

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**Факультет інженерії
Кафедра електричної інженерії**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**до кваліфікаційної магістерської роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

галузі знань 14 електрична інженерія

**зі спеціальності 141 електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

на тему РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Виконав: студент групи ЕСЕ-21дм

Пархоменко Д. І.

(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Керівник

доц. Філімоненко Н. М.

(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри

доц. Руднєв Є. С.

(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Київ
2022 р.

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії
Кафедра електричної інженерії
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Напрямок підготовки 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

в. о. завідувача кафедри
доц. Руднев Є.С.

« _____ » _____ 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ
СТУДЕНТУ**

Пархоменку Денису Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Керівник проекту Філімоненко Н.М. канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом вищого навчального закладу "12" жовтня 2022 року № 27/15.23-С

2. Строк подання студентом роботи _____ 21 листопада 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

Вихідні дані визначені в переліку питань, що підлягають розробці в магістерській роботі: ХАРАКТЕРИСТИКА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ, СТРУКТУРНА СХЕМА ТА ОБЛАДНАННЯ СЕС, РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, ВИБІР ПЕРЕЛІКУ СПОЖИВЧИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників) презентація – плакати і креслення, що пояснюють суть магістерської роботи _____

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 5	доц. Філімоненко Н.М.		

7. Дата видачі завдання 12 листопада 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/П	НАЗВА ЕТАПІВ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ	СТРОК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ	При-мітка
1	ХАРАКТЕРИСТИКА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	12.10-30.10.2022	
2	ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ. СТРУКТУРНА СХЕМА ТА ОБЛАДНАННЯ СЕС	20.10-10.11.2022	
3	РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	05.11-18.11.2022	
4	ПОРІВНЯННЯ ЗІ СТАЦІОНАРНОЮ СИСТЕМОЮ	12.11-20.11.2022	
5	ВИБІР ПЕРЕЛІКУ СПОЖИВЧИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ	30.10-10.11.2022	
	ОФОРМЛЕННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ	18.11.22-21.11.2022	

Студент

_____ (підпис)

Пархоменко Д.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

_____ (підпис)

доц. Філімоненко Н. М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему: "Розрахунок системи мережевої сонячної електростанції" містить 85 сторінки тексту, 27 рисунків, 12 таблиць, 28 найменувань використаних джерел.

В роботі розглянуті джерела енергії, що існують. Проведено аналіз відновлювальних джерел енергії, які характеризуються природним поповненням за порівняно короткі проміжки часу. Завдяки цьому вони мають постійну потужність.

Зазначено, що використання традиційних ресурсів для отримання корисної енергії призводить до серйозних екологічних наслідків – забруднення навколишнього середовища. Суттєве підвищення енергоефективності національної економіки України є одним із основних шляхів забезпечення національної безпеки, наповнення бюджету, підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції. Таким чином, впровадження енергозберігаючих технологій може скоротити імпорт енергоресурсів і нівелювати політичний тиск на нашу країну з боку експортерів нафти і газу.

Досліджено чинники, що забезпечують ефективність отримання електричної енергії через використання сонячних панелей на сонячних станціях та оцінка можливих втрат і пошук шляхів їх зменшення.

ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, СОНЯЧНЕ
ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ,
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, СОНЯЧНІ
ПАНЕЛІ.

ABSTRACT

MASTER'S WORK: "Calculations of the system of network SOLAR POWER PLANT" contains 85 pages of text, 27 figures, 12 tables, 28 references.

The work considers the existing energy sources. The analysis of renewable energy sources, which are characterized by natural replenishment in relatively short periods of time. Due to this they have constant power.

It is noted that the use of traditional resources for the production of useful energy leads to serious environmental consequences - environmental pollution. Significant increase of energy efficiency of the national economy of Ukraine is one of the main ways to ensure national security, filling the budget, increasing the competitiveness of domestic products. Thus, the introduction of energy-saving technologies can reduce energy imports and level the political pressure on our country from oil and gas exporters.

The factors that ensure the efficiency of electricity generation through the use of solar panels at solar stations and the assessment of possible losses and the search for ways to reduce them are investigated.

RENEWABLE ENERGY SOURCES, SOLAR RADIATION,
ELECTRICAL LOAD, ELECTRICITY SUPPLY, SOLAR POWER PLANTS,
SOLAR PANELS.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	12
1.1 Характеристика відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії	12
1.2 Земля і Сонце. Сонячне випромінювання та його особливості.	13
1.3 Технології використання енергії Сонця	15
1.4. Типи сонячних електростанцій	20
1.5. Структурна схема та обладнання СЕС	25
1.6. Перспективи використання СЕС в Україні	25
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	29
2.1 Розрахунок параметрів системи слідкування за сонцем	29
2.2 . Дизайн СЕС. Вибір сонячних модулів	50
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ВИРОБІТКИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СЕС	61
3.1 Оцінка втрат в системі	61
3.2 Оцінка виробітки електроенергії системи із одновісним слідкуванням за сонцем. Порівняння із стаціонарною системою	67
3.3 Верифікація результатів	69
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ	75
4.1 Вибір переліку споживчих параметрів та визначення комплексного показника якості	75
4.2. Розрахунок операційних витрат на проектування мережевої сонячної електростанції	77
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82

ВСТУП

Найголовнішим джерелом енергії є Сонце: 30% сонячної енергії, яка досягаючи Землі, відбивається назад у космос, 47% витрачається на нагрівання земної поверхні, 22% – на кругообіг води у природі, 0,1% – на утворення вітру, хвиль, океанічних течій і лише 0,03% поглинається під час фотосинтезу. Завдяки фотосинтезу ми маємо головні форми енергії – горючі копалини та біомасу. Щорічно земна поверхня одержує від сонця енергію в кількості $3 \cdot 10^{24}$ Дж. Якщо співставити цю величину з оцінками енергії, що міститься у розвіданих запасах природного газу, вугілля, нафти, урану – то стане зрозуміло, що за один тиждень Земля одержує від Сонця таку кількість енергії, яка більше ніж удвічі перевищує усі відомі запаси енергії на Землі.

Усі джерела енергії можна поділити на відновлювальні й невідновлювальні. Відновлювальні джерела енергії характеризуються природним поповненням за порівняно короткі проміжки часу. Завдяки цьому вони мають постійну потужність. Невідновлювальні джерела енергії характеризуються неможливістю їхнього поповнення після використання.

З початку XIX сторіччя, у період швидкого розвитку техніки, головними джерелами енергії стали природні копалини – вугілля, нафта, природний газ та енергія великих річок, які нині відносять до традиційних джерел енергії. Також згодом до традиційних джерел енергії так само стали відносити енергію атома.

Основними недоліками використання більшості традиційних джерел енергії є:

- невідновлюванність традиційних ресурсів, отже термін їх використання обмежений, і вже зараз існує необхідність пошуку нових методів виробництва енергії;

- використання традиційних ресурсів для отримання корисної енергії призводить до серйозних екологічних наслідків – забруднення навколишнього середовища.

На основі результатів аналізу публікацій визначено тенденції, які будуть притаманні енергетиці сьогодення та в майбутньому [1]:

- переваги будуть надаватися високоякісним видам палива та ефективному використанню розгалуженої інфраструктури (нафто- та газопроводи, потужні та локальні енергосистеми);

- інфраструктура залишатиметься основою енергетичної системи, а потреби в її розширенні будуть зростати;

- переваги в технологічному плані будуть надані комплексам, оснащеним механізмами гнучкого розвитку;

- буде здійснюватися відхід від використання нафти та газу за рахунок кам'яного вугілля, зростання частки якого у світовому ринку енергоносіїв очікується до 40 %;

- зросте роль децентралізованих технологій отримання енергії місцевого значення, особливо в урбанізованих регіонах з розвитком сільського господарства;

- виробництво синтетичних палив, газу та в перспективі водню із природного газу, вугілля та біомаси стане найважливішим на ринку нових технологій;

- найменш ризикованою стратегією буде звернення до "родових технологій": газові турбіни, паливні елементи (паливні та фотобатареї), які з часом стануть не менш важливими, ніж дизельні двигуни та електромотори.

