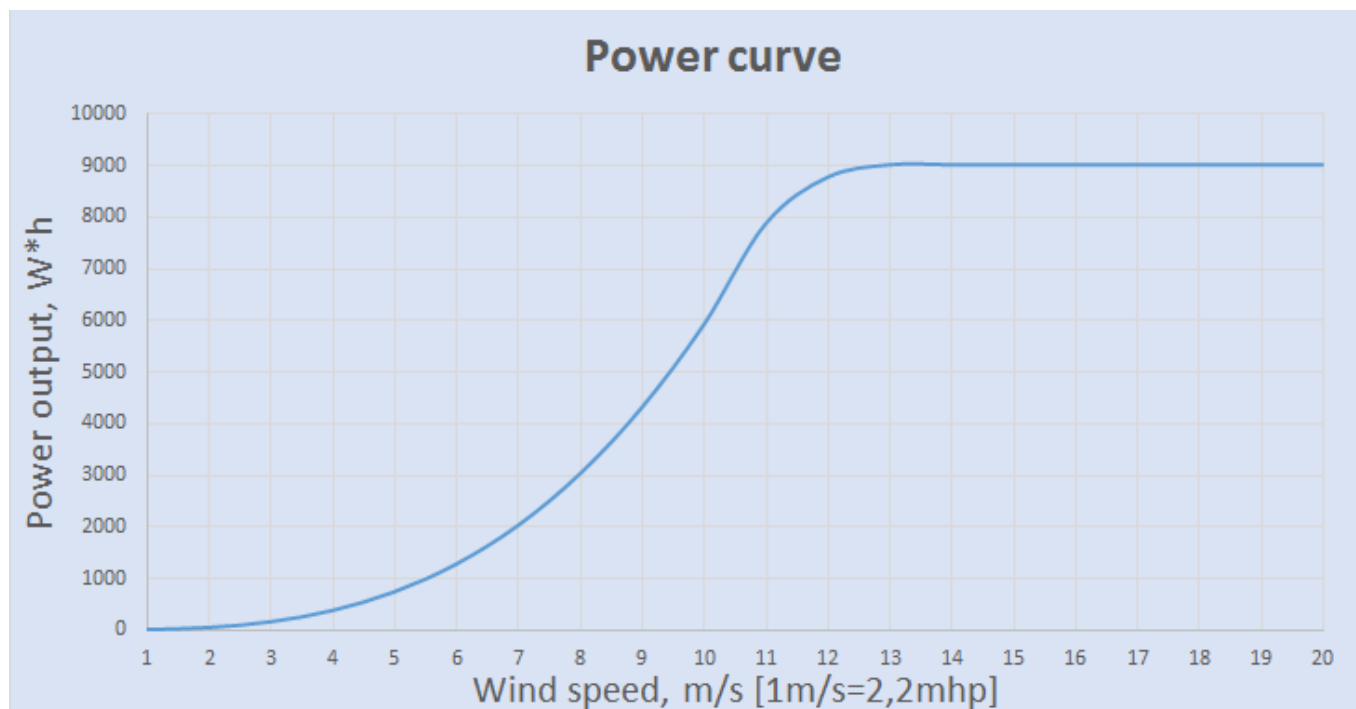


Рис.3.3. Швидкісна характеристика вітрогенератора

Для зручності розрахунку потужності вітрогенератора визначимо питому потужність вітрового потоку і відношення потужності генератора до значення потужності вітрового потоку при швидкостях 8 м/с (номінальна потужність) та 12 м/с (максимальна потужність)

Питома потужність повітряного потоку представлена, як енергія, що отримується через площу 1 м², розташовану перпендикулярно до його напрямлення. Величина розвинутої питомої потужності залежить від густини повітря, швидкості його руху і визначається виразом (3.13).

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (3.13)$$

де ρ – густина повітря, $1,223 \text{ кг/м}^3$;

V – швидкість вітру, м/с ;

Визначимо питому потужність вітрового потоку при швидкості 8 м/с

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 = \frac{1}{2} * 1,223 * 8^3 = 313,1 \text{ кВт/м}^2$$

Визначимо питому потужність вітрового потоку при швидкості 12 м/с

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 = \frac{1}{2} * 1,223 * 12^3 = 1056,7 \text{ кВт/м}^2$$

Відношення питомої потужності вітрового потоку до потужності генератора

$$k = \frac{P}{P_H} \quad (3.14)$$

$$k_1 = \frac{P}{P_H} = \frac{313,1}{3} = 104,363$$

$$k_2 = \frac{P}{P_H} = \frac{1056,7}{9} = 117,408$$

Як видно з графіку до швидкості $11,5 \text{ м/с}$ беремо значення k_1 , а від $11,5$ до 12 беремо значення k_2 .

Розрахунок проведемо для наступних значень швидкості вітру: $0,9 \text{ м/с}$ (пускова швидкість вітру), $2,5 \text{ м/с}$ (швидкість вітру для стійкого заряджання АКБ), 8 м/с (номінальна швидкість вітру), 12 м/с (швидкість при максимальній потужності), а також $2,1 \text{ м/с}$ (середньомісячна швидкість вітру у липні (Додаток А)), $2,6 \text{ м/с}$ (середньорічна

швидкість вітру), 3 м/с (середньомісячна швидкість вітру у січні). Тобто отримуємо наступний ряд – 0,9, 2,1, 2,5, 2,6, 3, 8, 12. І для цих значень розраховуємо добову генерацію вітроустановки.

Розрахунки зведено в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7

Розрахунок генерації вітроустановки

Швидкість вітру	Густина повітря	Питома потужність вітрового потоку, кВт/м ²	Потужність генератора, кВт	Потужність генератора, Вт	Добова генерація, кВт-год
0,9	1,223	0,4	0,004	4	0,10
2,1	1,223	5,7	0,054	54	1,30
2,5	1,223	9,6	0,092	92	2,20
2,6	1,223	10,7	0,103	103	2,47
3	1,223	16,5	0,158	158	3,80
8	1,223	313,1	3,000	3000	72,00
12	1,223	1056,7	9,000	9000	216,00

3.5. Вибір структури та елементів вітросонячної електроустановки з дизельним генератором

За основу розроблюваної системи вітросонячної електроустановки з дизельним генератором прийнято наступну схему (рис. 3.4).

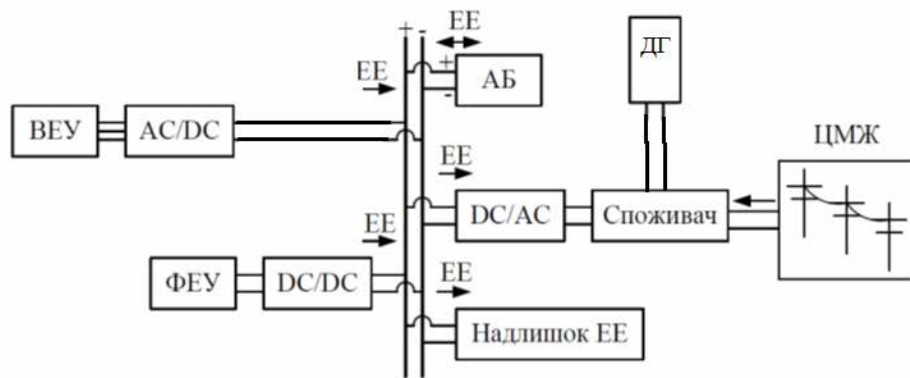


Рис.3.4. Структурна схема вітросонячної електроустановки з дизельним генератором

Для фотоелектричної установки вибираємо схему послідовно-паралельну схему з'єднання – об'єднуємо послідовно 5 шт і з них формуємо 7 рядів.

Тоді напруга холостого ходу СЕС становитиме – $5 * 69,7 = 348,5$ В.

Напруга максимальної потужності СЕС – $5 * 58 = 290$ В.

Кожен ряд фотомодулів має струм максимальної потужності – 5,7 А, струм короткого замикання – 6,07 А.

Струм максимальної потужності СЕС – $5,7 * 7 = 39,9$ А.

Струм короткого замикання СЕС – $6,07 * 7 = 42,49$ А.

Максимальний струм вітрогенератора

$$I_{\text{мВЕУ}} = \frac{9000}{\sqrt{3} \cdot 600} = 8,67 \text{ А}$$

Розрахункова потужність споживача у період максимуму становить 1,55 кВт, максимально можлива в період максимуму – 6,25 кВт.

Максимальний струм на вводі споживача (приймаємо $\cos\phi = 0,95$)

$$I_{\text{м}} = \frac{6250}{220} = 28,4 \text{ А}$$

Вибираємо для підключення гібридний однофазний інвертор SUN-6K-SG05LP1-EU Wi-Fi потужністю 6 кВт. Характеристики інвертора приведені нижче.

Основні характеристики

- Тип - гібридний
- Потужність, Вт - 6000
- Пікова потужність (автономний режим), Вт - в 2 рази більше від

номінальної потужності, 10 сек

- Максимальна вихідна потужність, W - 6600

Загальні характеристики

- Частотний діапазон, Hz - 50/60
- Вихідна напруга, V - 230
- Вихідний струм, A - 27,3/26,1
- Максимальний вихідний струм, A - 30/28,7
- Максимальний постійний прохідний струм, A - 40
- Кількість фаз - 1
- Максимальна вхідна потужність сонячного поля, W - 7800
- Номінальна вхідна напруга фотомодулів, V - 370 (125~500)
- Кількість МРРТ - 2
- Діапазон напруги МРРТ, V - 150 - 425
- Напруга запуску, В - 125
- Струм МРРТ, А - 13+13
- Кількість трекерів МРРТ, шт - 2
- Кількість входів PV на МРР-трекер, шт - 1
- Тип батареї - AGM, GEL,

LiFePO4, Li-ion

- Діапазон напруги батареї, V - 40~60
- Максимальний струм заряду (батарея), А - 135
- Максимальний струм розрядки, А - 135
- Стадії зарядки - 3 стадії / вирівню-

вання

- Зовнішній датчик температури - є
- Максимальна ефективність, % - 97,6

- Охолодження - пасивне охолодження
- Рівень шуму, dВ - <30
- Ступінь захисту - IP65

Акумулятори вибираємо виходячи з обсягу генерації в зимовий період – 27,8 кВт-год. Тобто розрахункова ємність – 27,8 кВт-год. При тривалості інсоляції 8 год, потужність АКБ становитиме

$$P_{\text{АКБ}} = \frac{27,8}{8} = 3,475 \text{ кВт} = 3475 \text{ Вт}$$

При напрузі 48 В, розрахунковий зарядний (розрядний) струм комплекту батарей становитиме

$$I_{\text{АКБ}} = \frac{3475}{48} = 72 \text{ А}$$

Розрахункова ємність АКБ (А-год)

$$C_{\text{АКБ}} = \frac{27800}{48} = 579 \text{ А * год}$$

Вибираємо АКБ типу LP LiFePO4 48V (51,2V) - 100 Ah (5120Wh) (Smart BMS 100A) в кількості 5 шт. Напруга АКБ – 48-51,2 В, ємність – 100 А-год, 5,12 кВт-год.

Загальна ємність блоку АКБ

$$C_{\text{АКБ}} = 100 * 5 = 500 \text{ А * год}$$

$$C_{\text{АКБ}} = 5,12 * 5 = 25,6 \text{ кВт * год}$$

При споживанні електроенергії 63,77 кВт-год/тиждень ($\approx 9,11$ кВт-год/добу) ємності акумулятора без підзарядки вистачить на

$$t = \frac{25,6}{9,11} \approx 2,8 \text{ діб.}$$

Висновки до розділу 3

1 Для сонячної електроустановки вибрані фотоелектричні перетворювачі виробника марки Panasonic типу VBHN330SJ47 потужністю 330 Вт. Загальна кількість модулів – 35 шт.

2. Максимально можлива потужність СЕС в межах 5,665...16,854 кВт залежно від пори року.

3. Як додаткове джерело генерування електроенергії була вибрана вітроелектроустановка загальною потужністю з електрогенератором VE-3 номінальною потужністю 3 кВт при швидкості 8 м/с.

4. Додатково вибрано генератор дизельний KONNER&SOHNEN 8100HDE номінальною потужністю 6 кВт.

РОЗДІЛ 4

ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1 Аналіз роботи вітросонячної електроустановки з урахуванням погодних умов

На протязі дня інсоляція поверхні залежить не лише від положення сонця, а також від погодних умов – хмарність, опади. Так само і вітрова активність змінюється на протязі доби в широких межах. Тому в цьому розділі визначається генерація комбінованої вітросонячної електроустановки на протязі доби з урахуванням погодних умов. Розрахунок проводиться за методиками приведеними у розділі 3, дані по інсоляції та швидкості вітру з додатків Б та В.

Результати аналізу роботи комбінованої вітросонячної електроустановки в зимовий період (22 грудня)

Години	Пряма радіація ІВ	Дифузна радіація І _д	Кут нахилу модуля β	Висота Сонця α	Азимут сонця z	Кут Ф	Коеф R ₀	cosφ	Коеф R _B	Альбедо ρ	Інтенс відбитого ви- промін на похилу площадку І _т	Сумарна радіація, Вт/м ²	КВт/м ²	Потужність модуля при стандартних	Вихідна потужність модуля	Кількість модулів	Загальна генерація СЕС	Швидкість вітру	Густина повітря	Питома потужність вітрового потоку	Потужність ВЕУ	Сумарна потуж- ність установки	
	Вт/м ²	Вт/м ²	град	град	град	град					Вт/м ²	Вт/м ²	кВт/м ²	Вт	Вт	шт	Вт	кВт	м/с	кг/м ³	кВт	кВт	кВт
0	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,2	1,297	6,51	0,167	0,167
1	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,8	1,297	13,42	0,344	0,344
2	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,297	7,44	0,191	0,191
3	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	3	1,297	16,51	0,423	0,423
4	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,1	1,297	5,66	0,145	0,145
5	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,297	7,44	0,191	0,191
6	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,2	1,297	6,51	0,167	0,167
7	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,1	1,297	5,66	0,145	0,145
8	10	10	48	6	-50	84	0,835	1,141	1,147	0,8	2,65	22,5	0,022	330	0,0074	35	0,259	0,0003	1,6	1,297	2,50	0,064	0,064
9	20	20	48	11	-38	79	0,835	1,232	1,255	0,8	5,29	47,1	0,047	330	0,0155	35	0,544	0,0005	2,7	1,297	12,04	0,309	0,309
10	25	25	48	12	-25	78	0,835	1,313	1,343	0,8	6,62	61,0	0,061	330	0,0201	35	0,705	0,0007	2,1	1,297	5,66	0,145	0,146
11	30	30	48	13	-11	77	0,835	1,363	1,399	0,8	7,94	74,9	0,075	330	0,0247	35	0,866	0,0009	2,3	1,297	7,44	0,191	0,192
12	30	30	48	15	0	75	0,835	1,364	1,412	0,8	7,94	75,3	0,075	330	0,0249	35	0,87	0,0009	3,9	1,297	36,27	0,93	0,931
13	23	23	48	13	15	77	0,835	1,351	1,387	0,8	6,09	57,2	0,057	330	0,0189	35	0,66	0,0007	2,7	1,297	12,04	0,309	0,309
14	15	15	48	12	30	78	0,835	1,284	1,313	0,8	3,97	36,2	0,036	330	0,0119	35	0,418	0,0004	1,4	1,297	1,68	0,043	0,043
15	5	5	48	11	33	79	0,835	1,269	1,292	0,8	1,32	12,0	0,012	330	0,0039	35	0,138	0,0001	2,2	1,297	6,511	0,167	0,167
16	0	0	48	6	60	84	0,835	1,035	1,041	0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,297	7,440	0,191	0,191
17	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,6	1,297	2,505	0,064	0,064
18	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,8	1,297	3,566	0,091	0,091
19	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,8	1,297	3,566	0,091	0,091
20	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,6	1,297	2,505	0,064	0,064
21	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,7	1,297	3,004	0,077	0,077

22	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,1	1,297	5,663	0,145	0,145
23	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,297	7,440	0,191	0,191
За добу													386,2	0,386								4,846	4,851

Таблиця 4.2

Результати аналізу роботи комбінованої вітросонячної електроустановки в весняний період (22 березня)