Отже, впровадження енергозберігаючих технологій може скоротити імпорт енергоресурсів і нівелювати політичний тиск на нашу країну з боку експортерів нафти і газу. Крім того, зменшення енергетичної складової собівартості продукції дає змогу Україні стати конкурентоспроможною на зовнішніх ринках. Один із шляхів вирішення вказаної проблеми – треба особливу увагу приділити подальшому розвитку нетрадиційних та

відновлюваних джерел енергії. Їх беззастережною перевагою є невичерпність й екологічна чистота. Невипадково країни Європейського Союзу поступово переходять на використання енергії біомаси, вітру, сонця і води. В енергетичному балансі деяких країн ЄС питома вага нетрадиційних джерел сягає 40%.

В разі виконання прийнятої в Україні Енергетичної Стратегії, частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) буде складати 18,33 млн. т. умовного палива (6 % від загального споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у 2030 р. Для порівняння, країни ЄС у цілому досягли приблизно 12 % внеску ВДЕ вже до 2010 р. Частка ВДЕ в деяких країнах світу, досягнута ще в 2001 р., складала: Норвегія – 45%, Швеція – 29,1%, Нова Зеландія – 25,8%, Фінляндія – 23%, Австрія – 21,5%, Канада – 15,6%, Данія – 10,4%. Практично всі країни світу ставлять за мету значний ріст використання ВДЕ на найближчі десятиліття.

Соціально-економічна необхідність забезпечення України енергоносіями власного видобутку гостро ставить проблему пошуку альтернативних видів палива. Як відомо, до альтернативних джерел енергії відносять енергію сонця, вітру, морів і океанів, тепла землі, біомаси, малих річок та вторинні ресурси, що існують постійно або періодично виникають у навколишньому середовищі. Безперечною перевагою ВДЕ є також те, що їх потенціал постійно відновлюється, а отже, термін використання необмежений.

Згідно з даними міжнародного енергетичного агентства, вже до 2050-го року сонячна енергія може стати головним джерелом електроенергії на планеті. Способи якнайефективнішого використання енергії сонячного світла всебічно досліджують. Зараз існує два головних способи конверсії: з допомогою фотоелементу – сонячне світло перетворюють в електрику через сонячну панель, та через систему лінз і дзеркал – вони концентрують великі об'єми світла в один промінь. Обидва способи використовують сучасні сонячні електростанції – приватні чи державні підприємства, які виробляють

та продають електроенергію. Головна перевага сонячних електростанцій – їхня екологічність. До 2050-го року вони допоможуть скоротити викиди вуглецю на 2,1 млрд. т. щороку [2,3,4,5,6,7,8].

В магістерській роботі розглянуто нетрадиційні джерела електричної енергії. За основу роботи було взято один з провідних напрямків даної галузі – сонячну енергетику. Згідно класифікації сонячних електричних станцій, наведено їх основні відмінності, переваги та недоліки. Розвиток даної галузі енергетики є досить прогресивним і набуває значного попиту. Це стосується як використання модульних фотоелектричних батарей для автономного живлення будинку, так і побудови потужних СЕС на сприятливій для них території, а саме, якщо брати Україну, то на Кримському півострові, центральній, східній та південній частинах України.

У Луганській області на 2013 рік діяла усього одна сонячна електростанція у місті Антрацит потужністю 0,03 МВт. Зазначимо, кліматичні умови Луганщини є сприятливими для розвитку сонячної енергетики: так річні суми радіації та радіаційного балансу діяльної поверхні (МДж/м²) поступають тільки Криму та південним областям (у Луганській області $Q_{\max}=4580$, а у Криму $Q_{\max}=5200$) [9].

Отже, спираючись на вищезазначене, можна сказати, що соціально-економічна необхідність забезпечення України енергоносіями власного видобутку гостро ставить проблему пошуку альтернативних видів палива. Таким – одним з альтернативних видів – є сонячне випромінювання, а один з провідних напрямків даної галузі – сонячна енергетика. Цим обґрунтовується **актуальність роботи.**

Метою дослідження в даній магістерській роботі є розрахунок параметрів і умов необхідних для проектування сонячної мережевої електростанції.

Об'єктом дослідження є процес отримання електроенергії на сонячних електростанціях.

Предметом дослідження є дослідження чинників, що забезпечують ефективність отримання електричної енергії через використання сонячних панелей на сонячних станціях та оцінка втрат і пошук шляхів їх зменшення.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Визначити оптимальний кут розташування сонячної панелі в залежності від пори року.
2. Оптимально розташувати сонячні панелі на обраній ділянці.
3. Підібрати відповідне обладнання для монтажу сонячної електростанції.
4. Розрахувати втрати сонячної електростанції в системі.

В процесі виконання магістерської роботи були використані наступні **методи дослідження**: методи математичної статистики, методи розрахунку інсоляції, методи аналізу геометричних моделей, теорія оптимізації, теорія експертних оцінок.

Структура роботи складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1 Характеристика відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії

Використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) світова спільнота розглядає як один із найбільш перспективних шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення. Наявність невичерпної ресурсної бази та екологічна чистота НВДЕ є визначальними їх перевагами в умовах вичерпання ресурсів органічного палива та зростаючих темпів забруднення довкілля[1-12].

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) – це потоки енергії, що постійно або періодично діють в природі. Загалом усі енергетичні потоки ВДЕ поділяються на дві основні групи – пряма енергія сонячного випромінювання та її вторинні прояви у вигляді енергії вітру, гідроенергії, теплової енергії навколишнього середовища, енергії біомаси тощо.

Основною перевагою використання відновлюваних джерел енергії є їх невичерпність та екологічна чистота, що сприяє поліпшенню екологічного стану і не призводить до зміни енергетичного балансу на планеті.

Недоліком ВДЕ є дискретність енергетичних потоків – періодичність надходження та змінність енергетичного потенціалу. Сучасні технології і обладнання, а також прийоми раціонального використання ВДЕ фактично ліквідували перешкоди щодо їх широкомасштабного впровадження і обумовили бурхливий розвиток енергетики на основі ВДЕ в світі.

Згідно з класифікацією Міжнародного енергетичного агентства до поновлюваних джерел енергії належать такі категорії:

- поновлювальні джерела енергії (ПДЕ), в яких спалюються відходи відходи біомаси;
- промислові відходи: тверді й рідкі матеріали (наприклад, автомобільні покривки), що спалюються безпосередньо, зазвичай на спеціалізованих підприємствах, для виробництва теплової й електричної енергії;
- гідроенергія: потенційна, або кінетична, енергія води, перетворена на електричну енергію за допомогою гідроелектростанцій, як великих, так і малих;
- сонячна енергія: випромінювання Сонця (СВ), що використовується для одержання гарячої води й електричної енергії;
- енергія вітру: кінетична енергія вітру, що застосовується для виробництва електроенергії у вітрових турбінах.

1.2 Земля і Сонце. Сонячне випромінювання та його особливості.

Сонячна енергетика – це галузь науки і техніки, що розробляє наукові основи, методи і технічні засоби використання енергії сонячного випромінювання на Землі і в космосі для отримання електричної, теплової або інших видів енергії і визначає області і масштаби ефективного використання енергії Сонця в економіці країни.

Джерело СВ – Сонце, яке має приблизний радіус в 695 300 км і маси близько 2×10^{30} кг. Температура поверхні Сонця – близько 60000°C , всередині Сонця – близько $400000000^{\circ}\text{C}$. Протягом року Сонце випромінює в космічний простір близько $1,3 \times 10^{24}$ Кал. Земля рухається навколо Сонця по еліптичній орбіті з ексцентриситетом. При цьому її вісь обертання постійно нахилена до площини її обертання навколо Сонця на $66^{\circ}33'$ або $66^{\circ}55'$. Відстань від Землі до Сонця змінюється в межах від 147 до 152 млн.км (в середньому – 149, 6 млн. км.). При цьому, коли Земля знаходиться на

ділянці еліпса, розташованому ближче до Сонця, то вона рухається швидше (близько 30,3 км / с). В протилежному випадку повільніше (близько 29,3 км/с). Через це тривалість істинних сонячних діб на Землі постійно змінюється. Найдовші дні – 23 грудня, коли вони, наприклад на 51 секунду довше, ніж 16 вересня, коли вони самі короткі. При цьому прийнято називати істинними сонячними цілодобово проміжок часу між двома верхніми положеннями центру сонячного диска в суміжні земну добу. Це означає, що якби на Землі враховували зазначені особливості руху Землі відносно Сонця, то довелося б щодня міняти налаштування годин, які повинні йти то повільніше, то швидше. Тому на Землі сьогодні поняття, так званих, середніх сонячних діб, тривалість їх завжди однакова і дорівнює 24 годинам. Час, що вимірюється по так званому середньому Сонцю, називається середнім сонячним часом, а по справжньому Сонцю – істинним сонячним часом. Різниця між ними називається рівнянням часу. Значення останнього на кожен день дається в астрономічних календарях і щорічниках. Наближений графік зміни рівняння часу представлений на рис 1.1. Представлена на ньому крива показує середній час в істинний полудень (максимум висоти центру Сонця над горизонтом)[4].

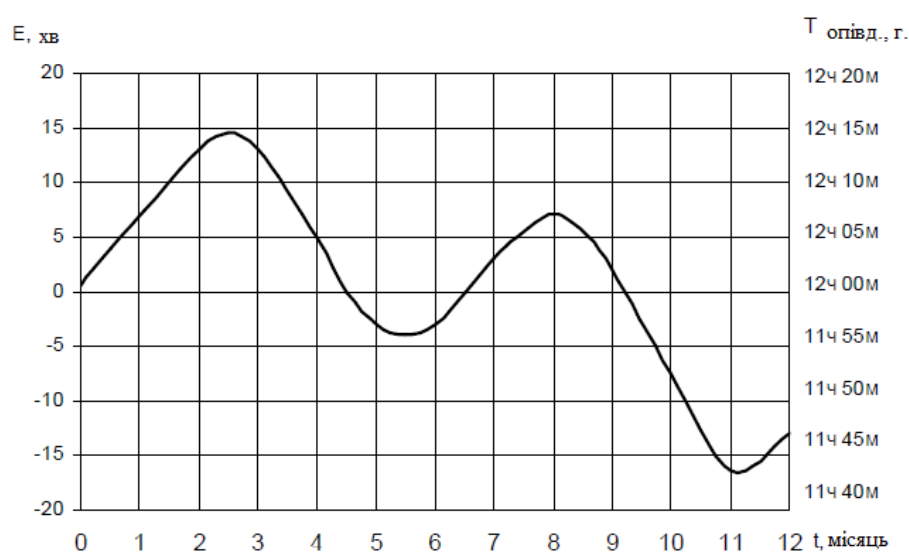


Рис. 1.1 – Графік рівняння часу. Крива показує середній час в істинний полудень

Щосекундне випромінювання Сонця складає $8 \cdot 10^{24}$ кал. теплоти, тобто $1,25 \cdot 10^{16}$ т. у.п. або $1,02 \cdot 10^{20}$ кВт·год. А до Землі доходить невелика частина – біля 10^{18} кВт·год. ($123 \cdot 10^{12}$ т.у.п.) за рік, що у ~ 1000 разів більше від енергії всіх горючих копалин планети.

В космосі густина сонячного потоку сягає $1,35$ кВт/м². До Землі доходить приблизно 50% загальної кількості сонячного випромінювання. Воно проходить через верхній шар атмосфери, де є й розсіяна, й пряма сонячна радіація. Максимальна інтенсивність сонячного випромінювання на поверхні Землі складає близько 1 кВт/м², однак тривалість його становить всього 1-2 години в літні дні. Середня інтенсивність сонячного випромінювання в більшості районів земної кулі становить $200 \div 250$ Вт/м². При створенні та впровадженні сонячного енергетичного обладнання використовуються дані про кількість сумарної сонячної радіації та її складових, періодичність та змінність режимів її надходження [1-12].

Енергія сонячної радіації відносно традиційних видів палива має значні переваги, а саме:

- може бути джерелом місцевого енергетичного палива в різних частинах земної кулі;
- безпосереднє перетворення енергії сонячної радіації в електричну;
- джерело сонячної радіації є невичерпне;
- отримання високих температур ($> 500^{\circ}\text{C}$);
- прискорення дії фотохімічних процесів.

1.3 Технології використання енергії Сонця

Розрізняють два основні види перетворення сонячної енергії: сонячні колектори, в яких сонячна енергія перетворюється спочатку на теплову, а потім, якщо потрібно, на електричну; фотогальванічні елементи, що перетворюють сонячну енергію безпосередньо на електричну [1-12].

1. Сонячні колектори:

а) колектор з тепловою пасткою: використовується прозоре тверде тіло (метилметакрилат), що прилягає до звичайної плоскої пластини. Метилметакрилат має високу пропускну спроможність у видимій та ближній інфрачервоній областях спектру та низьку пропускну спроможність у діапазоні більш довгохвильового випромінювання та малу теплопровідність (рис. 1.2).

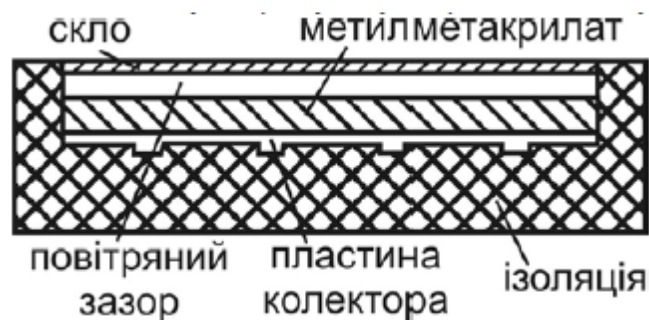


Рис. 1.2 – Сонячний колектор з тепловою пасткою.

Принцип використовується у *сонячних ставках*: вода ставків містить розчинену сіль, концентрація якої збільшується з глибиною, дно ставка затемнене; сонячне випромінювання проникає до дна, нагріває воду нижніх шарів, а конвекційні втрати подавляються наявністю градієнта щільності.

б) параболічні та спіральні концентратори: сонячні промені попадають на віддзеркалюючу поверхню, відбиваються на трубу колектора та нагрівають її та речовину, що знаходиться в ній. Принцип використовується у *сонячних фермах*: на ділянках непридатних для землеробства, гратчасті панелі зі сталевих труб, що ловлять сонячні промені; азот, що циркулює у трубах, збирає тепло та відводить його у резервуари з розплавленими солями, які здатні зберігати високу температуру декілька діб; за потребою цю енергію можна використовувати для виробництва електричного струму.