Години	Пряма радіація ІВ		Дифузна радіація І _д	Кут нахилу модуля β	Висота Сонця α	Азимут сонця z	Кут Ф	Коеф R _д	cosθ	Коеф R _В	Альбедор	Інтенс відбитого випромін на похилу площадку І _г	Сумарна радіація,			Потужність модуля при стандартних	Вихідна потужність модуля	Кількість модулів	Загальна генерація		Швидкість вітру	Густина повітря	Питома потужність вітрового потоку	Потужність ВЕУ	Сумарна потужність установки
	Вт/м ²	Вт/м ²											Вт/м ²	кВт/м ²	Вт				Вт	шт					
0	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,2	1,252	6,51	0,167	0,462		
1	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,8	1,252	13,42	0,344	0,462		
2	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,252	7,44	0,191	0,462		
3	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	3	1,252	16,51	0,423	0,462		
4	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,1	1,252	5,66	0,145	0,462		
5	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,252	7,44	0,191	0,500		
6	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,2	1,252	6,51	0,167	2,345		
7	0	0	48	4	-70	90	0,835	1,119	1,123	0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,1	1,252	5,66	0,145	4,229		
8	10	10	48	6	-50	84	0,835	1,141	1,147	0,8	2,65	22,5	0,022	330	0,0074	35	0,259	0,0003	1,6	1,252	2,50	0,064	5,484		
9	20	20	48	11	-38	79	0,835	1,232	1,255	0,8	5,29	47,1	0,047	330	0,0155	35	0,544	0,0005	2,7	1,252	12,04	0,309	6,740		
10	25	25	48	12	-25	78	0,835	1,313	1,343	0,8	6,62	61,0	0,061	330	0,0201	35	0,705	0,0007	2,1	1,252	5,66	0,145	7,367		
11	30	30	48	13	-11	77	0,835	1,363	1,399	0,8	7,94	74,9	0,075	330	0,0247	35	0,866	0,0009	2,3	1,252	7,44	0,191	7,995		
12	30	30	48	15	0	75	0,835	1,364	1,412	0,8	7,94	75,3	0,075	330	0,0249	35	0,87	0,0009	3,9	1,252	36,27	0,93	7,995		
13	23	23	48	13	15	77	0,835	1,351	1,387	0,8	6,09	57,2	0,057	330	0,0189	35	0,66	0,0007	2,7	1,252	12,04	0,309	7,367		
14	15	15	48	12	30	78	0,835	1,284	1,313	0,8	3,97	36,2	0,036	330	0,0119	35	0,418	0,0004	1,4	1,252	1,68	0,043	6,74я0		
15	5	5	48	11	33	79	0,835	1,269	1,292	0,8	1,32	12,0	0,012	330	0,0039	35	0,138	0,0001	2,2	1,252	6,511	0,167	5,484		

16	0	0	48	6	60	84	0,835	1,035	1,041	0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,252	7,440	0,191	4,229	
17	0	0	48	4	70	90	0,835	0,985	0,992	0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,6	1,252	2,505	0,064	1,717	
18	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,8	1,252	3,566	0,091	0,462	
19	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,8	1,252	3,566	0,091	0,462	
20	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,6	1,252	2,505	0,064	0,462	
21	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,7	1,252	3,004	0,077	0,462	
22	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,1	1,252	5,663	0,145	0,462	
23	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,252	7,440	0,191	0,462	
За добу													514,2	0,514									73,854	73,854

Таблиця 4.3

Результати аналізу роботи комбінованої вітросонячної електроустановки в літній період (22 червня)

Години	Пряма радіація ІВ	Дифузна радіація І _д	Кут нахилу модуля	Висота Сонця α	Азимут сонця z	Кут Ф	Коеф R _д	cosθ	Коеф R _B	Альbedo ρ	Інтенс відбитого ви- промін на похилу площадку I _т	Сумарна радіація,			Потужність модуля при стандартних	Вихідна потужність модуля	Кількість модулів	Загальна генерація СЕС		Швидкість вітру	Густина повітря	Питома потужність вітрового потоку	Потужність ВЕУ	Сумарна потуж- ність установки
	Вт/м ²	Вт/м ²	град	град	град	град					Вт/м ²	Вт/м ²	кВт/м ²	Вт	Вт	шт	Вт	кВт	м/с	кг/м ³	кВт	кВт	кВт	
0	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,2	1,193	6,51	0,167	0,848	
1	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,8	1,193	13,42	0,344	0,848	
2	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,193	7,44	0,191	0,848	
3	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	3	1,193	16,51	0,423	0,848	
4	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,1	1,193	5,66	0,145	2,001	
5	0	0	48	2,7	56	87,3	0,835	0,047	0,355	0,8	9,26	78,2	0,078	330	25,8	35	902,7	0,903	2,3	1,193	7,44	0,191	3,115	
6	0	0	48	11,5	67	78,5	0,835	0,200	0,415	0,8	23,82	198,4	0,198	330	65,5	35	2291,3	2,291	2,2	1,193	6,51	0,167	5,462	
7	0	0	48	20,4	78	69,6	0,835	0,348	0,669	0,8	35,07	402,9	0,403	330	133,0	35	4654,0	4,654	2,1	1,193	5,66	0,145	7,769	
8	10	10	48	29,5	90	60,5	0,835	0,492	0,798	0,8	45,66	599,7	0,600	330	197,9	35	6926,3	6,926	1,6	1,193	2,50	0,064	8,749	
9	25	25	48	38,5	102	51,5	0,835	0,622	1,147	0,8	55,92	995,3	0,995	330	328,5	35	11495,9	11,496	2,7	1,193	12,04	0,309	9,727	

10	20	20	48	47,1	116	42,9	0,835	0,733	1,195	0,8	62,87	1161,7	1,162	330	383,4	35	13418,1	13,418	2,1	1,193	5,66	0,145	10,704											
11	35	35	48	54,8	132	35,2	0,835	0,817	1,367	0,8	66,84	1389,4	1,389	330	458,5	35	16047,0	16,047	2,3	1,193	7,44	0,191	10,704											
12	30	30	48	61	151	29,0	0,835	0,875	1,412	0,8	68,16	1459,3	1,459	330	481,6	35	16854,4	16,854	3,9	1,193	36,27	0,93	9,727											
13	22	22	48	63,9	173	26,1	0,835	0,898	1,367	0,8	66,84	1389,4	1,389	330	458,5	35	16047,0	16,047	2,7	1,193	12,04	0,309	8,749											
14	17	17	48	62,7	194	27,5	0,835	0,887	1,195	0,8	59,56	1098,7	1,099	330	362,6	35	12690,0	12,690	1,4	1,193	1,68	0,043	7,769											
15	8	8	48	57,3	214	32,7	0,835	0,842	0,355	0,8	55,92	995,3	0,995	330	328,5	35	11495,9	11,496	2,2	1,193	6,511	0,167	6,615											
16	0	0	48	49,6	230	40,4	0,835	0,761	0,415	0,8	42,35	556,5	0,556	330	183,6	35	6427,1	6,427	2,3	1,193	7,440	0,191	5,462											
17	0	0	48	40,4	244	49,6	0,835	0,648	0,669	0,8	33,09	380,9	0,381	330	125,7	35	4399,2	4,399	1,6	1,193	2,505	0,064	4,308											
18	0	0	48	30,6	256	59,4	0,835	0,509	0,798	0,8	20,51	174,3	0,174	330	57,5	35	2013,5	2,013	1,8	1,193	3,566	0,091	2,001											
19	0	0	48	20,5	268	69,5	0,835	0,350	1,147	0,8	9,26	78,2	0,0782	330	25,8	35	902,7	0,903	1,8	1,193	3,566	0,091	1,145											
20	0	0	48	10,6	279	79,4	0,835	0,184	1,195	0,8	8,26	58,6	0,0586	330	19,3	35	513,3	0,513	1,6	1,193	2,505	0,064	0,848											
21	0	0	48	1,1	291	88,9	0,835	0,019	1,198	0,8	5,3	25,4	0,254	330	8,4	35	261,2	0,261	1,7	1,193	3,004	0,077	0,848											
22	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,1	1,193	5,663	0,145	0,848											
23	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,193	7,440	0,191	0,848a											
За добу																						135698	135,7										135,701	135,701

Таблиця 4.4

Результати аналізу роботи комбінованої вітросонячної електроустановки в осінній період (22 вересня)

Години	Пряма радіація ІВ	Дифузна радіація І _д	Кут нахилу модуля β	Висота Сонця α	Азимут сонця z	Кут Ф	Коеф R ₀	cosθ	Коеф R _B	Альbedo ρ	Інтенс відбитого випромін на похилу площадку І _т	Сумарна радіація,	Потужність модуля при стандартних	Вихідна потужність модуля	Кількість модулів	Загальна генерація СЕС	Швидкість вітру	Густина повітря	Питома потужність вітрового потоку	Потужність ВЕУ	Сумарна потужність установки		
	Вт/м ²	Вт/м ²	град	град	град	град					Вт/м ²	Вт/м ²	кВт/м ²	Вт	Вт	шт	Вт	кВт	м/с	кг/м ³	кВт	кВт	кВт
0	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,2	1,223	6,51	0,167	1,334
1	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,8	1,223	13,42	0,344	1,334
2	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,223	7,44	0,191	1,334
3	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	3	1,223	16,51	0,423	1,334

4	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,1	1,223	5,66	0,145	1334	
5	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,223	7,44	0,191	1334	
6	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,2	1,223	6,51	0,167	1334	
7	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,1	1,223	5,66	0,145	1334	
8	10	10	48	6	-50	84	0,835	1,141	1,147	0,8	2,65	22,5	0,022	330	0,0074	35	0,259	0,0003	1,6	1,223	2,50	0,064	4,455	
9	20	20	48	11	-38	79	0,835	1,232	1,255	0,8	5,29	47,1	0,047	330	0,0155	35	0,544	0,0005	2,7	1,223	12,04	0,309	7,279	
10	25	25	48	12	-25	78	0,835	1,313	1,343	0,8	6,62	61,0	0,061	330	0,0201	35	0,705	0,0007	2,1	1,223	5,66	0,145	9,064	
11	30	30	48	13	-11	77	0,835	1,363	1,399	0,8	7,94	74,9	0,075	330	0,0247	35	0,866	0,0009	2,3	1,223	7,44	0,191	10,251	
12	30	30	48	15	0	75	0,835	1,364	1,412	0,8	7,94	75,3	0,075	330	0,0249	35	0,87	0,0009	3,9	1,223	36,27	0,93	10,251	
13	23	23	48	13	15	77	0,835	1,351	1,387	0,8	6,09	57,2	0,057	330	0,0189	35	0,66	0,0007	2,7	1,223	12,04	0,309	9,064	
14	15	15	48	12	30	78	0,835	1,284	1,313	0,8	3,97	36,2	0,036	330	0,0119	35	0,418	0,0004	1,4	1,223	1,68	0,043	7,279	
15	5	5	48	11	33	79	0,835	1,269	1,292	0,8	1,32	12,0	0,012	330	0,0039	35	0,138	0,0001	2,2	1,223	6,511	0,167	5,495	
16	0	0	48	6	60	84	0,835	1,035	1,041	0,8	1,25	11,0	0,011	330	0,0027	35	0,124	0,0001	2,3	1,223	7,440	0,191	3,712	
17	0	0	48	5	75	90	0,835	1,026	1,023	0,8	1,15	9,0	0,009	330	0,0011	35	0,096	0,0001	1,6	1,223	2,505	0,064	2,891	
18	0	0	48	3	80	95	0,835	1,009	1,005	0,8	1,0	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,8	1,223	3,566	0,091	1,895	
19	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,8	1,223	3,566	0,091	1334	
20	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,6	1,223	2,505	0,064	1334	
21	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	1,7	1,223	3,004	0,077	1334	
22	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,1	1,223	5,663	0,145	1334	
23	0	0	48							0,8	0,00	0,0	0,000	330	0	35	0	0	2,3	1,223	7,440	0,191	1334	
За добу												402,2	0,402										91,456	91,455

Проведений погодинний розрахунок генерації електроенергії для характерних днів різних сезонів наочно демонструє ефективність та особливості роботи спроектованої гібридної установки.

Аналіз зимового періоду (табл. 4.1) показує, що в умовах короткого світлового дня та низької сонячної активності, основний внесок в енергозабезпечення робить вітрова установка, яка генерує до 4,84 кВт·год на добу. Продуктивність сонячних панелей є мінімальною. Це підтверджує, що взимку система стикається з дефіцитом енергії, який має покриватися за рахунок АКБ та резервного генератора.

Аналіз літнього періоду (табл. 4.3), навпаки, демонструє пікову продуктивність системи. Завдяки високій інтенсивності сонячного випромінювання, сонячна електростанція генерує до 135,7 кВт·год на добу, що в разі перевищує потреби домогосподарства. Внесок вітрогенератора в цей період є незначним.

Таким чином, детальний розрахунок підтвердив ключову перевагу гібридної системи: сезонну взаємокомпенсацію джерел енергії. Сонячні панелі ефективні влітку, а вітрогенератор — взимку. Розраховані дані є основою для подальшого аналізу балансу потужності та обґрунтування ємності акумуляторних батарей.

4.2. Аналіз балансу потужності системи електроживлення

Ключовим етапом оцінки ефективності розробленої системи є аналіз її енергетичного балансу. Такий аналіз дозволяє визначити, наскільки сумарна генерація електроенергії від сонячних панелей та вітрової установки відповідає потребам домогосподарства протягом доби у різні пори року. Для цього необхідно порівняти погодинні дані виробітку енергії, розраховані у попередньому підрозділі, з типовим графіком електроспоживання об'єкта, який був обґрунтований у розділі 2. Це порівняння дає змогу виявити періоди надлишку та дефіциту потужності, що є критично важливим для подальшого обґрунтування ємності системи накопичення енергії.

Результати розрахунків добового балансу потужності для характерних днів кожного сезону зведені для наочності у таблицю 4.5.

Добовий баланс генерації та споживання електроенергії

Показник	Зима (22.12)	Весна (21.03)	Літо (22.06)	Осінь (23.09)
Сумарна генерація, кВт·год	4,85	73,85	135,70	91,45
Споживання домогосподарства, кВт·год	13,25	13,25	13,25	13,25
Баланс (Надлишок/Дефіцит), кВт·год	-8,40	+60,60	+122,45	+78,20

Проведений аналіз виявляє сильну сезонну залежність продуктивності системи та підкреслює її гібридний характер.

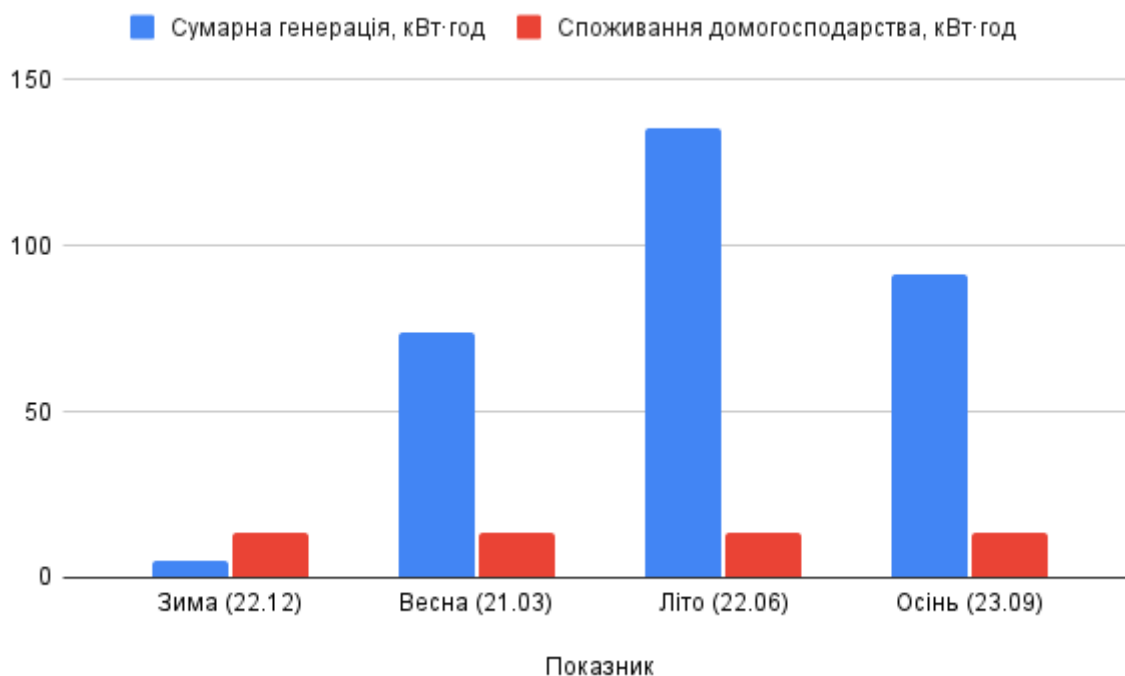


Рис.4.1 Порівняльний графік добової генерації та споживання електроенергії

У зимовий період, як показують розрахунки для 22 грудня, система функціонує в режимі енергетичного дефіциту. Сумарний добовий виробіток становить лише 4,85 кВт·год, що покриває приблизно 37% від загального споживання домогосподарства, яке складає 13,25 кВт·год. Таким чином, утворюється значний добовий дефіцит енергії обсягом 8,40 кВт·год. Це вказує на те, що протягом зимових місяців для забезпечення безперебійного живлення основне навантаження лягає на систему накопичення енергії.