в) система з центральним колектором: складається з великої кількості керованих дзеркал-геліостатів, які відбивають сонячну радіацію та

спрямовують її на центральний приймач. Принцип використовується у *сонячних електростанціях баштового типу*, де приймач розміщений на високій башті, та у *сонячних пічках*: параболічне дзеркало встановлюється нерухомо та орієнтується на північ (у північній кулі), навпроти нього встановлюються геліостати з системою спостереження за рухом сонця; сонячні промені надходять на геліостати, відбиваються на дзеркало, а потім на приймач – фокус установки.

Якщо у напівпровідниковий матеріал вносити незначні кількості відповідних домішок, то можна змінювати його електричні властивості та отримувати напівпровідникові матеріали з електропровідністю двох основних типів: р-типу зі зв'язаними носіями негативного заряду та вільними носіями позитивного заряду та n-типа зі зв'язаними позитивно зарядженими та вільними негативно зарядженими носіями. Якщо в одному кристалі напівпровідника створити шар двох вказаних типів та освітити поверхню кристала сонячними променями, то носії будуть дифундувати через р-n перехід назустріч один одному, спричиняючи у зовнішньому ланцюгу електричний струм. Принцип використовується у *сонячних батареях*, що можуть встановлюватися на різних спорудах, транспорті та побутових предметах [3].

3. Сонячно-енергетичний потенціал:

Сонячно-енергетичний потенціал визначається за показником сумарної сонячної радіації, що дорівнює:

$$S = D + I \sin \gamma,$$

де S – сумарна сонячна радіація, D – розсіяна радіація, I – пряма радіація, γ - висота Сонця над обрієм.

Для рішення деяких задач геліоенергетики часто використовуються показники тривалості сонячного сяяння та хмарності. Для характеристики режиму хмарності використовують ймовірність похмурого та ясного неба. При цьому приймається небо похмурим, якщо кількість хмар перевищує 8 балів, і ясним, якщо кількість хмар не перевищує 2-х балів.

Надходження сумарної сонячної радіації на територію визначається наступними географічними чинниками: географічною широтою, часом доби, хмарністю та особливостями підстелюючої поверхні (рис.1.3).

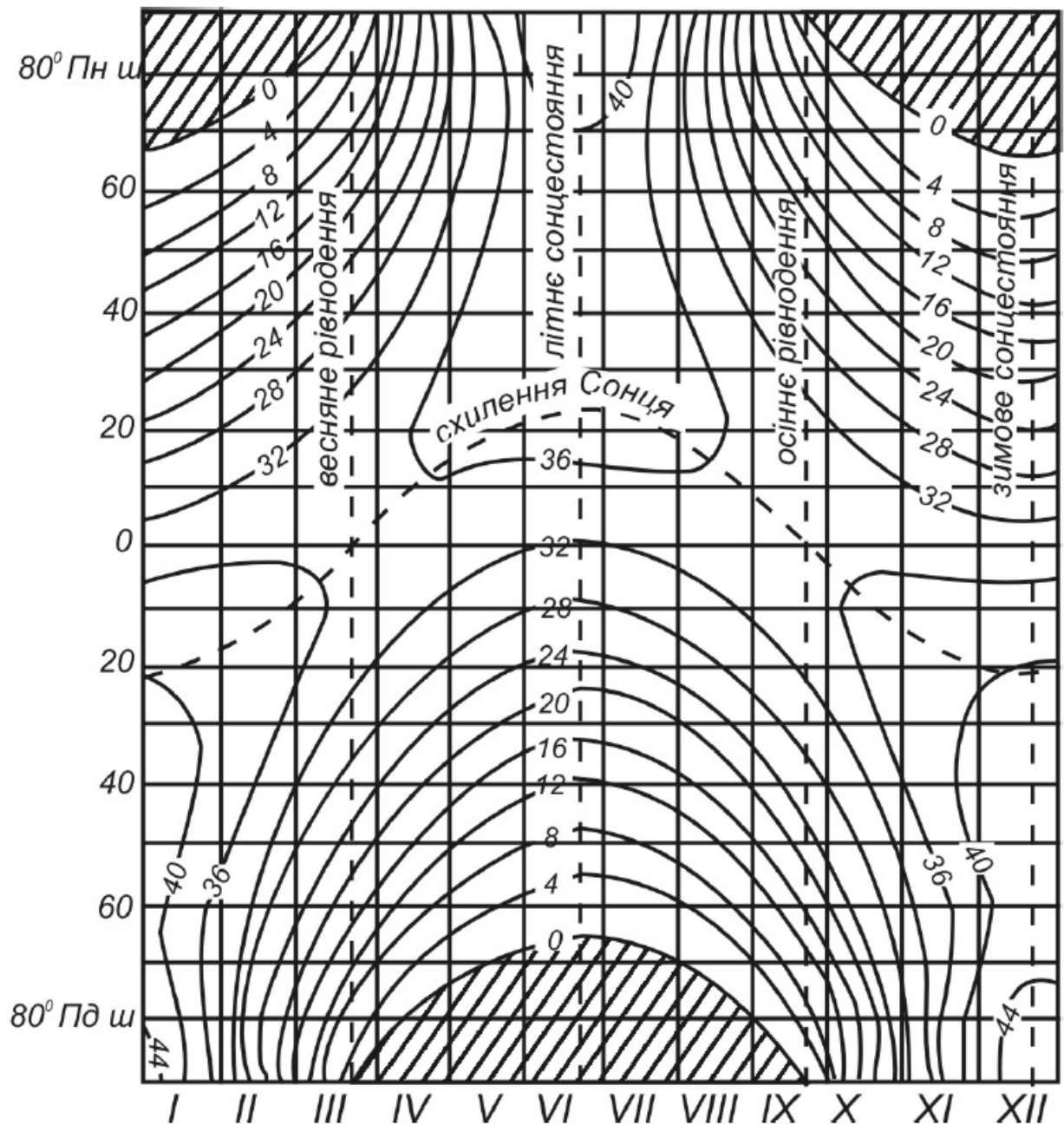


Рис. 1.3 – Додова інсоляція на верхній межі атмосфери (МДж/м²) як функція широти та пори року

4. Сонячні електростанції:

Сонячні електростанції (СЕС) є ще недостатньо вивченими об'єктами, тому віднесення їх до екологічно чистих не є повністю обґрунтованим. У найкращому випадку до екологічно чистої можна віднести кінцеву стадію – стадію експлуатації СЕС.

Сонячна енергетика включає два принципово різних способи використання сонячної енергії: сонячні батареї, що дають змогу перетворювати світлову енергію на електричний струм; сонячні колектори, де світлова енергія сонячних променів перетворюється на теплову і відводиться за допомогою теплоносія. Вплив цих об'єктів на стан навколишнього середовища суттєво різниться.

Сонячні станції обох видів є достатньо землемісткими. Питома землемісткість СЕС змінюється від 0,001 до 0,006 га/кВт з найбільш вірогідними значеннями 0,003-0,004 га/кВт, до того ж у приведених показниках землемісткості не враховуються вилучення земель на стадіях видобутку та обробки сировини. Це менше, ніж для ГЕС, проте більше ніж для ТЕС і АЕС. При цьому потрібно враховувати той факт, що сонячні електростанції також значно матеріаломісткі (метал, скло, бетон тощо). Для енергетики майбутнього необхідно було б переробити 48 млрд. т. гірських порід, а на усі потреби людства зараз видобувається біля 20 млрд. т. Відомо, що гірничо-видобувна промисловість посідає перше місце за вилученням земельних ресурсів. У винятку створення СЕС з сонячними ставками питома землемісткість збільшиться, а також збільшиться небезпека забруднення підземних вод розсолами.

Сонячні колектори можуть спричиняти великі за площею затемнення земель, що призводить до значних змін ґрунтів, рослинності тощо. Небажану екологічну дію в районі розташування станції викликає нагрівання повітря при проходженні через нього сонячного випромінювання, сконцентрованого дзеркальними відбивачами. Це призводить до зміни теплового балансу, вологості, напрямку вітрів; у деяких випадках можливі перегрів і займання

систем, що використовують концентратори, з усіма наслідками, що виходять звідси. Застосування низько киплячих рідин і неминучі їх вибіги в сонячних енергетичних системах під час тривалої експлуатації можуть призвести до значного забруднення ґрунту й питної води. Особливу небезпеку представляють рідини, що вміщують хромати і нітрити, що є високотоксичними речовинами.

1.4 Типи сонячних електростанцій

Країни у всьому світі вирішують будувати сонячні електростанції. Людство все більше турбується про збереження навколишнього середовища, завдяки чому воно усвідомлює важливість та користь сонячної енергії, а також те, що фінансово вона доступна. Існує багато різних типів сонячних електростанцій. Користь від них можна мати пасивну та активну[2-17].

Активне використання сонячної електростанції – це коли енергію сонця спрямовують одразу на живлення будь-якої стандартної домашньої техніки. Пасивне використання сонячної енергетики відбувається, коли оселі та будівлі спроектовані таким чином, що отримують максимальну вигоду від сонячних променів.

По всьому світу збудовано різні види сонячних електростанцій. Серед них ті, які працюють з допомогою фотоелементів, сонячні теплові електростанції та концентруючі сонячні електростанції.

Є три основні типи СЕС:

1. Сонячні теплові електростанції. Вони використовуються для створення нагрівачів, які можуть загрити воду чи бути обігрівачем всередині оселі. У спеціальних теплових комірках збирається енергія, що спродукована сонцем, яку потім перетворюють у теплову енергію. Її можна використати також для приготування їжі і для сушіння одягу. нижчі температури придатні для нагрівання води, наприклад, у басейнах. Середні температури використовують для обігріву осель чи офісів всередині. З допомогою високих

температур можна продукувати електрику для щоденних потреб в оселях та офісах (рис. 1.4.).



Рис. 1.4 – Теплова система нагрівання води

2. Сонячні електростанції, які працюють за допомогою фотоелементів. Це найвдаліший замітник звичайної електрики, яка живить техніку в оселях. Фотоелектричні комірки схоплюють енергію, генеровану сонцем і перетворюють її на електрику. Процес конверсії - чистий та простий, в атмосферу не потрапляє жодних шкідливих хімічних сполук чи диму. Чимало компаній прийняли рішення встановити у своїх приміщеннях сітки з фотоелектричними перетворювачами, щоб добути з них максимум енергії та знизити залежність від традиційних джерел електрики.

3. Концентруючі сонячні електростанції працюють за тим самим принципом, що й сонячні електростанції, які працюють за допомогою фотоелементів. Додатковим елементом є використання лінз і дзеркал, щоб зібрати енергію променів сонця. Сонячне світло спрямовують у фотоелектричні комірки, де його перетворюють у теплову енергію. Зазвичай, такий тип електростанцій використовують дуже великі компанії, які таким чином утилізують сонячну енергію.

Усі сонячні електростанції (СЕС) поділяють на декілька типів:

- СЕС баштового типу;
- СЕС тарільчатого типу;
- СЕС з використанням фотобатареї;

- СЕС з використанням параболічних концентраторів;
- комбіновані СЕС;
- аеростатні сонячні електростанції.

СЕС баштового типу. Дані електростанції засновані на принципі отримання водяної пари з допомогою сонячної радіації. У центрі станції стоїть вежа заввишки від 18 до 24 метрів (залежно від потужності та інших параметрів висота може більше або менше), на вершині якої розміщений резервуар із жовтою водою. Цей резервуар покритий чорним кольором для поглинання теплового випромінювання. Також у цій вежі перебуває насосна група, що доставляє пар на турбогенератор, який перебуває поза вежею. По колу від вежі на деякій відстані розташовуються геліостати. Геліостат – дзеркало площею кілька кв. метрів, закріплене на опорі і підключене до спільної системи позиціонування. Тобто, залежно від становища сонця, дзеркало змінюватиме свою орієнтацію у просторі. Основне завдання - це позиціонування всіх дзеркал станції так, щоб будь-якої миті часу усі відбиті промені від нього потрапили на резервуар. У ясний сонячний день температура в резервуарі може становити 700 градусів. Такі температурні параметри використовуються більшості традиційних теплових електростанцій, для отримання енергії використовуються стандартні турбіни. Фактично на станціях подібного типу можна отримати порівняно великий ККД (близько 20%) і високі потужності.

СЕС тарілчастого типу. Цей тип СЕС використовує принцип отримання електроенергії схожий з баштовими СЕС, але є відмінності у конструкції самої станції. Станція складається з окремих модулів. Модуль складається з опори, яку кріпиться фірмова конструкція приймача і відбивача. Приймач перебуває в деякому віддаленні відбивача, у ньому концентруються відбиті промені сонця. Відбивач складається з дзеркал у вигляді тарілок. Діаметри цих дзеркал досягають 2 метрів, а кількість дзеркал - кілька десятків (залежно від потужності модуля). Такі станції можуть складатись як з одного модуля (автономні), так і з кількох десятків (робота паралельно з мережею)[4].

СЕС з використанням фотобатареї. Дані СЕС широко застосовуються для енергозабезпечення як малих, так і великих об'єктів (приватні котеджі, пансіонати, санаторії, промислові споруди тощо. буд.). Встановлюватись фотобатареї можуть практично будь-де, від покрівель і фасадів, і до спеціально виділених територій. Встановлені потужності теж коливаються в широкому діапазоні, починаючи з постачання окремих насосів, закінчуючи електропостачанням невеликого селища.

СЕС з використанням параболічних концентраторів (рис. 1.5). Принцип роботи даних СЕС залежить від нагрівання теплоносія до параметрів, придатних до використання у турбогенераторі[7-19].

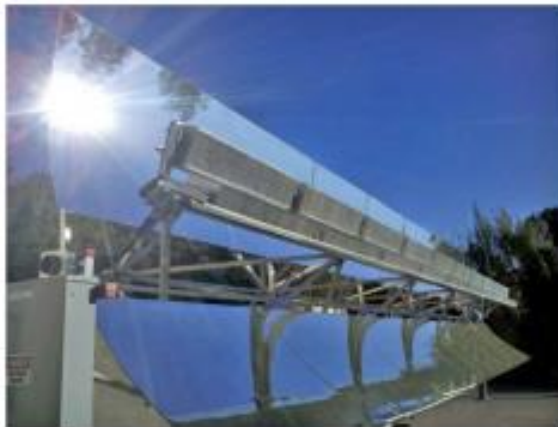


Рис.1.5 – СЕС, що використовує параболічні концентратори

Конструкція СЕС. на фірмовій конструкції встановлюється параболічне дзеркало великої довжини, а в фокусах параболи встановлюється трубка, через яку тече теплоносій (найчастіше олія). Пройшовши весь шлях, теплоносій розігрівається й у теплообмінних апаратах віддає теплоту воді, яка перетворюється на пар і завдяки цьому працює турбогенератор.

Комбіновані СЕС. Часто на СЕС різних типів додатково встановлюють теплообмінні апарати щоб одержати тепло, що використовується як для технічних потреб, так і для гарячого водопостачання та опалення. У цьому сутність комбінованих СЕС. На одній території можлива паралельна

установка концентраторів і фотобатарей, що теж вважається комбінованою СЕС.

Аеростатні сонячні електростанції. Сонячні аеростатні електростанції можуть стати одним з можливих нових напрямків, які дозволять більш ефективно використовувати сонячну енергію. Основний елемент сонячних аеростатних електростанцій – аеростат – може бути виведеним на декілька кілометрів над поверхнею Землі, вище хмар, що забезпечить безперервне використання сонячної енергії на протязі дня[19].