Навесні та восени ситуація кардинально змінюється. Завдяки збалансованій роботі сонячної та вітрової генерації система демонструє високу ефективність. Генерація значно перевищує споживання, що дозволяє не тільки повністю задовольнити потреби домогосподарства, але й формувати значний добовий надлишок енергії. Цей надлишок, що становить від 60,60 кВт·год навесні до 78,20 кВт·год восени, спрямовується на зарядку акумуляторних батарей, створюючи запас енергії для нічного часу та можливих погодних аномалій.

Літній період характеризується піковою продуктивністю системи, зумовленою максимальною сонячною активністю. Сумарна генерація 22 червня сягає 135,70 кВт·год, що вдесятеро перевищує добове споживання. Це призводить до утворення колосального надлишку енергії в обсязі 122,45 кВт·год. Такий значний надлишок не тільки гарантує повну енергетичну автономність об'єкта, але й відкриває суттєвий економічний потенціал. Він може бути реалізований шляхом продажу електроенергії в загальну мережу за «зеленим» тарифом, що значно прискорює окупність капітальних вкладень.

Отже, проведений аналіз енергетичного балансу підтверджує, що спроектована гібридна система здатна забезпечити автономну роботу домогосподарства протягом переважної частини року.

4.3. Обґрунтування роботи акумуляторних батарей

Після визначення енергетичного балансу системи, ключовим етапом є аналіз роботи системи накопичення енергії. Саме акумуляторні батареї (АКБ) забезпечують стабільність та автономність установки, накопичуючи надлишкову енергію в періоди активної генерації та віддаючи її для живлення навантаження в періоди дефіциту. Метою даного підрозділу є моделювання роботи обраного комплексу АКБ загальною ємністю 25,6 кВт·год для характерних днів кожного сезону та підтвердження достатності цієї ємності.

Моделювання роботи АКБ у зимовий період (22 грудня)

Найбільш показовим для оцінки роботи АКБ є найбільш критичний, зимовий період, коли спостерігається добовий дефіцит енергії. Проведемо погодинний аналіз зміни рівня заряду батарей протягом 22 грудня. Для розрахунку приймемо, що на початку доби (00:00) акумулятори повністю заряджені, що є можливим завдяки попереднім дням з вищою вітровою активністю.

Таблиця 4.6

Моделювання роботи АКБ у зимовий період (22 грудня)

Година доби	Сумарна генерація, кВт·год	Споживання, кВт·год	Годинний баланс, кВт·год	Заряд/Розряд АКБ, кВт·год	Рівень заряду АКБ, кВт·год	Рівень заряду АКБ, %
0:00					25,60	100%
0-1	0,17	0,25	-0,08	-0,08	25,52	99,7%
1-2	0,34	0,25	+0,09	+0,08	25,60	100%
2-3	0,19	0,25	-0,06	-0,06	25,54	99,8%
3-4	0,42	0,25	+0,17	+0,06	25,60	100%
4-5	0,15	0,30	-0,15	-0,15	25,45	99,4%
5-6	0,19	0,45	-0,26	-0,26	25,19	98,4%
6-7	0,17	1,10	-0,93	-0,93	24,26	94,8%
7-8	0,15	1,25	-1,10	-1,10	23,16	90,5%

Продовження таблиці 4.6.

8-9	0,06	0,75	-0,69	-0,69	22,47	87,8%
9-15	1,17	2,15	-0,98	-0,98	21,49	83,9%
15-16	0,17	0,50	-0,33	-0,33	21,16	82,7%
16-17	0,19	0,90	-0,71	-0,71	20,45	79,9%
17-18	0,06	1,25	-1,19	-1,19	19,26	75,2%
18-19	0,09	1,50	-1,41	-1,41	17,85	69,7%
19-20	0,09	1,25	-1,16	-1,16	16,69	65,2%
20-21	0,06	0,75	-0,69	-0,69	16,00	62,5%
21-22	0,08	0,40	-0,32	-0,32	15,68	61,3%
22-23	0,15	0,25	-0,10	-0,10	15,58	60,9%
23:00		Залишок:	-8,40		15,58	60,9%

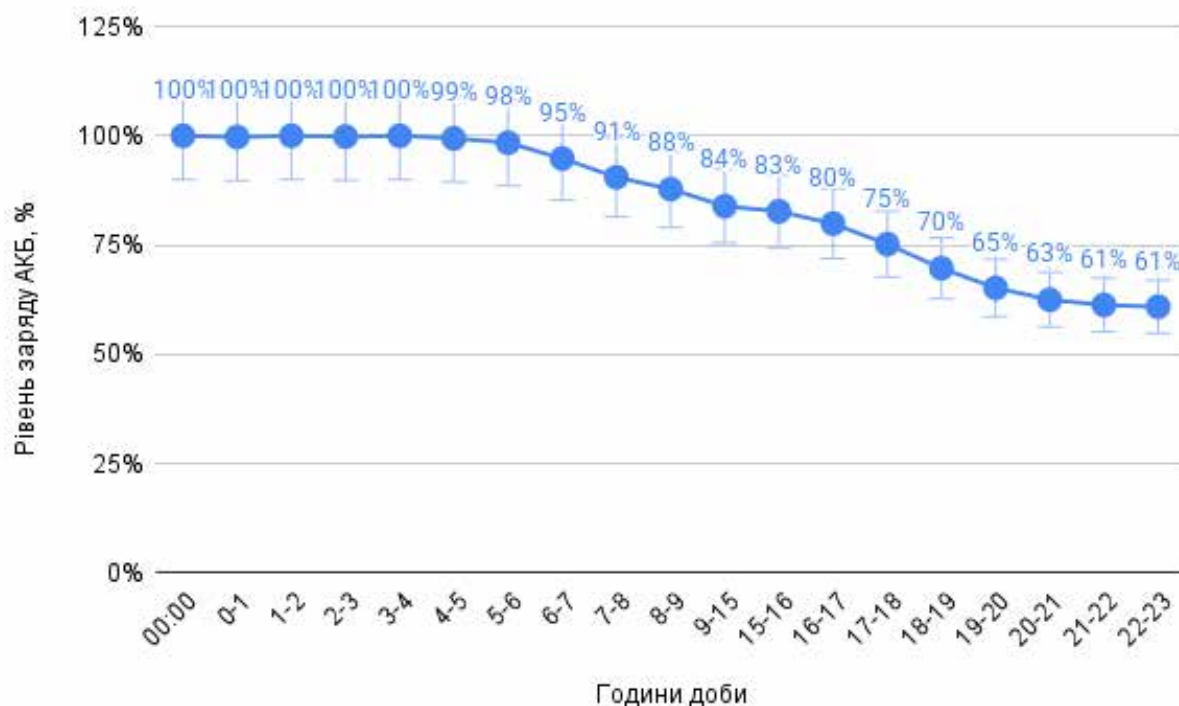


Рис.4.2 Динаміка зміни рівня заряду АКБ у зимовий період (22 грудня)

Моделювання роботи АКБ у весняний період (21 березня)

Навесні генерація значно перевищує споживання, що має призвести до швидкої зарядки АКБ та утворення надлишків енергії.

Таблиця 4.7

Моделювання роботи АКБ у весняний період (21 березня)

Година доби	Сумарна генерація, кВт·год	Споживання, кВт·год	Годинний баланс, кВт·год	Рівень заряду АКБ, %	Примітка
0:00				100%	
0-6	4,70	1,75	+2,95	100%	
6-7	0,80	1,10	-0,30	98,8%	
7-8	1,45	1,25	+0,20	99,6%	
8-9	3,30	0,75	+2,55	100%	АКБ повністю заряджені
9-18	57,30	3,95	+53,35	100%	Надлишок енергії: 53,35 кВт·год
18-19	1,20	1,25	-0,05	99,8%	
19-21	1,90	2,75	-0,85	96,5%	
21-24	3,45	0,90	+2,55	100%	
23:00				100%	

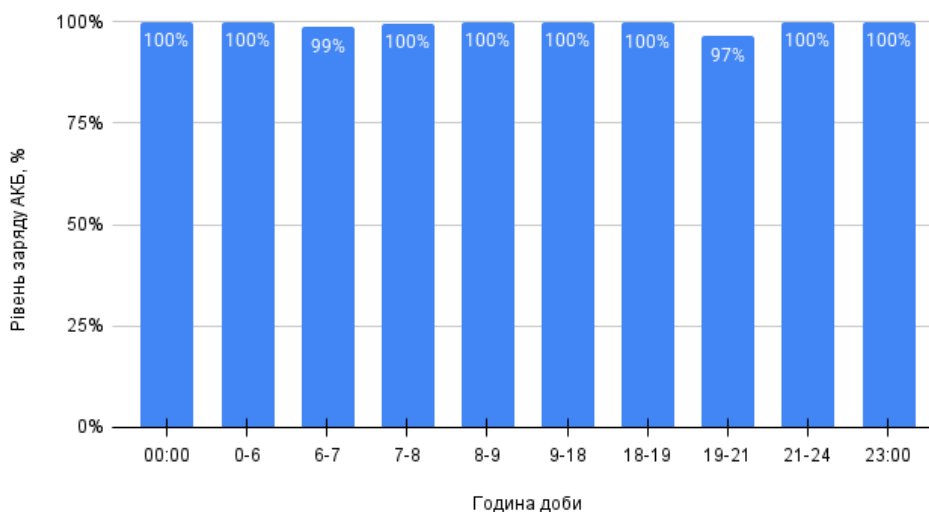


Рис.4.3. Динаміка зміни рівня заряду АКБ у весняний період (21 березня)

Моделювання роботи АКБ у літній період (22 червня)

Літній період характеризується піковою генерацією та, відповідно, максимальним потенціалом надлишку енергії.

Таблиця 4.8

Моделювання роботи АКБ у літній період (22 червня)

Година доби	Сумарна генерація, кВт·год	Споживання, кВт·год	Годинний баланс, кВт·год	Рівень заряду АКБ, %	Примітка
0:00				100%	
0-5	1,65	1,30	+0,35	100%	
5-6	0,75	0,45	+0,30	100%	
6-19	86,15	8,15	+78,00	100%	Надлишок енергії: 78,00 кВт·год
19-22	1,20	3,50	-2,30	91,0%	
22-24	0,90	0,65	+0,25	92,0%	
23:00				92,0%	

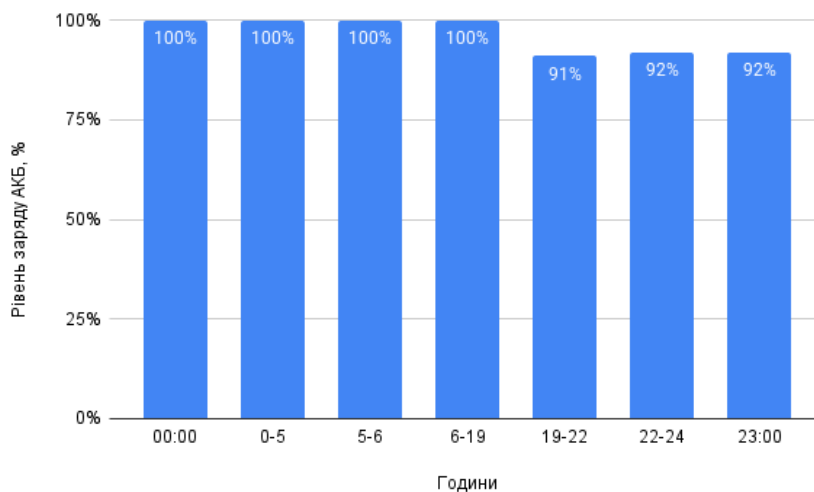


Рис.4.4.Динаміка зміни рівня заряду АКБ у літній період (22 червня)

Моделювання роботи АКБ в осінній період (23 вересня)

Осінь демонструє збалансовану роботу вітрової та сонячної генерації, що забезпечує стабільне виробництво енергії протягом усієї доби.

Таблиця 4.9

Моделювання роботи АКБ в осінній період (23 вересня)

Година доби	Сумарна генерація, кВт·год	Споживання, кВт·год	Годинний баланс, кВт·год	Рівень заряду АКБ, %	Примітка
0:00				100%	
0-24	91,45	13,25	+78,20	100%	Надлишок енергії: 78,20 кВт·год
23:00				100%	

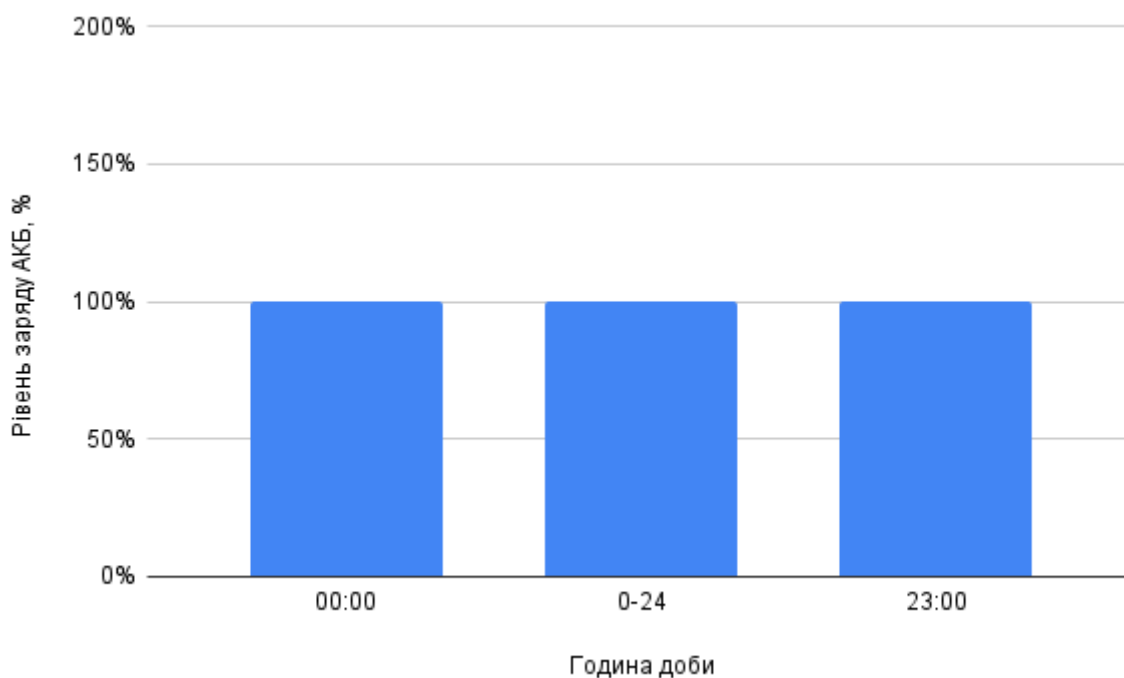


Рис.4.5 Динаміка зміни рівня заряду АКБ в осінній період (23 вересня)

Проведений розширений аналіз роботи акумуляторних батарей повністю підтверджує обґрунтованість вибору їх ємності.

У найбільш критичний зимовий період АКБ успішно справляються із покриттям добового дефіциту енергії, при цьому мінімальний рівень їх заряду не опускається нижче 60%. Це забезпечує надійність системи та зберігає ресурс батарей.

Протягом весни, літа та осені, коли генерація значно перевищує споживання, робота АКБ є менш напруженою. Вони швидко заряджаються до повної ємності і переходять у буферний режим. Моделювання чітко показує утворення значного добового надлишку енергії, який не може бути накопичений. Цей факт підкреслює високий економічний потенціал системи для продажу електроенергії в мережу.

Таким чином, ємність акумуляторних батарей у 25,6 кВт·год є достатньою для гарантування повної автономності домогосподарства взимку і оптимальною для роботи в інші сезони.

4.4. Обґрунтування необхідності використання резервного джерела живлення

Хоча проведений всебічний аналіз підтвердив, що спроектована система є технічно самодостатньою для забезпечення потреб домогосподарства протягом року, концепція повної енергетичної автономності передбачає не лише середньостатистичну, а й гарантовану надійність. Для досягнення цього рівня необхідно враховувати ймовірність виникнення аномальних та тривалих несприятливих погодних умов, які виходять за межі типових кліматичних даних, використаних у розрахунках.

Такими екстремальними сценаріями можуть бути затяжні періоди взимку (3-5 днів поспіль) з повною відсутністю сонячної інсоляції через щільну хмарність або снігопади, що супроводжуються повним штилем. У таких умовах генерація енергії буде нульовою. Як показало моделювання, запасу енергії в АКБ вистачить для покриття потреб домогосподарства приблизно на дві доби. На третю добу система вже не зможе забезпечити живлення, що є неприпустимим для об'єкта, який позиціонується як повністю автономний.

Саме для нівелювання таких ризиків та забезпечення найвищого рівня енергетичної безпеки в проєкті передбачено резервне джерело живлення — дизельний генератор KONNER&SOHNEN 8100HDE. Його роль не є основною; це елемент системи, що активується в аварійних режимах. Автоматика системи запрограмована на запуск генератора, коли рівень заряду АКБ досягає критичного порогу (наприклад, 20%). Це дозволяє виконати дві важливі функції: по-перше, напряду живити навантаження домогосподарства, а по-друге, що не менш важливо, здійснювати зарядку акумуляторних батарей, відновлюючи їхній енергетичний резерв. Такий підхід не тільки гарантує безперебійне живлення, але й захищає дорогий блок АКБ від глибокого розряду, що значно подовжує термін його служби.