Принципова схема роботи сонячної аеростатної електростанції (САЕС) з паровою турбіною полягає в поглинанні поверхнею аеростата сонячного випромінювання і нагрівання в результаті водяної пари, що знаходиться всередині (рис. 1.6). При цьому оболонка аеростата виконується двошаровою. Сонячні промені, проходячи через зовнішній прозорий шар, нагрівають внутрішній шар оболонки з нанесеним покриттям, яке поглинає сонячне випромінювання. Водяна пара, що знаходиться всередині оболонки, нагрівається тепловим потоком, який потрапляє через оболонку, до 100–150°C.

Прошарок газу (повітря) між шарами, виконуючи роль теплоізоляції, зменшує втрати теплоти в атмосферу. Тиск пари практично дорівнює тиску зовнішнього повітря. Водяна пара гнучким паропроводом подається на парову турбіну, потім конденсується в конденсаторі, вода з конденсатора знову подається помпами у внутрішню частину оболонки, де випарюється при контакті з перегрітою водяною парою. ККД такої установки може складати 25%, причому завдяки запасу водяної пари у внутрішній частині аеростата установка може працювати і вночі. При діаметрі аеростата 150 м і розміщенні на висоті 5 км установка може мати потужність 2 МВт.

Такі САЕС можуть розташовуватися в декілька сотень метрів над поверхнею Землі або над поверхнею моря із силовою установкою на платформах з якорем, до платформ також кріпиться аеростат. При розташуванні аеростата на висоті 5–7 км забезпечується робота САЕС

незалежно від погодних умов. При цьому силова паротурбінна установка може розташовуватися на землі або в люльці аеростата з передачею електроенергії по кабелю на землю. На сьогодні існує досвід використання таких САЕС на Тайвані.

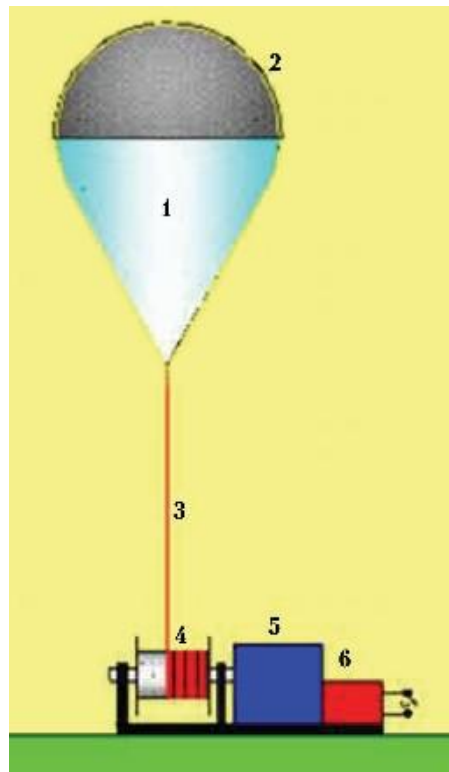


Рис. 1.6 –Аеростатна сонячна електростанція: 1 – оболонка балона аеростата; 2 – тонкоплівкові сонячні елементи; 3 – канат з електричним кабелем; 4 – барабан; 5 – електромотор-редуктор; 6 – інвертор

1.5 Структурна схема та обладнання СЕС

Структурна схема типової мережевої сонячної електростанції[20-23], показана на рис. 1.7.

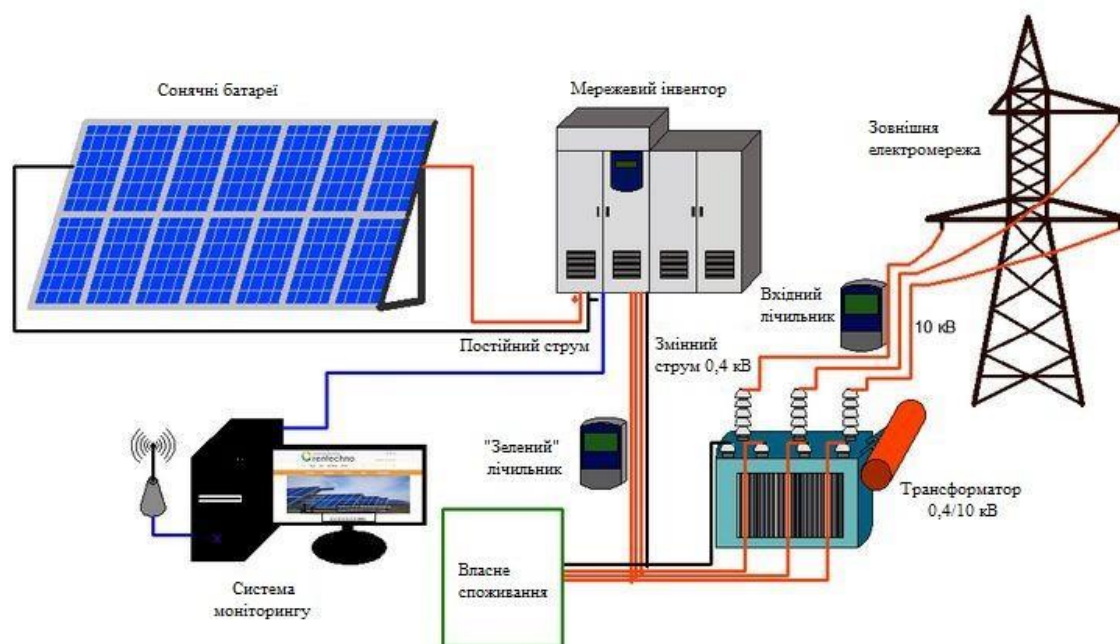


Рис. 1.7 – Структурна схема типової мережевої сонячної електростанції[20-23]

До складу мережевої сонячної електростанції входять наступні елементи:

- сонячні батареї, що виробляють постійний струм під дією сонячного випромінювання, що потрапляє на їхню поверхню;
- мережеві інвертори, що перетворюють постійний струм (DC), генерований сонячними панелями, в змінний струм (AC);
- система моніторингу СЕС, що дозволяє відстежувати параметри роботи сонячної електростанції;
- лічильники, призначені для моніторингу продуктивності системи і продажу електроенергії за "зеленим" тарифом;
- підтримувальні металоконструкції для розміщення сонячних батарей на поверхні землі, даху будівлі і тому подібне або рухливі поворотні сонячні трекери;
- централізована мережа - лінія електропередач (ЛЕП), до якої приєднана електростанція;

– власні споживачі електроенергії (промислові або побутові електроприлади)[8].

1.6 Перспективи використання СЕС в Україні

В Україні річне надходження сонячного випромінювання перебуває на одному рівні з країнами, які активно використовують сьогодні сонячні колектори (Швеція, Німеччина, США тощо). Уся територія України придатна для розвитку систем теплопостачання з використанням сонячної енергії. Найперспективнішими регіонами країни для розвитку сонячної енергетики є Кримський півострів та степова Україна.

В Україні існують достатньо сприятливі умови для використання сонячної енергії. Річний технічно досяжний енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні еквівалентний 6 млн. т. у. п., його використання дозволило б замінити біля 5 млрд. м³ природного газу. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що потрапляє на 1 м² поверхні, на території України знаходиться в межах від 1070 кВт·год/м² в її північній частині до 1400 кВт·год/м² та вище на півдні України.

2010 року Україна рік не мала жодної великої сонячної електростанції, 2011-го в країні вже працювали батареї потужністю 67,55 МВт, у Криму було збудовано найбільший сонячний парк Європи та світу. За короткий час Україні вдалося зробити ривок і вийти в перші ряди за темпами розвитку фотовольтаїки [9].