Таким чином, інтеграція дизельного генератора перетворює систему з просто автономної на гарантовано безперебійну. Це є ключовою вимогою для сучасних систем електроживлення, що забезпечує не тільки технічну надійність, але й психологічний комфорт для мешканців.

Висновки до розділу 4

У даному розділі було проведено комплексне технічне обґрунтування ефективності розробленої системи. Детальний аналіз підтвердив доцільність гібридної схеми, де сонячна та вітрова генерація сезонно компенсують одна одну. Розрахунки показали, що система здатна не тільки повністю покривати потреби домогосподарства протягом більшої частини року, але й створювати значний надлишок енергії. Моделювання роботи системи накопичення довело, що обрана ємність акумуляторів є достатньою для компенсації зимового дефіциту, а інтеграція резервного генератора забезпечує гарантовану надійність живлення за будь-яких умов. Таким чином, розроблена система є технічно спроможною та повністю вирішує поставлене завдання щодо забезпечення енергетичної автономності.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

5.1. Розрахунок капітальних витрат

Першим кроком для визначення економічної доцільності проекту є розрахунок суми капітальних вкладень. Ця сума включає вартість усього основного та допоміжного обладнання, а також витрати, пов'язані з його доставкою, монтажем та пусконаладжувальними роботами. За основу були взяті розрахунки з попередньої роботи, які були доповнені та актуалізовані з урахуванням гібридної природи системи. Аналіз пропозицій на ринку України станом на 2025 рік дозволив сформулювати детальний кошторис проекту, представлений у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Капітальні витрати на обладнання та монтаж системи

	Найменування обладнання	Модель	К-сть	Ціна за од., грн	Сума, грн
1	Сонячна фотоелектрична панель	Panasonic VBHN330SJ47	35	5 600	196 000
2	Вітрова електрична установка	VE-3 (аналог)	1	120 000	120 000
3	Гібридний інвертор	SUN-6K-SG05LP1-EU	1	68 000	68 000
4	Акумуляторна батарея LiFePO4	LP LiFePO4 48V - 100 Ah	5	52 000	260 000
5	Резервний дизельний генератор	KONNER&SOHNEN 8100HDE	1	35 000	35 000
6	Система кріплень, кабелі, автоматика	-	1 компл.	70 000	70 000
Разом вартість					749 000
7	Монтажні та пусконаладжувальні роботи (≈15%)	-	1 послуга	112 350	112 350
Загальна вартість проекту:					861 350

Як видно з розрахунків, найбільшу частку у структурі витрат займають акумуляторні батареї (≈30%), що є типовим для автономних систем, де надійність накопичення енергії є пріоритетом. Значними також є інвестиції у сонячні панелі (≈23%) та

вітрову установку ($\approx 14\%$), які є основними генеруючими потужностями. Вартість допоміжних матеріалів та монтажних робіт складає суттєву частину загального бюджету ($\approx 21\%$), що необхідно враховувати при плануванні подібних проєктів.

Таким чином, загальна сума капітальних інвестицій, необхідних для реалізації проєкту автономної системи електроживлення, становить 861 350 грн. Ця цифра буде вихідною для подальших розрахунків економічної ефективності.

5.2. Розрахунок щорічної економії та терміну окупності

Наступним кроком економічного обґрунтування є визначення щорічної економії, яку забезпечить впровадження автономної системи. Ця економія формується за рахунок відмови від споживання електроенергії з централізованої мережі.

Спочатку визначимо річне споживання електроенергії домогосподарством. Згідно з даними, наведеними у розділі 2, середньотижневе споживання становить 63,77 кВт·год.

Річне споживання $W_{\text{рік}}$ розраховується за формулою:

$$W_{\text{рік}} = W_{\text{тижн}} \cdot 52 \quad (5.1)$$

$$W_{\text{рік}} = 63,77 \cdot 52 = 3316 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Тепер розрахуємо суму щорічної економії $E_{\text{річна}}$, помноживши річне споживання на актуальний тариф на електроенергію для населення. Станом на 2025 рік, тариф T становить 4,32 грн за кВт·год.

$$E_{\text{річна}} = W_{\text{рік}} \cdot T \quad (5.2)$$

$$E_{\text{річна}} = 3316 \cdot 4,32 = 14325 \text{ грн}$$

Отже, щорічна економія коштів на оплату електроенергії складе 14 325 грн.

Маючи дані про загальні капітальні витрати (КВ) та щорічну економію, можна розрахувати простий термін окупності проєкту (Ток).

$$T_{OK} = \frac{KB}{E_{річна}} \quad (5.3)$$

$$T_{OK} = \frac{861350}{14325} \approx 60 \text{ років}$$

Розрахунок показує, що простий термін окупності проекту становить близько 60 років. Важливо зазначити, що цей показник не враховує потенційний дохід від продажу надлишків електроенергії за «зеленим» тарифом, який, як ми бачили у розділі 4, є дуже значним у літній та перехідні періоди. Включення цього доходу до розрахунків може суттєво скоротити термін окупності.

5.3. Аналіз доходу від продажу електроенергії за «зеленим» тарифом

Як було показано в попередньому розрахунку, термін окупності системи за рахунок лише власної економії є надто великим. Однак, ключовою перевагою даного проекту є можливість отримання пасивного доходу від продажу надлишків виробленої електроенергії в мережу за «зеленим» тарифом.

Для розрахунку потенційного доходу необхідно визначити річний обсяг надлишкової електроенергії. Використовуючи дані з таблиці 4.5, розрахуємо середньодобовий надлишок протягом року:

$$\text{Середній надлишок} = \frac{\text{Надл}_В + \text{Надл}_Л + \text{Надл}_О - \text{Дифіц}_З}{4} \quad (5.4)$$

$$\text{Середній надлишок} = \frac{60,60 + 122,45 + 78,20 - 8,40}{4} \approx 63,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{доб}$$

Тепер розрахуємо загальний річний обсяг електроенергії, доступний для продажу ($W_{\text{продаж}}$):

$$W_{\text{продаж}} = \text{Середній надлишок} \cdot 365 \quad (5.4)$$

$$W_{\text{продаж}} = 63,2 \cdot 365 = 23068 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Ставка «зеленого» тарифу для приватних домогосподарств, які ввели в експлуатацію СЕС до 31.12.2024, становить 0,164 євро за кВт·год. При курсі орієнтовно 44 грн за євро, тариф $T_{\text{зелений}}$ складе:

$$T_{\text{зелений}} = 0,164 \cdot 44 \approx 7,2 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$$

Річний дохід від продажу надлишків $D_{\text{річний}}$ складе:

$$D_{\text{річний}} = W_{\text{продаж}} \cdot T_{\text{зелений}} \quad (5.5)$$

$$D_{\text{річний}} = 23068 \cdot 7,2 = 166090 \text{ грн/рік}$$

5.4. Розрахунок скоригованого терміну окупності та висновки

Тепер, коли ми маємо дані і про щорічну економію $E_{\text{річна}}$, і про річний дохід $D_{\text{річний}}$, ми можемо розрахувати загальний річний грошовий потік та новий, скоригований термін окупності $T_{\text{ОК.скор}}$.

$$\sum \text{річний грошовий потік} = E_{\text{річна}} + D_{\text{річний}} \quad (5.6)$$

$$\sum \text{річний грошовий потік} = 14325 + 166090 = 180415 \text{ грн}$$

$$T_{\text{ОК}} = \frac{\text{КВ}}{E_{\text{річна}} + D_{\text{річний}}} \quad (5.3)$$

$$T_{\text{ОК}} = \frac{861350}{180415} \approx 4,8 \text{ років}$$

Висновки до розділу 5

Проведене техніко-економічне обґрунтування показало, що проєкт будівництва автономної гібридної електростанції є економічно доцільним та інвестиційно привабливим. Хоча початкові капітальні вкладення є значними і становлять 861 350 грн,

можливість продажу надлишків електроенергії за «зеленим» тарифом кардинально змінює економічну модель. Скоригований термін окупності проекту становить менше 5 років, що є дуже високим показником для інвестицій в енергетичну сферу. Після цього терміну система почне приносити чистий прибуток, одночасно забезпечуючи повну енергетичну незалежність та безпеку домогосподарства.

РОЗДІЛ 6

ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Впровадження автономних систем електроживлення для домогосподарств, що інтегрують сонячні фотоелектричні установки (СЕС) та вітрові електростанції (ВЕУ), є прогресивним кроком до енергетичної незалежності. Однак, розробка, монтаж, експлуатація та технічне обслуговування таких комплексних систем вимагають неухильного дотримання жорстких вимог з охорони праці та техніки безпеки. Це обумовлено наявністю низки специфічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть становити значну загрозу для життя та здоров'я персоналу та мешканців домогосподарства. Законодавча база України, зокрема Закон України «Про альтернативні джерела енергії», встановлює чіткі умови для експлуатації таких систем, наголошуючи на необхідності забезпечення безпечного проведення робіт, дотримання енергетичної безпеки та відповідності всім технологічним та експлуатаційним нормам [9].

Аналіз потенційних небезпечних факторів при роботі з гібридною сонячно-вітровою системою електроживлення домогосподарства охоплює широкий спектр ризиків, які можна класифікувати за їхньою природою:

Електричні небезпеки. Вони є одними з найбільш критичних і постійно присутніх.

Ураження електричним струмом. Фотоелектричні модулі (СЕС) генерують постійний струм (DC) високої напруги (у стрінгах напруга може досягати сотень вольт, наприклад, 600-1000 В) навіть за умови низької освітленості. Цей струм є небезпечним, оскільки його дія на організм може бути підступною, а від'єднання такого кола під навантаженням може викликати дугу. Вітрогенератор (ВЕУ) виробляє змінний струм, який, після випрямлення та інвертування, також представляє високу напругу (220/380 В) змінного струму. Інвертори, контролери заряду та системи акумуляторних батарей (АКБ) також містять електричні кола з небезпечними рівнями напруги та струму. Прямий або непрямий контакт зі струмопровідними частинами

внаслідок порушення ізоляції, неправильного підключення, пошкодження обладнання або несправності заземлення може призвести до електротравм різного ступеня тяжкості, аж до летального результату.

Електрична дуга. Виникає при розриві електричного кола високої напруги та струму, особливо в DC-колах СЕС, під навантаженням. Дуга має дуже високу температуру, до кількох тисяч градусів Цельсія, що викликає важкі термічні опіки, ушкодження очей та органів дихання, а також займання навколишніх матеріалів.

Короткі замикання та перевантаження. Можуть виникати через несправність обладнання, неправильне підключення, механічні пошкодження кабелів або зовнішні впливи. Це призводить до значного виділення тепла, перегріву кабелів, займання ізоляції та виникнення пожеж.

Перенапруги. Як атмосферні, спричинені блискавкою, так і комутаційні, що виникають в електромережі, можуть пошкодити обладнання СЕС, ВЕУ, інвертори та АКБ, викликаючи їх займання або вихід з ладу.

Рухомі частини ВЕУ. Лопаті ротора вітрогенератора обертаються з високою швидкістю, становлячи пряму загрозу травмування при контакті. Навіть при низьких швидкостях вітру їх кінетична енергія є достатньою для нанесення серйозних ушкоджень. Небезпеку становлять також інші рухомі механізми (наприклад, система орієнтації).

Робота на висоті. Монтаж та обслуговування сонячних панелей на даху домогосподарства та встановлення, а також подальше обслуговування, високої вежі вітрогенератора, яка може сягати 10-20 метрів або більше, пов'язані з ризиком падіння з висоти. Це один з найпоширеніших та найнебезпечніших видів травматизму у будівельній та монтажній сферах.

Падіння предметів. При монтажних та ремонтних роботах на висоті існує висока ймовірність падіння інструментів, кріпильних елементів, компонентів системи (наприклад, сонячних модулів, секцій вежі). Це може призвести до травм персоналу внизу або пошкодження майна.

Падіння або руйнування конструкцій. Неправильний розрахунок або монтаж опорної конструкції СЕС, вежі ВЕУ, а також вплив екстремальних погодних умов

(ураганний вітер, сильне обледеніння) можуть призвести до обвалення всієї конструкції або її частин, що несе катастрофічні наслідки.

Травми від важких елементів. Вага сонячних модулів, близько 20-30 кг, секцій вежі вітрогенератора, акумуляторних блоків та інверторів вимагає значних зусиль для підняття та переміщення, що може призвести до травмування опорно-рухового апарату, защемлень, ударів.

Несприятливі погодні умови. Сильний вітер, що особливо небезпечно при роботі з ВЕУ та на висоті, гроза ризик ураження блискавкою, електричної дуги, дощ, сніг, ожеледиця збільшують ризик падінь, ускладнюють видимість та координацію, туман.

Екстремальні температури. Висока температура повітря влітку, ризик теплового удару, зневоднення, сонячних опіків, низька температура взимку, ризик переохолодження, обморожень, погіршення рухливості.

Шум та вібрація. Хоча сучасні ВЕУ для домогосподарств мають низький рівень шуму, при монтажі або несправності, а також при тривалому впливі, шум та вібрація можуть викликати дискомфорт та впливати на слух.

Хімічні та пожежні небезпеки

Ризики, пов'язані з АКБ. Сучасні літій-залізо-фосфатні (LiFePO_4) акумулятори є значно безпечнішими за свинцево-кислотні, проте їх пошкодження, прокол, сильний удар або неправильна експлуатація перезаряд, глибокий розряд, можуть призвести до внутрішнього короткого замикання, перегріву, термічного розгону з виділенням токсичних газів, диму, а в окремих випадках – до пожежі або вибуху.

Пожежна небезпека від електричних компонентів. Вся система в цілому є об'єктом підвищеної пожежної небезпеки через наявність високої напруги та струмів, великої кількості електричних з'єднань, інверторів, контролерів заряду та акумуляторів. Несправності, короткі замикання, перевантаження, відсутність належного захисту можуть стати причинами займання ізоляції, кабелів та навколишніх матеріалів.

Небезпека вибуху. Окрім АКБ, певний ризик може існувати в закритих приміщеннях з недостатньою вентиляцією, де накопичуються гази від несправного обладнання.

Враховуючи вищенаведені небезпечні фактори, для забезпечення безпечної експлуатації та обслуговування автономної системи електроживлення домогосподарства необхідно реалізувати комплексні заходи з охорони праці та техніки безпеки. До робіт з проектування, монтажу, підключення та обслуговування системи допускаються лише особи, які досягли 18-річного віку, пройшли обов'язковий медичний огляд, спеціальне навчання та інструктажі з охорони праці, пожежної безпеки, електробезпеки та безпеки робіт на висоті, та мають відповідну групу допуску з електробезпеки (не нижче III). Всі роботи з підвищеною небезпекою, зокрема ті, що стосуються електроустановок та висотних робіт, повинні виконуватися за нарядом-допуском з чітким визначенням відповідальних осіб та меж зони робіт [10].

Заходи з електробезпеки включають обов'язкове повне знеструмлення відповідних ділянок електроустановки перед початком робіт, вивішування попереджувальних плакатів та перевірку відсутності напруги. Всі струмопровідні частини системи, включаючи кабельні лінії СЕС, ВЕУ, а також внутрішні компоненти інверторів та акумуляторних блоків, повинні бути надійно ізольовані та заземлені відповідно до вимог "Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів" [11]. Застосування пристроїв захисного відключення (ПЗВ) та автоматичних вимикачів, що захищають від короткого замикання та перевантаження, є обов'язковим для всіх ланцюгів. Для вітрогенератора критично важливі системи гальмування лопатей, блокування їх обертання під час обслуговування, а також автоматичний захист від перевищення швидкості вітру, що може призвести до механічного руйнування [12].

Пожежна безпека забезпечується застосуванням кабелів відповідного перерізу та класу пожежної безпеки, використанням сертифікованих комутаційних апаратів та розподільних коробок. Місця розташування інверторів, контролерів, акумуляторних батарей та електрощитових повинні бути оснащені первинними засобами пожежогасіння (вуглекислотними або порошковими вогнегасниками). Регулярні огляди, технічне обслуговування та вимірювання опору ізоляції електричних ліній та заземлювальних пристроїв є обов'язковими для виявлення та усунення потенційних джерел займання. Особливої уваги потребує місце встановлення акумуляторних батарей, яке

має відповідати вимогам до вентиляції та температурного режиму, згідно з інструкціями виробника АКБ.

Загалом, неухильне дотримання всіх норм і правил з охорони праці та техніки безпеки, систематичне проведення інструктажів, використання справного обладнання та належних засобів захисту є запорукою безаварійної та безпечної експлуатації автономної системи електроживлення домогосподарства, що використовує відновлювані джерела енергії.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи було успішно вирішено актуальне науково-технічне завдання, що полягало у розробці та комплексному обґрунтуванні проєкту автономної гібридної системи електроживлення для приватного домогосподарства. Проведений аналіз довів, що для кліматичних умов України найбільш ефективним є саме гібридний підхід, який за рахунок сезонної взаємокомпенсації сонячної та вітрової генерації забезпечує стабільне цілорічне виробництво енергії.

На основі розрахованого профілю навантаження було обґрунтовано вибір обладнання, зокрема сонячної станції потужністю 11,55 кВт, вітрової установки на 3 кВт та системи накопичення ємністю 25,6 кВт·год. Детальне погодинне моделювання підтвердило високу технічну ефективність системи, кількісно показавши домінування сонячної генерації влітку та її компенсацію вітровою установкою взимку. Аналіз роботи АКБ довів, що їхньої ємності достатньо для покриття дефіциту в зимовий період, а інтеграція резервного дизельного генератора гарантує 100% надійність системи. Фінальне техніко-економічне обґрунтування продемонструвало високу інвестиційну привабливість проєкту, визначивши скоригований термін окупності у 4,8 років з урахуванням доходу від продажу надлишків енергії за «зеленим» тарифом.

В якості пропозицій для подальшого розвитку теми рекомендується дослідити можливість впровадження інтелектуальних алгоритмів керування для оптимізації роботи системи. Також, розроблену в роботі методику розрахунку та моделювання доцільно використовувати як практичний інструментарій для інжинірингових компаній при проєктуванні аналогічних об'єктів

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергетики шукають шляхи відновлення або заміни теплової енергогенерації. Українська Енергетика. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/enerhetyku-shukaiut-shliakhy-vidnovlennia-abo-zaminy-teplovoienerhoheneratsii> (дата звернення: 21.07.2025).
2. Сонячна генерація: змінюються масштаб та географія об'єктів. Українська Енергетика. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/tryfonivskases-foto-dtek> (дата звернення: 21.07.2025).
3. Особливості вітчизняного виробництва електроенергії. Українська енергетична біржа. URL: <https://www.ueex.com.ua/presscenter/news/osoblivostivitchiznyanogo-virobnitstva-elektroenergii/> (дата звернення: 21.07.2025).
4. Сучасні сонячні технології [Електронний ресурс] / Агробізнес сьогодні - Режим доступу до ресурсу: <http://agro-business.com.ua/agro/zhyttieve-seredovyshche/item/8292-suchasni-soniachni-tekhnologii.html> (дата звернення: 21.07.2025).
5. Фотоенергетика : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 160 с.
6. Future of Solar Photovoltaic, Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects, <https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic> (дата звернення: 21.07.2025).
7. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє / за ред. І. Плачкова. – Книга 5. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-4/section-3>.
8. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру: навч. посіб / С. В. Сиротюк, В. М. Боярчук, В. П. Гальчак. – Львів: «Магнолія 2006», 2018. – 182 с.
9. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» стаття 11.
10. «Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті» (НПАОП 0.00-1.15-07).

11. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (НПАОП 40.1-1.21-98).
12. Загальні вимоги до ЗІЗ згідно ДСТУ EN 358:2017 «Засоби індивідуального захисту для фіксації робочої позиції та запобігання падінню з висоти».
13. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. – К.: Мінпаливенерго України, 2017.
14. ДБН В.2.5-23:2010. Електрообладнання. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
15. Solar Energy International. Photovoltaics: Design & Installation Manual. – SEI, 2020.
16. IEC 61400-2:2019. Wind turbines – Part 2: Small wind turbines.
17. Green M. A. Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications.-UNSW, 2022.
18. Mastervolt. Solar Charge Controllers Technical Guide. – Mastervolt, 2021
19. Victron Energy. Energy Storage Systems Design Manual. – Victron, 2023.
20. Panasonic. Технічні характеристики фотоелектричних модулів НІТ. – Panasonic, 2019.

ДОДАТКИ

Додаток А

Основні кліматичні показники місця розміщення домогосподарства

Таблиця А.1

Середньомісячні кліматичні показники місця розміщення домогосподарства

PVSyst V6.88													29/07/25	Page 1/1
Definition of a geographical site														
Geographical Site	Cherkasy										Country		Ukraine	
	File Cherkasy_MN72.SIT of 00/00/00 00h00													
Situation					Latitude				49.44° N		Longitude		32.06° E	
Time defined as					Legal Time				Time zone UT+2		Altitude		120 m	
Monthly Meteo Values	Source: Meteonorm 7.2 (1991-2010), Sat=100%													
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
Hor. global	28.9	46.9	87.0	125.2	187.4	185.0	181.5	164.4	105.0	69.1	30.2	20.7	1231.4	kWh/m ² .mth
Hor. diffuse	15.7	25.5	46.0	58.3	74.6	79.7	81.9	61.7	50.6	33.9	18.4	12.7	558.9	kWh/m ² .mth
Extraterrestrial	82.6	119.6	198.1	265.4	332.0	346.9	347.3	299.9	221.6	155.8	93.1	69.4	2531.7	kWh/m ² .mth
Clearness Index	0.350	0.392	0.439	0.472	0.565	0.533	0.523	0.548	0.474	0.444	0.325	0.298	0.486	
Amb. temper.	-3.1	-2.9	2.5	9.7	15.8	18.4	21.7	20.8	14.5	9.1	3.1	-1.8	9.0	°C
Wind velocity	3.0	3.0	3.1	2.6	2.4	2.3	2.1	2.1	2.1	2.5	2.8	3.0	2.6	m/s
Solar paths at Cherkasy, (Lat. 49.4445° N, long. 32.0574° E, alt. 120 m) - Legal Time														
PVsyst Evaluation mode														

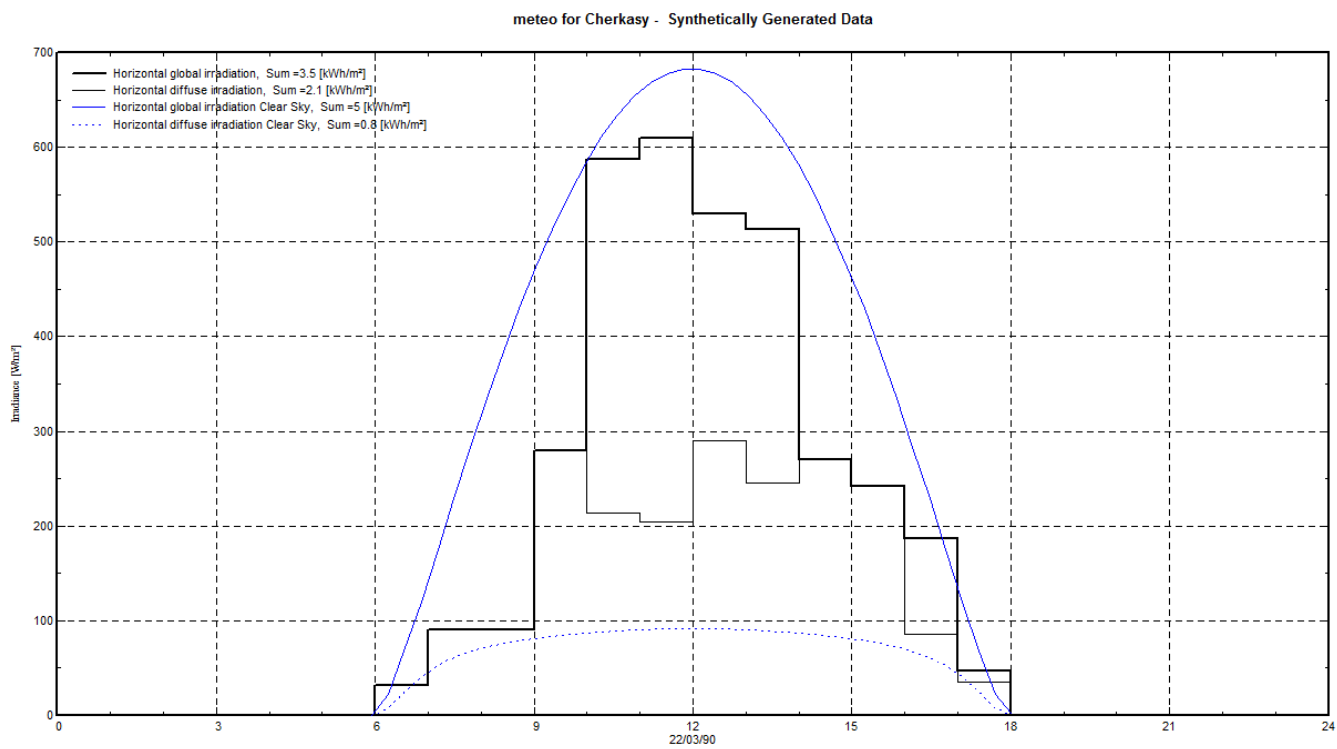
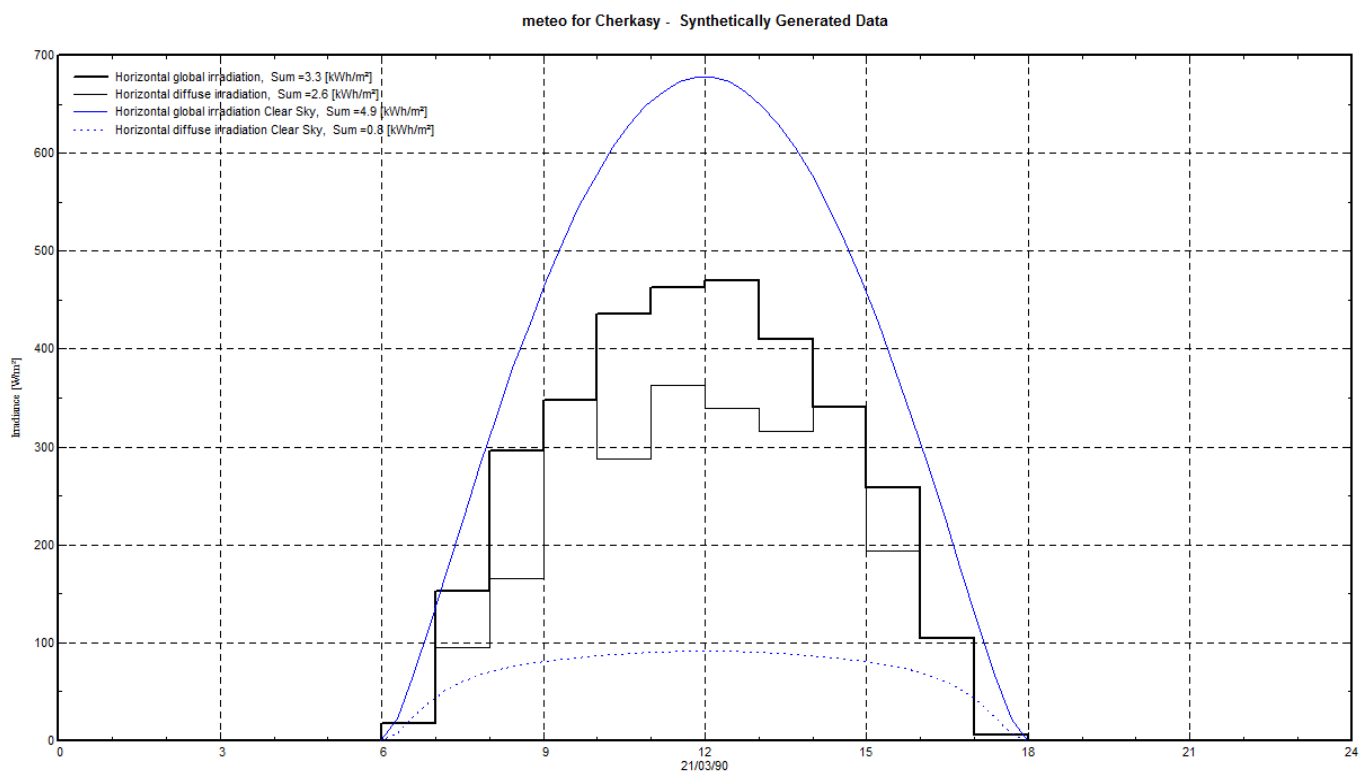
Середньомісячні за день кліматичні показники місця розміщення домогосподарства

PVSYST V6.88	29/07/25	Page 1/1												
Definition of a geographical site														
Geographical Site	Cherkasy	Country Ukraine												
File Cherkasy_MN72.SIT of 00/00/00 00h00														
Situation	Latitude 49.44° N	Longitude 32.06° E												
Time defined as	Legal Time Time zone UT+2	Altitude 120 m												
Monthly Meteo Values	Source Meteonorm 7.2 (1991-2010), Sat=100%													
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
Hor. global	0.93	1.68	2.81	4.17	6.05	6.17	5.86	5.30	3.50	2.23	1.01	0.67	3.37	kWh/m ² .day
Hor. diffuse	0.51	0.91	1.49	1.94	2.41	2.66	2.64	1.99	1.69	1.09	0.61	0.41	1.53	kWh/m ² .day
Extraterrestrial	2.67	4.27	6.39	8.85	10.71	11.56	11.20	9.67	7.39	5.03	3.10	2.24	6.94	kWh/m ² .day
Clearness Index	0.350	0.392	0.439	0.472	0.565	0.533	0.523	0.548	0.474	0.444	0.325	0.298	0.486	
Amb. temper.	-3.1	-2.9	2.5	9.7	15.8	18.4	21.7	20.8	14.5	9.1	3.1	-1.8	9.0	°C
Wind velocity	3.0	3.0	3.1	2.6	2.4	2.3	2.1	2.1	2.1	2.5	2.8	3.0	2.6	m/s

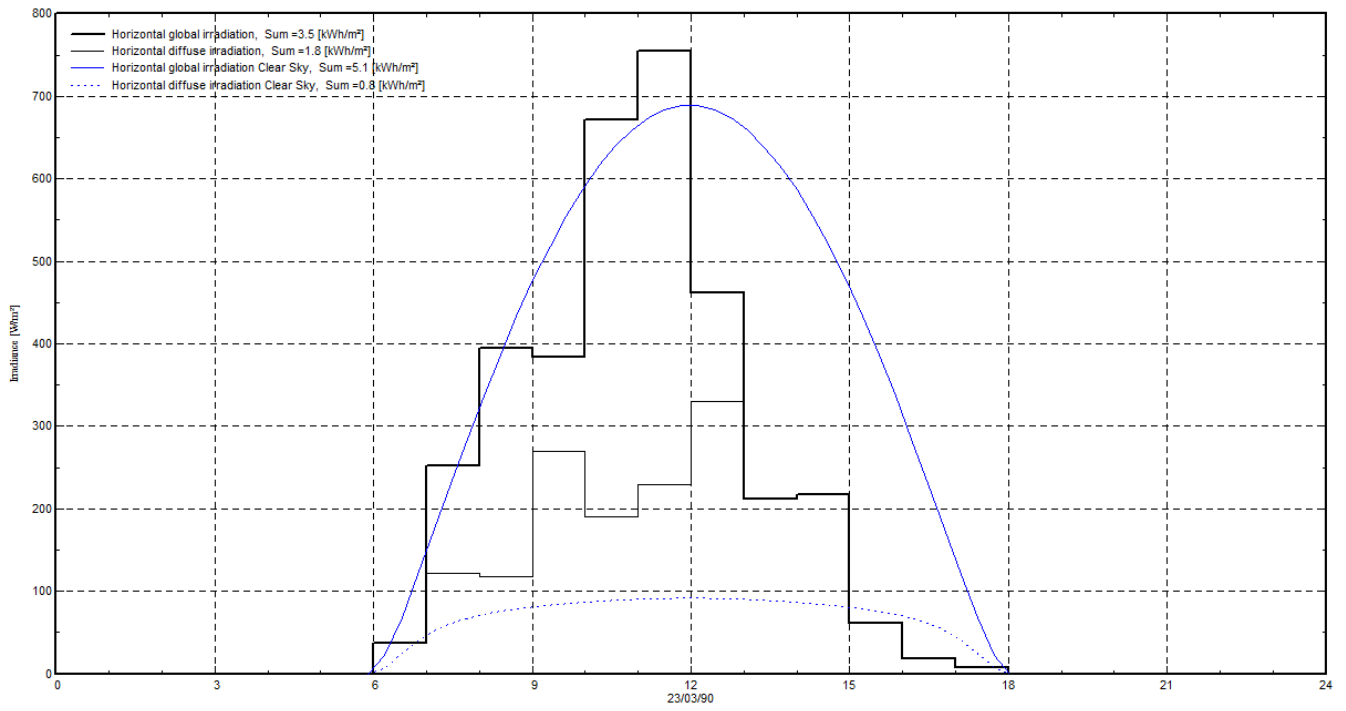
Solar paths at Cherkasy, (Lat. 49.4445° N, long. 32.0574° E, alt. 120 m) - Legal Time