В Україні найбільш перспективними сьогодні є такі напрями використання сонячної енергії як:

– безпосереднє її перетворення в низько-потенційну теплову енергію без попередньої концентрації потоку сонячної радіації (для гарячого водопостачання об'єктів, комунально-побутового та технологічного

теплопостачання, потреб сільського господарства) з коефіцієнтом корисної дії 45-60%, а в разі застосування концентраторів – 80 -85%;

– безпосереднє її перетворення в електричну енергію постійного струму за допомогою фотоперетворювачів (фото-модулів) в середньому з ККД 10-15%, хоча існують перспективні розробки з ККД близько 30%.

Оптимально підібране устаткування зменшує річне використання енергії для підігріву води на 50-60% і енергії з мережі на 50-70%. У період з квітня по вересень правильно встановлена система покриває 95% витрат тепла та енергії.

Враховуючи все вище сказане, можна зробити висновок про доцільність спорудження СЕС в Україні різної потужності. Зокрема, як автономне джерело електропостачання будинків чи малих підприємств, а також каскаду електростанцій для генерації потужності в мережу в районах Кримського півострову, південної, центральної та східної України[10].

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

2.1 Розрахунок параметрів системи слідкування за сонцем

Для того, щоб використовувати сонячну енергію, потрібно знати видимий шлях Сонця на протязі дня, хоча в більшості випадків не потрібно визначати точне положення Сонця в певний момент часу. Це в свою чергу зменшує кількість обчислень, необхідних для визначення шляху Сонця, а отже можна знехтувати довготою місцезнаходження[4,5,25].

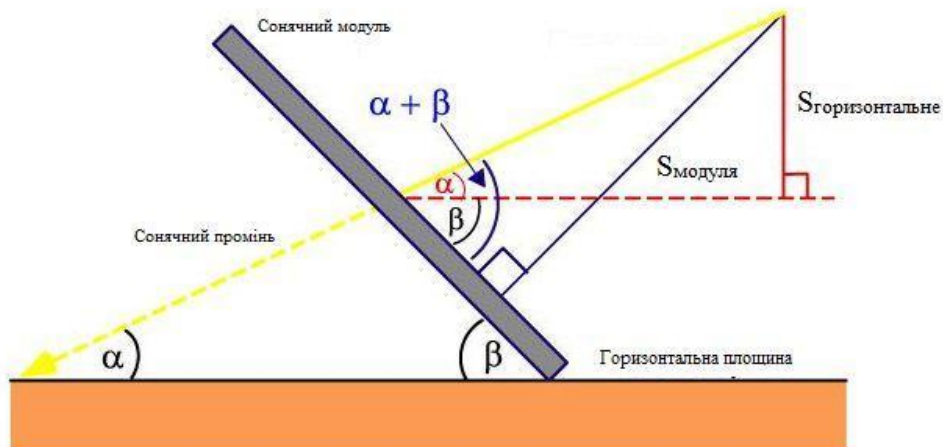


Рис. 2.1 – Сонячне випромінювання, що падає на похилу поверхню

Через нахил Земної осі обертання відносно нормалі до площини свого руху навколо Сонця ($23,45^\circ$), позиція Сонця на небосхилі впродовж року опівдні не є однаковою. Позначимо схилення Землі відносно Сонця як d .

Таким чином, у північній півкулі на широті φ у найвищій точці сонцестояння позицію сонця можна описати величиною a :

$$\alpha = 90^\circ - j + d; \quad (2.1)$$

$$d = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (284 + n)\right); \quad (2.2)$$

де n – номер дня у році.

Для того щоб описати рух Сонця по небосхилі впродовж дня потрібно знати часовий кут w_s , який даватиме інформацію про обертання Землі відносно своєї осі впродовж дня по годинах (ST – локальний час землі, від 0-24 годин). Часовий кут – це кут між координатами довготи і координатами широти, в якій Сонце проходить через меридіан, тобто в найвищій точці, яку щоденно досягає рух Сонця. Знаючи даний кут, можна побачити, як буде рухати трекер впродовж дня.

$$w_s = (ST - 12) \cdot \frac{360^\circ}{24} = w_s = (ST - 12) \cdot 15^\circ. \quad (2.3)$$

$$\sin a = \sin j \cdot \cos d + \cos d \cdot \cos w_s. \quad (2.4)$$

$$\sin g_s = \frac{\cos d \cdot \sin w_s}{\cos a} \quad (2.5)$$

Формули 2.4 та 2.5 дозволяють охарактеризувати шлях Сонця в будь-якому місці і часі. Рисунок 2.3. показує шлях Сонця в усереднені дні кожного місяця на місцях з широтою $j=49^\circ$.

Таблиця 2.1 – Схиляння Землі d для кожного дня року

№ дня	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
1	23.01°	17.52°	8.29°	2°	14.9°	22.04°
2	22.93°	17.25°	7.91°	4.41°	15.21°	22.19°
3	22.84°	16.97°	7.53°	4.81°	15.52°	22.3°
4	22.75°	16.68°	7.15°	5.2°	15.82°	22.42°
5	22.65°	16.4°	6.76°	5.6°	16.11°	22.54°
6	22.54°	16.11°	6.38°	5.99°	16.4°	22.65°
7	22.42°	15.82°	5.99°	6.38°	16.69°	22.75°
8	22.3°	15.52°	5.6°	6.76°	16.97°	22.84°
9	22.17°	15.21°	5.2°	7.15°	17.25°	22.93°
10	22.04°	14.9°	4.81°	7.53°	17.52°	23.01°
11	21.9°	14.59°	4.41°	7.91°	17.78°	23.09°
12	21.75°	14.27°	4.02°	8.29°	18.04°	23.15°
13	21.6°	13.95°	3.62°	8.67°	18.3°	23.21°
14	21.44°	13.62°	3.22°	9.04°	18.55°	23.27°
15	21.27°	13.29°	2.82°	9.41°	18.79°	23.31°
16	21.1°	12.95°	2.42°	9.78°	19.03°	23.35°
17	20.92°	12.62°	2.02°	10.15°	19.26°	23.38°
18	20.73°	12.27°	1.61°	10.51°	19.49°	23.41°
19	20.54°	11.93°	1.21°	10.87°	19.71°	23.43°
20	20.34°	11.58°	0.81°	11.23°	19.93°	24.44°
21	20.14°	11.23°	0.4°	11.58°	20.14°	23.45°
22	19.83°	10.87°	0°	11.93°	20.34°	23.44°
23	19.71°	10.51°	0.4°	12.27°	20.54°	23.43°
24	19.49°	10.15°	0.81°	12.62°	20.73°	23.42°
25	19.26°	9.78°	1.21°	12.95°	20.92°	23.40°
26	19.03°	-9.41°	1.61°	13.29°	21.1°	23.37°
27	18.79°	9.04°	2.02°	13.62°	21.97°	23.33°
28	18.55°	8.67°	2.42°	13.95°	21.44°	23.29°
29	18.3°		2.82°	14.27°	21.6°	23.24°
30	18.04°		3.22°	14.59°	21.79°	23.18°
31	17.78°		3.62°		21.9°	