Додаток Б

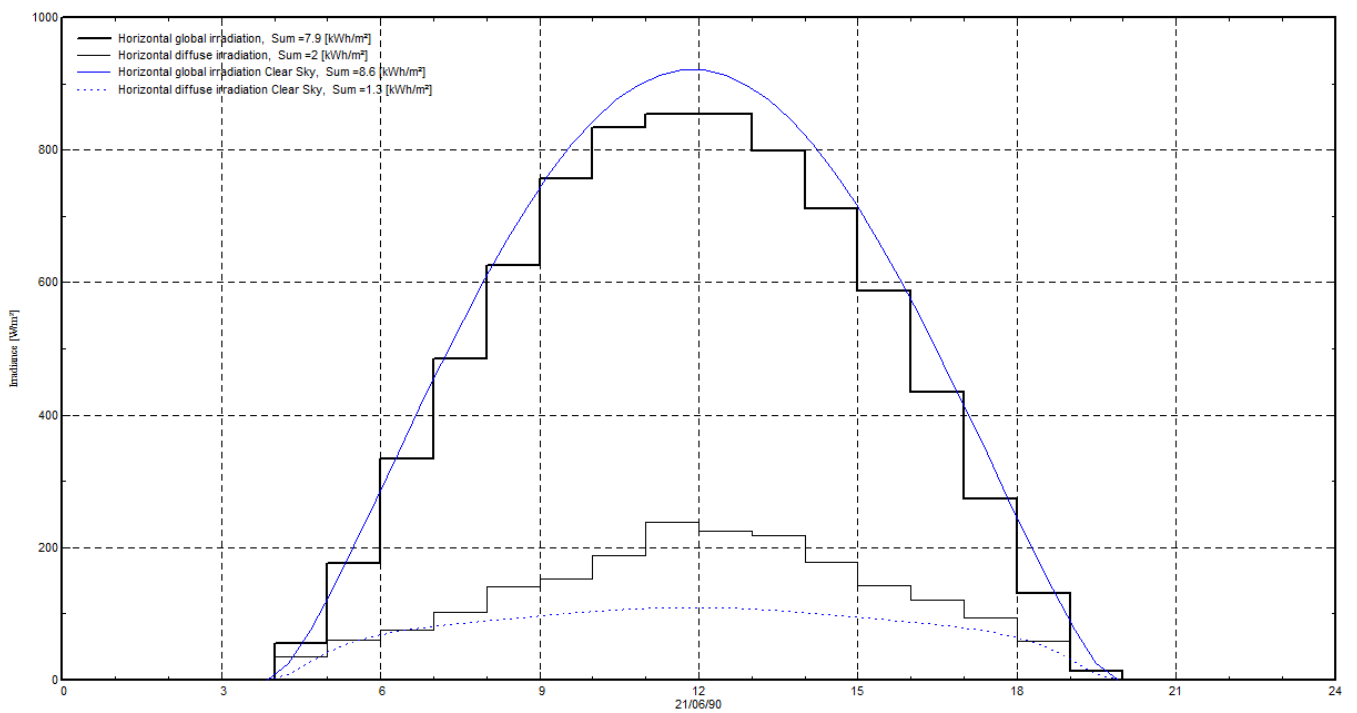
Показники сонячної активності для вибраних днів року



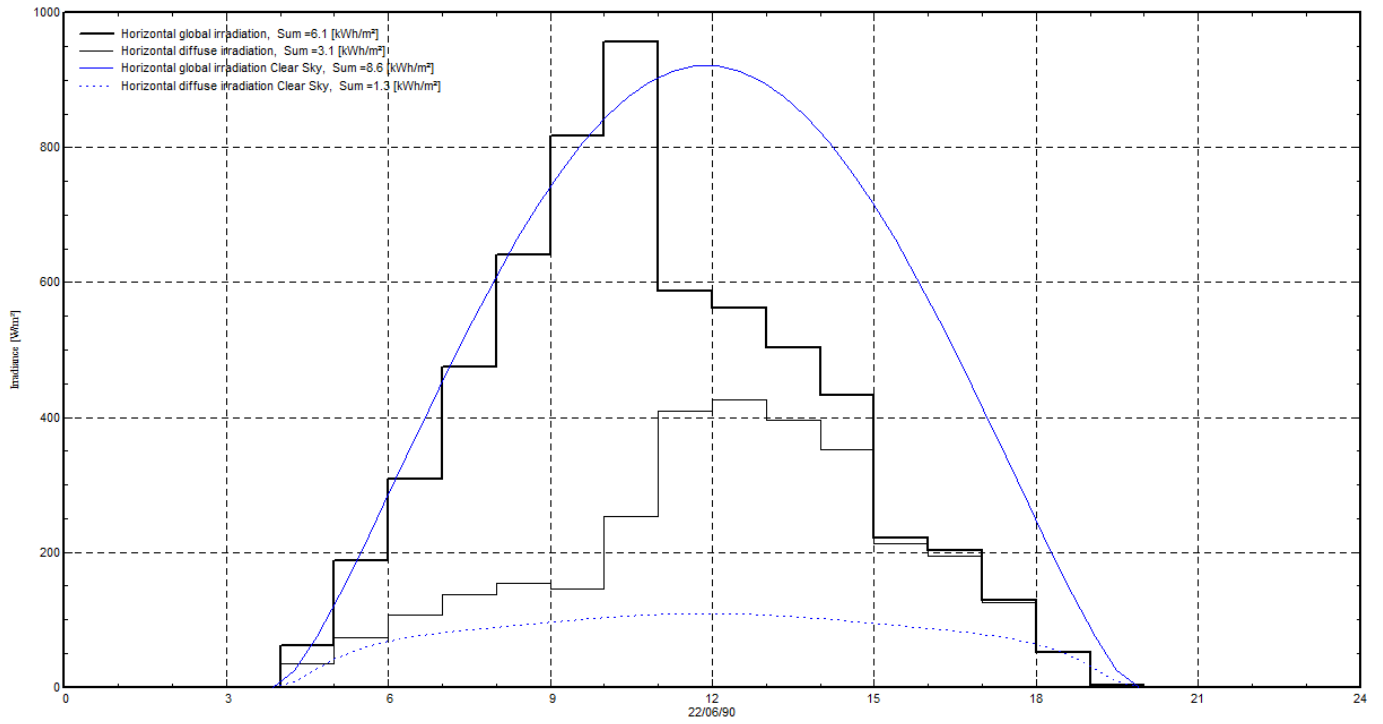
meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data



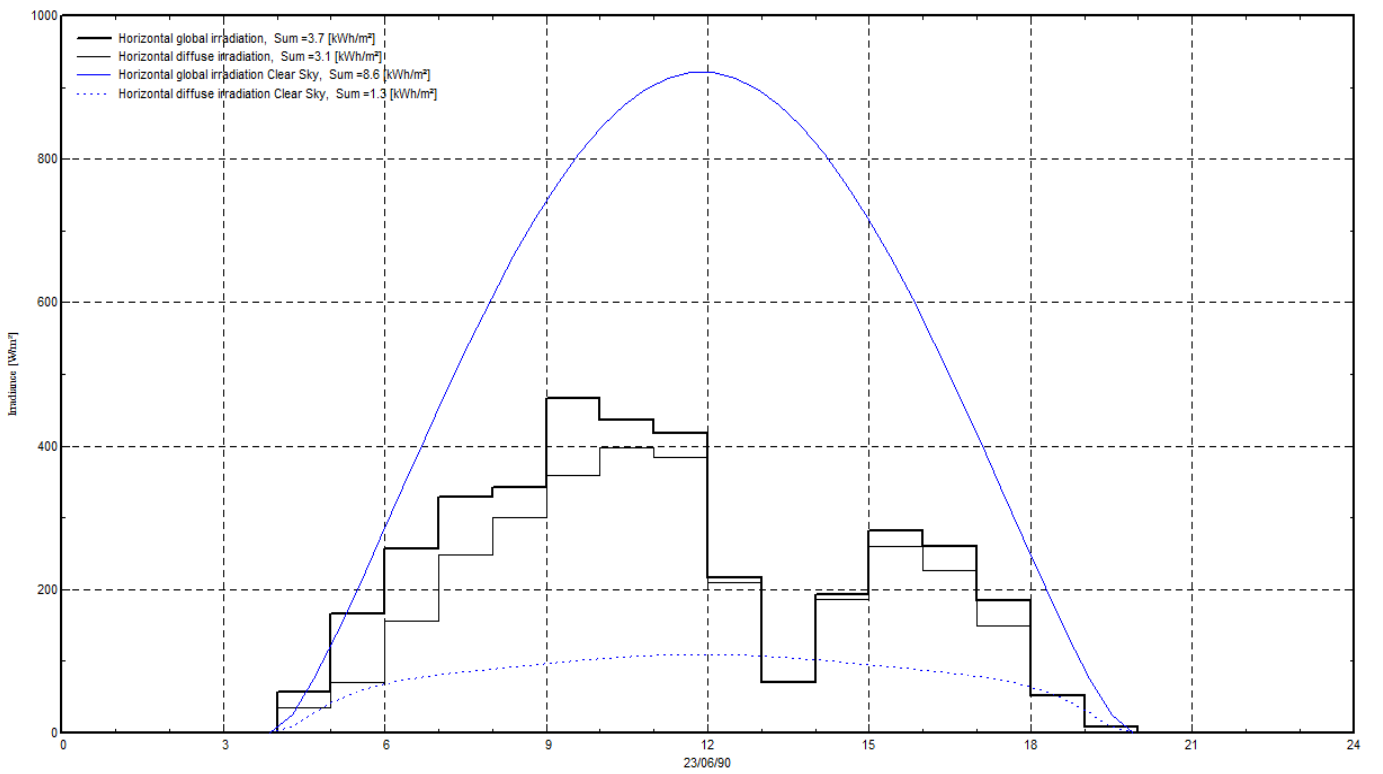
meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data



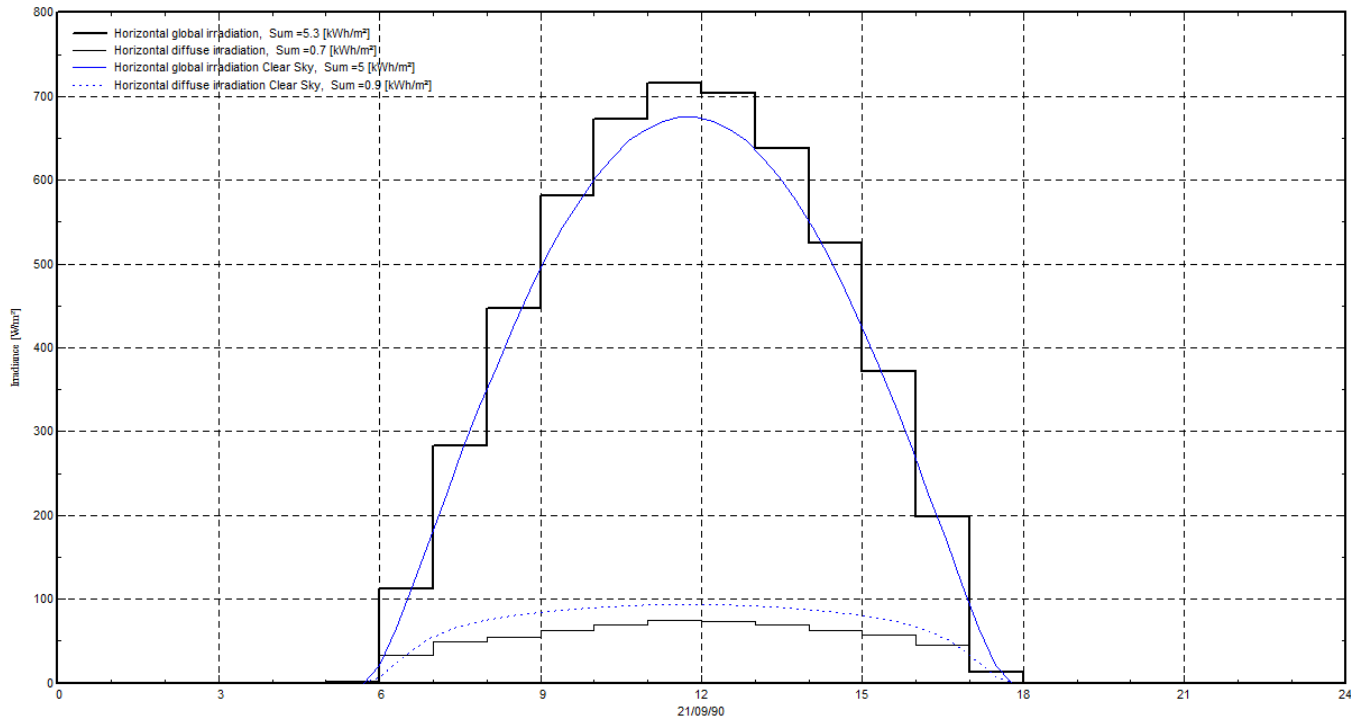
meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data



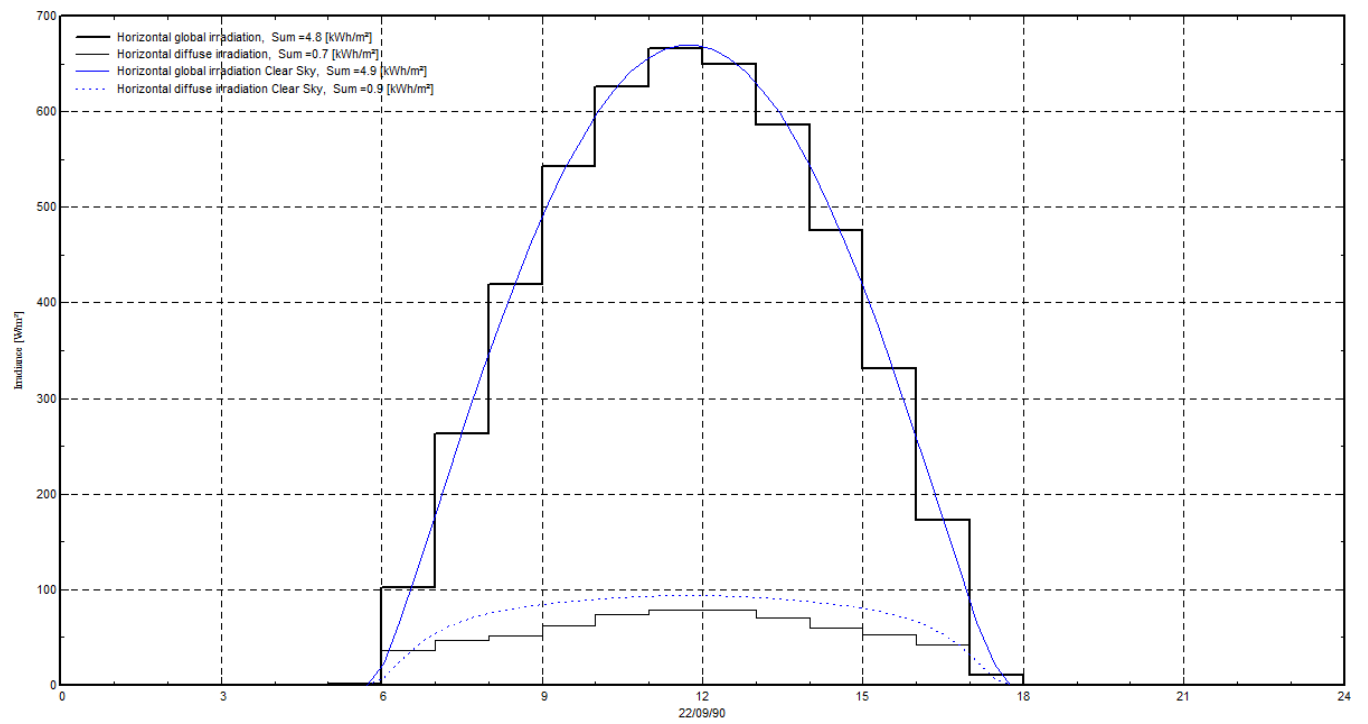
meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data



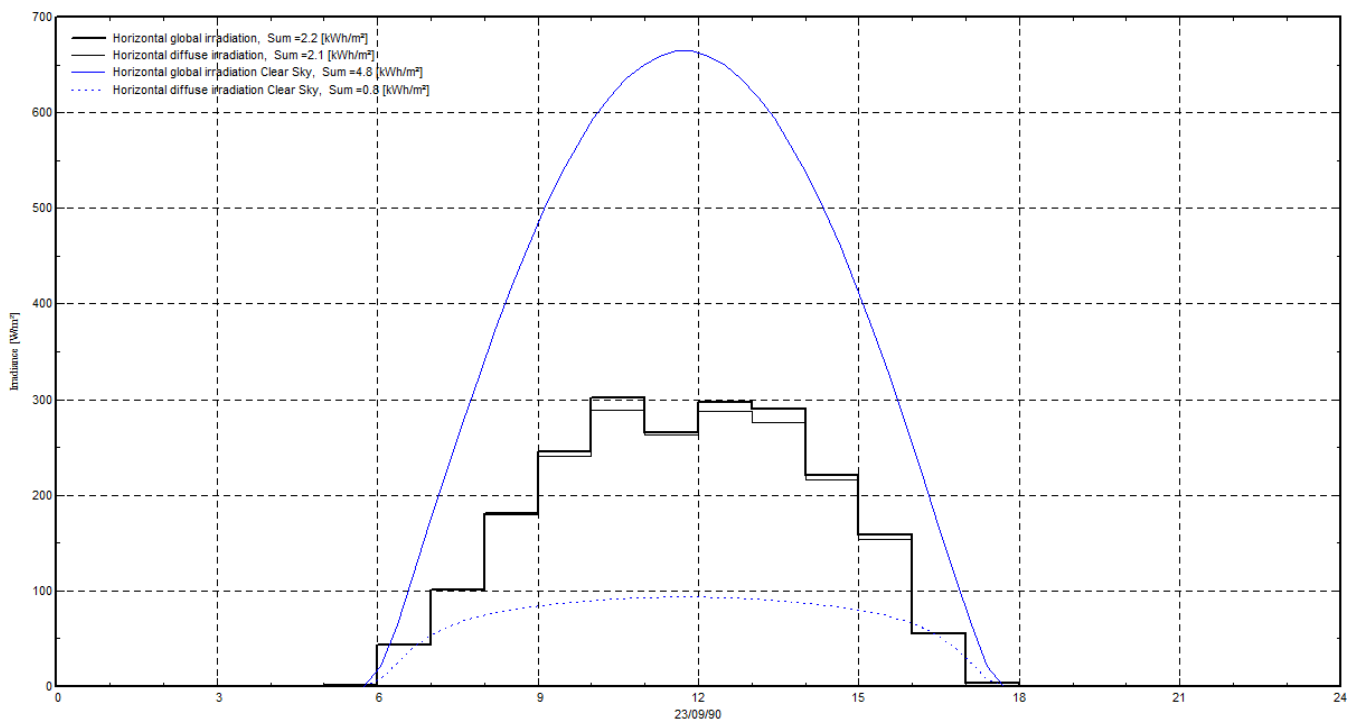
meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data



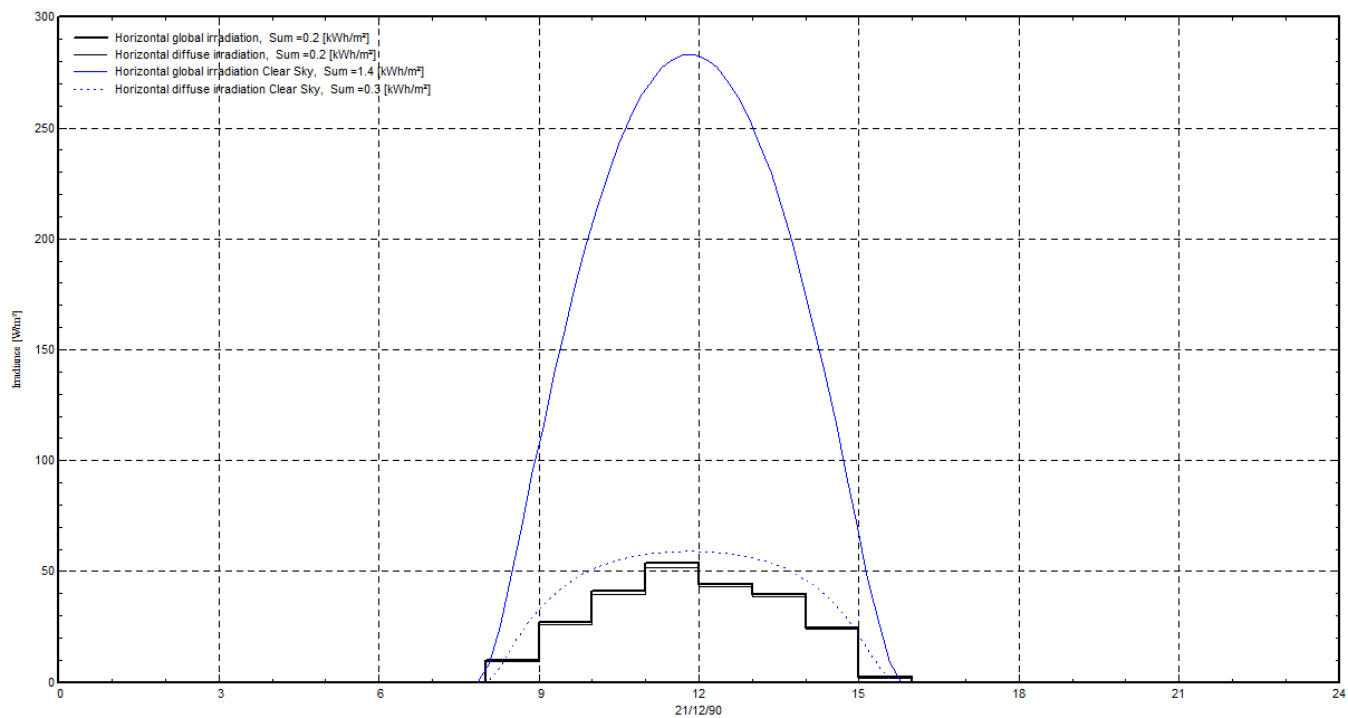
meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data



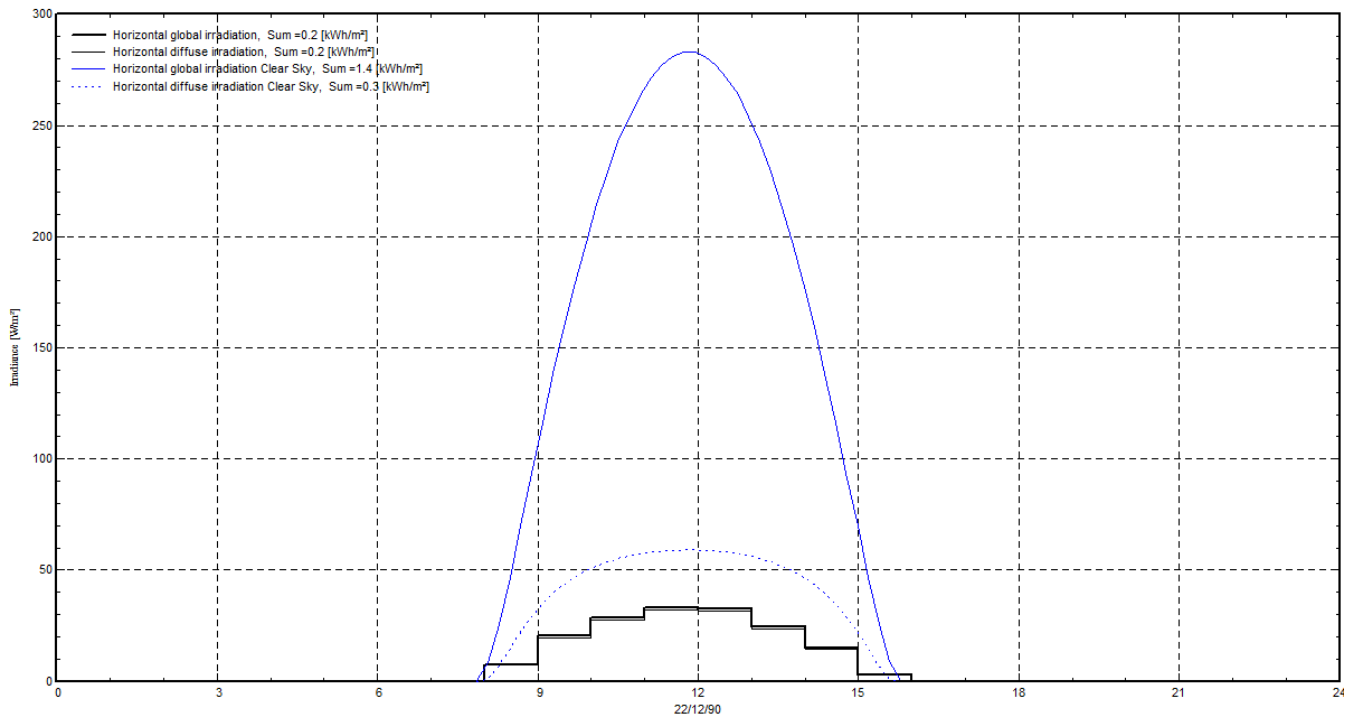
meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data



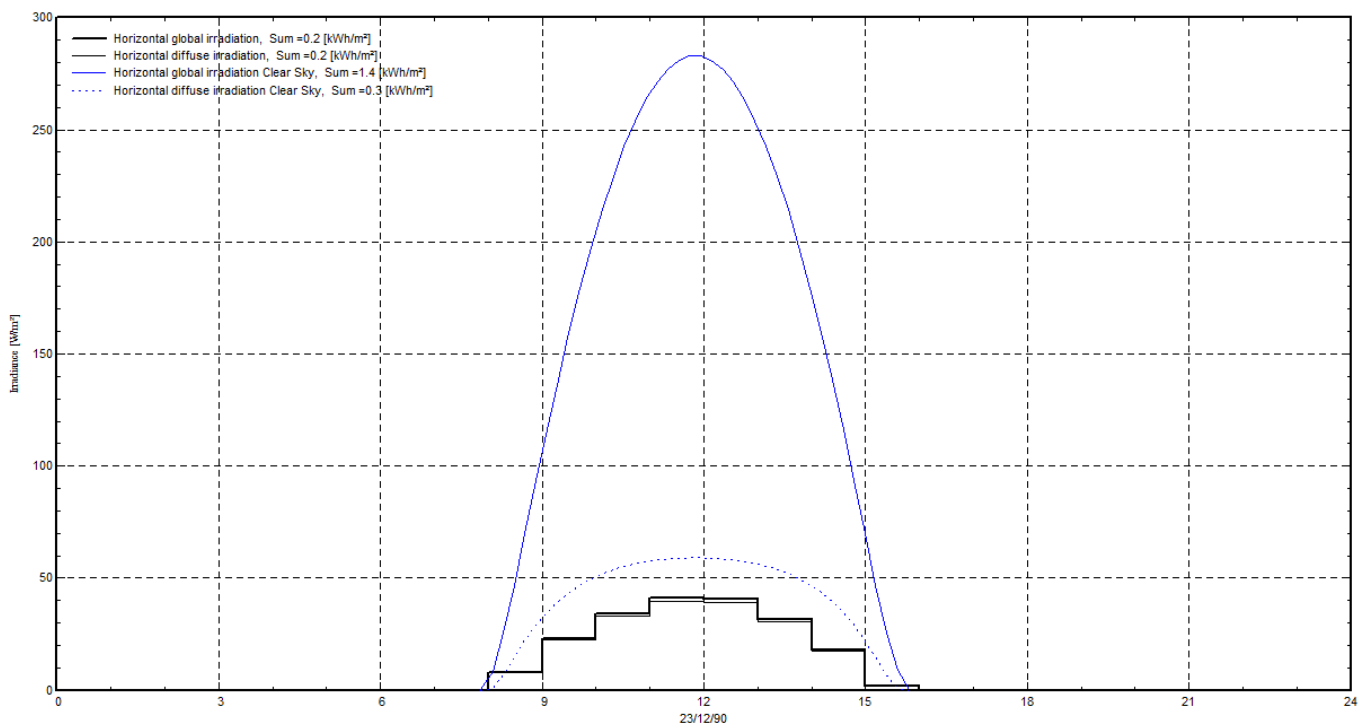
meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data



meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data



meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data



Додаток В
Показники вітрової активності

Таблиця В.1.

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (21.03)

Interval beginning File beginning	WindVel m/s
21/03 00h00	1.5
21/03 01h00	1.3
21/03 02h00	2.9
21/03 03h00	2.2
21/03 04h00	1.2
21/03 05h00	1.6
21/03 06h00	1.4
21/03 07h00	1.3
21/03 08h00	1.6
21/03 09h00	1.9
21/03 10h00	1.6
21/03 11h00	1.4
21/03 12h00	1.8
21/03 13h00	2.6
21/03 14h00	4.9
21/03 15h00	4.6
21/03 16h00	5.3
21/03 17h00	6.4
21/03 18h00	10.2
21/03 19h00	9.1
21/03 20h00	11.7
21/03 21h00	11.0
21/03 22h00	9.6
21/03 23h00	10.2

Таблиця В.2.

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (22.03)

22/03 00h00	6.9
22/03 01h00	6.0
22/03 02h00	7.3
22/03 03h00	5.7
22/03 04h00	2.9
22/03 05h00	2.1
22/03 06h00	1.9
22/03 07h00	3.1
22/03 08h00	2.9
22/03 09h00	4.0
22/03 10h00	4.9
22/03 11h00	5.3
22/03 12h00	3.7
22/03 13h00	3.1
22/03 14h00	3.4
22/03 15h00	2.6
22/03 16h00	4.6
22/03 17h00	4.3
22/03 18h00	4.0
22/03 19h00	3.4
22/03 20h00	1.9
22/03 21h00	1.4
22/03 22h00	1.2
22/03 23h00	1.0

Таблиця В.3.

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (23.03)

meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data

Interval beginning File beginning	WindVel m/s
23/03 00h00	0.9
23/03 01h00	1.6
23/03 02h00	2.2
23/03 03h00	2.9
23/03 04h00	2.2
23/03 05h00	1.8
23/03 06h00	2.2
23/03 07h00	1.8
23/03 08h00	2.4
23/03 09h00	2.4
23/03 10h00	3.1
23/03 11h00	7.8
23/03 12h00	6.9
23/03 13h00	6.4
23/03 14h00	7.3
23/03 15h00	7.8
23/03 16h00	9.1
23/03 17h00	6.4
23/03 18h00	6.0
23/03 19h00	3.4
23/03 20h00	2.9
23/03 21h00	1.8
23/03 22h00	1.4
23/03 23h00	0.9

Таблиця В.4.

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (21.06)

meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data

Interval beginning File beginning	WindVel m/s
21/06 00h00	5.5
21/06 01h00	4.4
21/06 02h00	2.7
21/06 03h00	0.8
21/06 04h00	0.5
21/06 05h00	1.0
21/06 06h00	0.3
21/06 07h00	1.0
21/06 08h00	1.9
21/06 09h00	2.7
21/06 10h00	2.3
21/06 11h00	1.5
21/06 12h00	1.0
21/06 13h00	0.9
21/06 14h00	0.2
21/06 15h00	0.5
21/06 16h00	0.8
21/06 17h00	0.4
21/06 18h00	0.3
21/06 19h00	0.9
21/06 04h00	0.5
21/06 05h00	1.0
21/06 06h00	0.3
21/06 07h00	1.0
21/06 08h00	1.9
21/06 09h00	2.7
21/06 10h00	2.3
21/06 11h00	1.5
21/06 12h00	1.0
21/06 13h00	0.9
21/06 14h00	0.2
21/06 15h00	0.5
21/06 16h00	0.8
21/06 17h00	0.4
21/06 18h00	0.3
21/06 19h00	0.9
21/06 20h00	3.8
21/06 21h00	2.1
21/06 22h00	0.4
21/06 23h00	1.1

Таблиця В.5.

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (22.06)

meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data

Interval beginning File beginning	WindVel m/s
22/06 00h00	0.2
22/06 01h00	0.6
22/06 02h00	3.1
22/06 03h00	2.5
22/06 04h00	3.1
22/06 05h00	2.5
22/06 06h00	2.1
22/06 07h00	5.3
22/06 08h00	3.1
22/06 09h00	1.2
22/06 10h00	1.1
22/06 11h00	1.7
22/06 12h00	3.5
22/06 13h00	3.3
22/06 14h00	1.5
22/06 15h00	2.3
22/06 16h00	2.3
22/06 17h00	2.1
22/06 18h00	1.7
22/06 19h00	0.3
22/06 20h00	0.2
22/06 21h00	0.1
22/06 22h00	0.8
22/06 23h00	0.8

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (23.06)

meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data

Interval beginning File beginning	WindVel m/s
23/06 00h00	0.2
23/06 01h00	0.0
23/06 02h00	0.0
23/06 03h00	0.1
23/06 04h00	0.0
23/06 05h00	0.2
23/06 06h00	0.7
23/06 07h00	0.4
23/06 08h00	0.3
23/06 09h00	0.1
23/06 10h00	0.1
23/06 11h00	0.0
23/06 12h00	0.1
23/06 13h00	0.1
23/06 14h00	0.2
23/06 15h00	0.3
23/06 16h00	0.4
23/06 17h00	0.4
23/06 18h00	1.0
23/06 19h00	0.7
23/06 04h00	0.0
23/06 05h00	0.2
23/06 06h00	0.7
23/06 07h00	0.4
23/06 08h00	0.3
23/06 09h00	0.1
23/06 10h00	0.1
23/06 11h00	0.0
23/06 12h00	0.1
23/06 13h00	0.1
23/06 14h00	0.2
23/06 15h00	0.3
23/06 16h00	0.4
23/06 17h00	0.4
23/06 18h00	1.0
23/06 19h00	0.7
23/06 20h00	1.2
23/06 21h00	1.2
23/06 22h00	0.4
23/06 23h00	0.6

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (21.09)

meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data

Interval beginning File beginning	WindVel m/s
21/09 00h00	1.8
21/09 01h00	0.4
21/09 02h00	0.7
21/09 03h00	0.5
21/09 04h00	0.2
21/09 05h00	0.1
21/09 06h00	0.2
21/09 07h00	0.5
21/09 08h00	2.0
21/09 09h00	3.1
21/09 10h00	3.1
21/09 11h00	3.4
21/09 12h00	1.6
21/09 13h00	1.2
21/09 14h00	1.8
21/09 15h00	3.7
21/09 16h00	3.4
21/09 17h00	2.2
21/09 18h00	3.4
21/09 19h00	5.6
21/09 04h00	0.2
21/09 05h00	0.1
21/09 06h00	0.2
21/09 07h00	0.5
21/09 08h00	2.0
21/09 09h00	3.1
21/09 10h00	3.1
21/09 11h00	3.4
21/09 12h00	1.6
21/09 13h00	1.2
21/09 14h00	1.8
21/09 15h00	3.7
21/09 16h00	3.4
21/09 17h00	2.2
21/09 18h00	3.4
21/09 19h00	5.6
21/09 20h00	1.3
21/09 21h00	3.7
21/09 22h00	2.2
21/09 23h00	2.9

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (22.09)**meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data**

Interval beginning File beginning	WindVel m/s
22/09 00h00	2.2
22/09 01h00	1.6
22/09 02h00	6.1
22/09 03h00	5.6
22/09 04h00	1.3
22/09 05h00	2.5
22/09 06h00	0.8
22/09 07h00	2.0
22/09 08h00	0.8
22/09 09h00	0.5
22/09 10h00	0.7
22/09 11h00	1.2
22/09 12h00	0.3
22/09 13h00	0.4
22/09 14h00	1.6
22/09 15h00	2.9
22/09 16h00	2.7
22/09 17h00	2.0
22/09 18h00	6.6
22/09 19h00	4.5
22/09 20h00	2.0
22/09 21h00	0.8
22/09 22h00	1.5
22/09 23h00	1.8

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (23.09)

meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data

Interval beginning File beginning	WindVel m/s
23/09 00h00	2.7
23/09 01h00	2.2
23/09 02h00	1.8
23/09 03h00	3.7
23/09 04h00	1.5
23/09 05h00	1.2
23/09 06h00	1.0
23/09 07h00	2.2
23/09 08h00	5.2
23/09 09h00	4.1
23/09 10h00	3.4
23/09 11h00	3.1
23/09 12h00	1.8
23/09 13h00	3.1
23/09 14h00	3.7
23/09 15h00	3.4
23/09 16h00	3.4
23/09 17h00	2.2
23/09 18h00	0.5
23/09 19h00	1.8
23/09 04h00	1.5
23/09 05h00	1.2
23/09 06h00	1.0
23/09 07h00	2.2
23/09 08h00	5.2
23/09 09h00	4.1
23/09 10h00	3.4
23/09 11h00	3.1
23/09 12h00	1.8
23/09 13h00	3.1
23/09 14h00	3.7
23/09 15h00	3.4
23/09 16h00	3.4
23/09 17h00	2.2
23/09 18h00	0.5
23/09 19h00	1.8
23/09 20h00	4.1
23/09 21h00	3.4
23/09 22h00	2.9
23/09 23h00	3.1

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (21.12)**meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data**

Interval beginning File beginning	WindVel m/s
21/12 00h00	0.6
21/12 01h00	0.5
21/12 02h00	0.4
21/12 03h00	0.3
21/12 04h00	0.3
21/12 05h00	0.7
21/12 06h00	0.3
21/12 07h00	0.3
21/12 08h00	1.0
21/12 09h00	1.4
21/12 10h00	1.2
21/12 11h00	0.5
21/12 12h00	1.4
21/12 13h00	0.8
21/12 14h00	0.4
21/12 15h00	0.6
21/12 16h00	1.1
21/12 17h00	2.1
21/12 18h00	2.2
21/12 19h00	1.6
21/12 20h00	0.6
21/12 21h00	0.7
21/12 22h00	0.2
21/12 23h00	1.4

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (22.12)**meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data**

Interval beginning File beginning	WindVel m/s
22/12 00h00	2.2
22/12 01h00	2.8
22/12 02h00	2.3
22/12 03h00	3.0
22/12 04h00	2.1
22/12 05h00	2.3
22/12 06h00	2.2
22/12 07h00	2.1
22/12 08h00	1.6
22/12 09h00	2.7
22/12 10h00	2.1
22/12 11h00	2.3
22/12 12h00	3.9
22/12 13h00	2.7
22/12 14h00	1.4
22/12 15h00	2.2
22/12 16h00	2.3
22/12 17h00	1.6
22/12 18h00	1.8
22/12 19h00	1.8
22/12 20h00	1.6
22/12 21h00	1.7
22/12 22h00	2.1
22/12 23h00	2.3

Динаміка зміни швидкості вітру на протязі доби (23.12)**meteo for Cherkasy - Synthetically Generated Data**

Interval beginning File beginning	WindVel m/s
23/12 00h00	1.7
23/12 01h00	2.7
23/12 02h00	3.0
23/12 03h00	3.9
23/12 04h00	1.8
23/12 05h00	1.7
23/12 06h00	1.1
23/12 07h00	1.0
23/12 08h00	1.2
23/12 09h00	2.1
23/12 10h00	3.0
23/12 11h00	3.5
23/12 12h00	4.1
23/12 13h00	3.3
23/12 14h00	3.3
23/12 15h00	3.6
23/12 16h00	3.6
23/12 17h00	3.6
23/12 18h00	2.5
23/12 19h00	1.4
23/12 20h00	1.0
23/12 21h00	0.8
23/12 22h00	1.7
23/12 23h00	1.4

Додаток Г

Специфікація на сонячні модулі VBHN330SJ47/ VBHN325SJ47

Panasonic

Photovoltaic module HIT[®]
VBHN330SJ47/ VBHN325SJ47

N 330
N 325



19.7% module efficiency

Enables reaching a higher output and lower specific installation and balance-of-system costs than with the same number of standard 60-cell modules.



100% Panasonic, 100% HIT[®]

Proudly featuring Panasonic's original invention, the heterojunction solar cell. With over 1 billion cells produced commercially over 18 years, 25 years after the breakthrough in the development and looking back to over 40 years of experience in solar, Panasonic really offers you a 25-year guarantee you can trust.



More energy, higher profit!

Helping you reach a higher final profit with your PV system!



330W/325W

High Efficiency

High Performance
at High Temperatures

High Power
Generation

QUALITY PROVEN 4 WAYS

1 Guaranteed by Panasonic

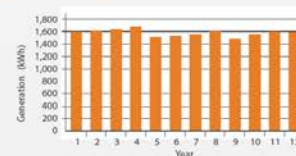
- IEC and over 20 Panasonic internal tests
- Vertically integrated own manufacturing (wafer, cell and module)



3 Less degradation on the field

12 years actual data prove a reliable and stable performance.

Installation: March 2004
Location: Gloucestershire, UK
Model: HP-100SE
System size: 1.80 kWp
Tilt: 40 deg.
Direction: South-West



2 Record low claim rate

Less than 0.0035% failure rate after more than 10 years experience in Europe (as of January 2017)

4 3rd party verified

- Lifecycle testing (Long-Term-Sequential-Test) by TÜV Rheinland (tested on VBHN240SE10)
- PID-free (tested by Fraunhofer Institute)

HIT[®] is a registered trademark of Panasonic Group.

Panasonic Eco Solutions Europe
Panasonic Electric Works Europe AG

www.eu-solar.panasonic.net



Electrical and Mechanical Characteristics

N330/N325

Electrical data (at STC)

	VBHN330S47	VBHN325S47
Max. power (Pmax) [W]	330	325
Max. power voltage (Vmp) [V]	58.0	57.6
Max. power current (Imp) [A]	5.70	5.65
Open circuit voltage (Voc) [V]	69.7	69.6
Short circuit current (Isc) [A]	6.07	6.03
Max. over current rating [A]	15	15
Power tolerance [%] *	+10/-0	+10/-0
Max. system voltage [V]	1000	1000
Solar panel efficiency [%]	19.7	19.4

Note: Standard Test Conditions: Air mass 1.5; Irradiance = 1000W/m²; cell temp. 25°C
 * Maximum power at delivery.

Temperature characteristics

Temperature (NOCT) [°C]	44.0	44.0
Temp. coefficient of Pmax [%/°C]	-0.258	-0.258
Temp. coefficient of Voc [V/°C]	-0.164	-0.164
Temp. coefficient of Isc [mA/°C]	3.34	3.32

At NOCT (Normal Operating Conditions)

Max. power (Pmax) [W]	251.9	249.3
Max. power voltage (Vmp) [V]	56.3	56.1
Max. power current (Imp) [A]	4.54	4.52
Open circuit voltage (Voc) [V]	65.8	65.9
Short circuit current (Isc) [A]	4.89	4.88

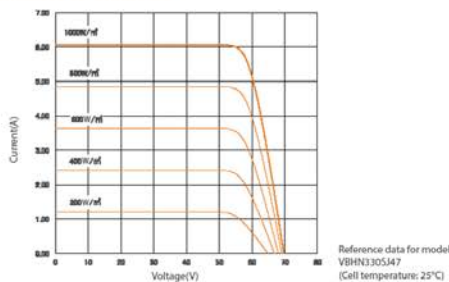
Note: Normal Operating Cell Temp.; Air mass 1.5; Irradiance = 800W/m²;
 Air temperature 20°C; wind speed 1 m/s

At low irradiance (20%)

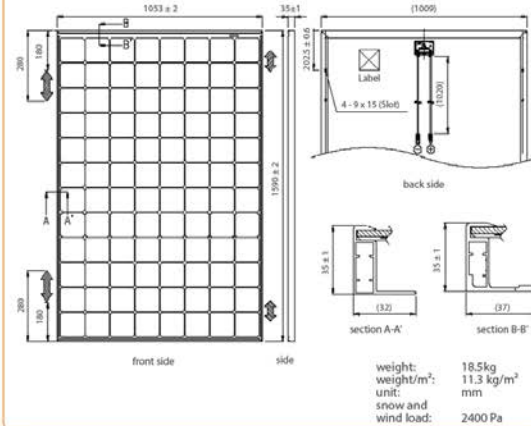
Max. power (Pmax) [W]	63.5	62.3
Max. power voltage (Vmp) [V]	57.0	56.4
Max. power current (Imp) [A]	1.12	1.11
Open circuit voltage (Voc) [V]	65.6	65.3
Short circuit current (Isc) [A]	1.22	1.21

Note: Low Irradiance: Air mass 1.5; Irradiance = 200W/m²; cell temp. = 25°C

Dependence on irradiance



Dimensions and weight



Guarantee

Power output: 10 years (90% of Pmin)
 25 years (80% of Pmin)
 Product workmanship: 25 years (registration necessary on www.eu-solar.panasonic.net, otherwise 15 years apply based on guarantee document)

Materials

Cell material: 5 inch photovoltaic cells
 Glass material: AR coated tempered glass
 Frame materials: Black anodized aluminium
 Connectors type: SMK

Certificates

CLASS UNO
 By TÜV Rheinland
 UNI 8457
 UNI 9174
 UNI 9177



Please consult your local dealer for more information

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.



Panasonic Eco Solutions Europe
 Panasonic Electric Works Europe AG

Robert-Koch-Strasse 100,
 85521 Ottobrunn, Germany
 Tel. +49 89 45354-1000
 Fax +49 89 45354-2111
info.solar@eu.panasonic.com

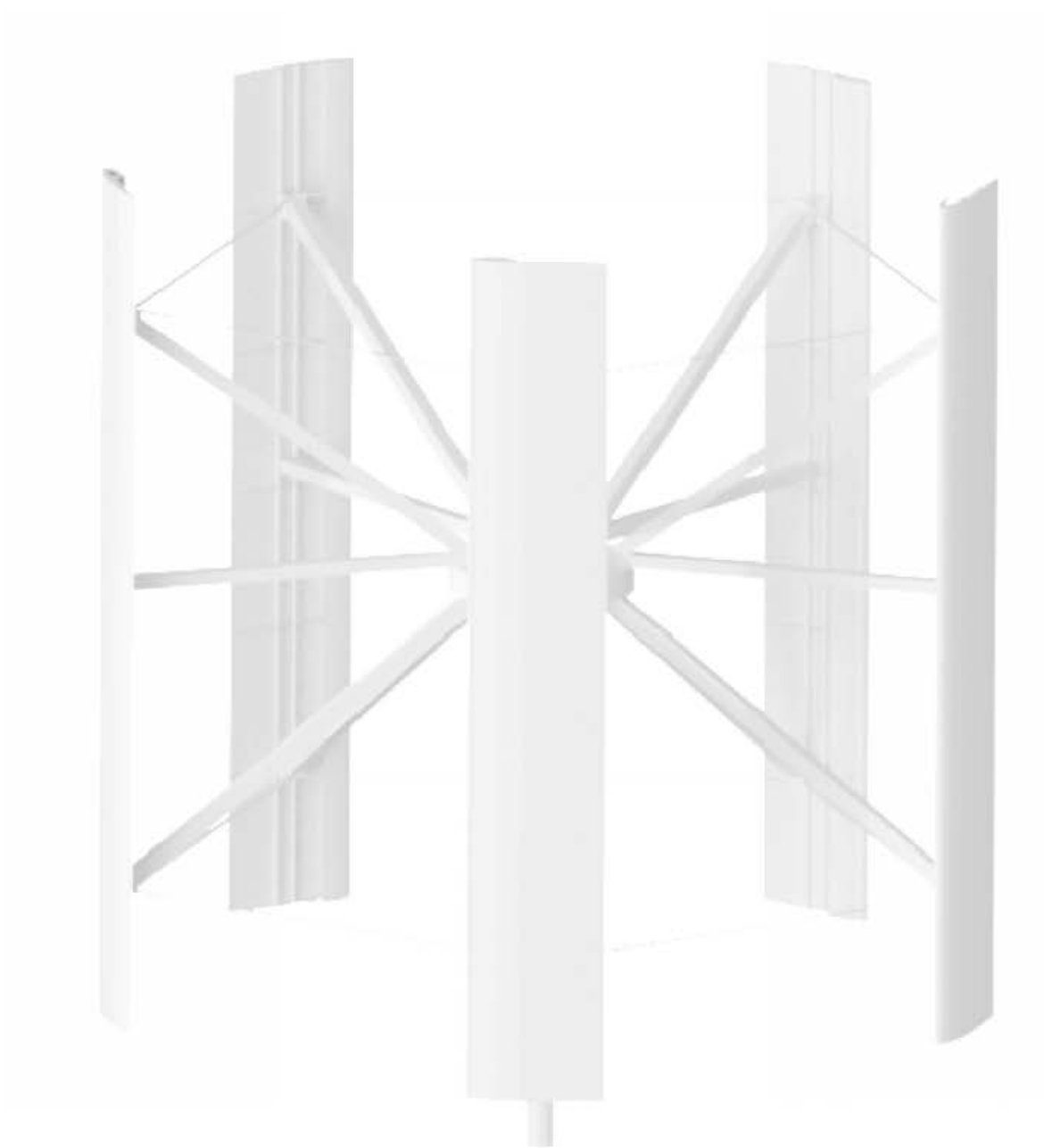
Panasonic

All Rights Reserved © 2015 COPYRIGHT Panasonic Electric Works Europe AG
 Specifications are subject to change without notice.

05/2017

Додаток Д
Специфікація вітрогенератора

VE-3



Specification

General

Axis	Vertical
Height	5 m (16.4 ft)
Width	4.8 m (15.8 ft)
Swept area	16 m ² (260 ft ²)
Weight	360 kg (790 lbs)
Blade materials	AISI 6063, AISI 6063, AISI 304

Performance

Cut-in wind speed	0.9 m/s (2 mhp)
Rated wind speed	8 m/s (18 mhp)
Max power wind speed	12 m/c (27 mhp)
Cut-out wind speed	20 m/c (45 mhp)
Survival wind speed	40 m/c (90 mhp)
Rated RPM	60 RPM
Rated sound level	29 dBa

Electrical generation

Generator type	Permanent magnet three-phase
Drive system	Direct drive
Temperature range	-22F to 122F
Rated power	3000 W
Max power	9000 W
Output voltage:	48-250V/120-600V