Продовження таблиці 2.1

№ дня	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
1	23.12°	18.17°	8.1°	3.82°	15.04°	21.97°
2	23.04°	17.91°	7.72°	4.22°	15.37°	22.11°
3	22.97°	17.65°	7.34°	4.61°	15.67°	22.24°
4	22.88°	17.38°	6.96°	5.01°	15.96°	22.36°
5	22.79°	17.11°	6.57°	5.4°	16.26°	22.48°
6	22.69°	16.83°	6.183°	5.79°	16.55°	22.59°
7	22.59°	16.54°	5.79°	6.18°	16.83°	22.69°
8	22.48°	16.25°	5.4°	6.57°	17.11°	22.79°
9	22.36°	15.96°	5.01°	6.96°	17.38°	22.88°
10	22.23°	15.67°	4.61°	7.34°	17.65°	22.97°
11	22.10°	15.36°	4.22°	7.72°	17.91°	23.04°
12	21.96°	15.06°	3.82°	8.1°	18.17°	23.12°
13	21.82°	14.74°	3.42°	8.48°	18.42°	23.18°
14	21.67°	14.43°	3.02°	8.86°	18.67°	23.24°
15	21.51°	14.11°	2.62°	9.23°	18.91°	23.29°
16	21.35°	13.78°	2.22°	9.6°	19.15°	23.33°
17	21.18°	13.46°	1.81°	9.97°	19.38°	23.37°
18	21.01	13.12°	1.41°	10.33°	19.6°	23.40°
19	20.82°	12.79°	1.01°	10.69°	19.82°	23.42°
20	20.64°	12.45°	0.61°	11.05°	20.03°	23.43°
21	20.44°	12.1°	0.2°	11.4°	20.24°	23.44°
22	20.24°	11.75°	0.2°	11.75°	20.44°	23.45°
23	20.03°	11.4°	0.61°	12.1°	20.64°	23.44°
24	19.82°	11.05°	1.01°	12.45°	20.82°	23.43°
25	19.6°	10.69°	1.41°	12.79°	21.01°	23.41°
26	19.38°	10.33°	1.81°	13.12°	21.18°	23.38°
27	19.15°	9.97°	2.22°	13.46°	21.35°	23.35°
28	18.91°	9.6°	2.62°	13.78°	21.52°	23.31°
29	18.67°	9.23°	3.02°	14.11°	21.67°	23.26°
30	18.42°	8.86°	3.42°	14.43°	21.83°	23.21°
31		8.48°		14.74°		23.15°

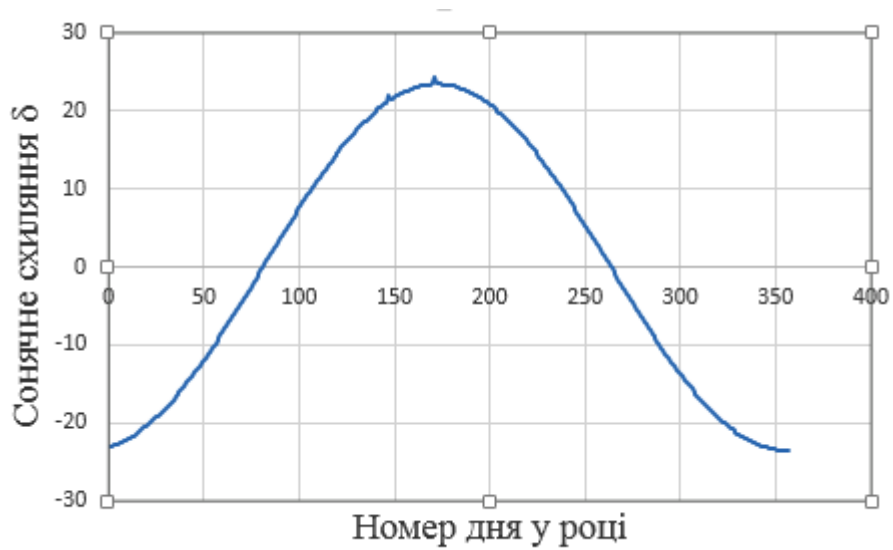


Рис. 2.2 – Сонячне схиляння δ протягом року залежно від номера дня: 1 січня – день 1-й; 31 грудня – день 365-й

Таблиця 2.2 – Рух Сонця по небосхилі впродовж дня

Година	Кут
5	-105°
6	-90°
7	-75°
8	-60°
9	-45°
10	-30°
11	-15°
12	0°
13	15°
14	30°
15	45°
16	60°
17	75°
18	90°
19	105°

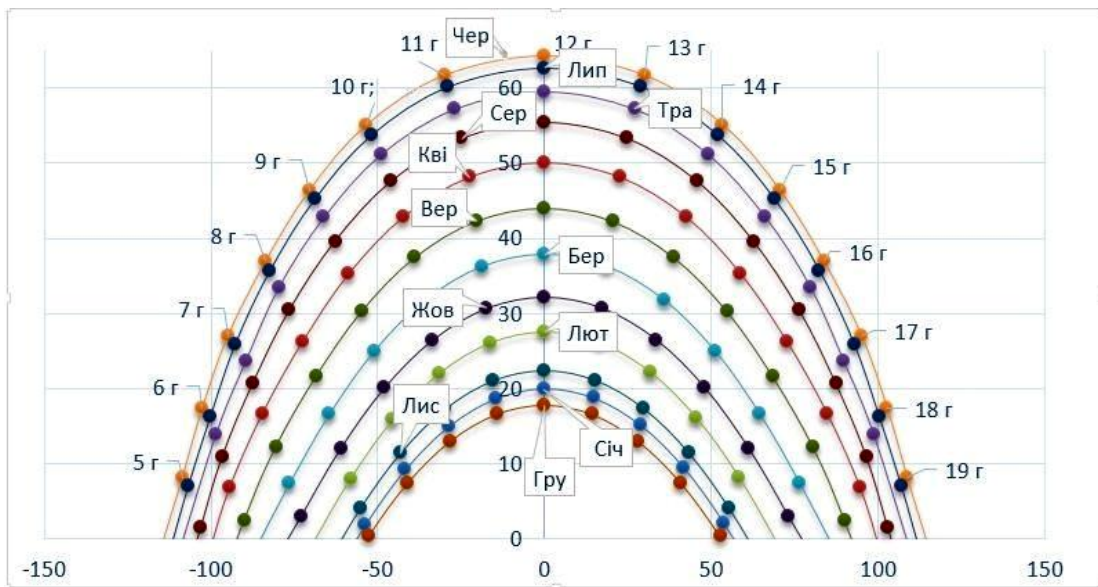


Рис. 2.3 – Середні значення сонячного шляху в день для кожного місяця на широті $j=49^\circ$

2.1.1. Визначення оптимального кута нахилу сонячних модулів. Нехай величина падаючого потоку на перпендикулярну площу задана, це значення сонячної сталої для атмосферної маси, відмінної від нуля (P_i).

$$P_{rov} = P_i \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot n, \quad (2.6)$$

де n – кількість днів у місяці;

$(\alpha + \beta)$ – кут під яким сонячне проміння падає на модуль.

Підставивши дані у формули 2.6 та 2.7, було знайдено оптимальне значення кута $b=41^\circ$ для місцевості із координатами (49.6587, 23.9838), під яким сонячний модуль має бути нахилений до горизонту.

Тепер можна розрахувати, який потік падатиме на поверхню заданої площі, якщо її кут до горизонту (β) та кут Сонця на небосхилі (α) будуть відомі.

2.1.2. Застосування двохкомпонентної моделі для оцінки величини світлового потоку, що падає на систему сонячних модулів. Двохкомпонентна модель, яка розділяє загальне випромінювання на пряме і дифузне, дозволяє набагато точніше розрахувати освітленість на похилих поверхнях. Модель значно покращує точність, особливо для середнього та загального місячного

випромінювання, і усуває необхідність використання довідкових станцій. І так як горизонт або будівлі, які розташовані неподалік, головним чином впливають на прямий пучок випромінювання, двохкомпонентна модель також проводить приблизний розрахунок затінення під будь-яким кутом нахилу β . Хоча використання двохкомпонентної моделі є набагато інтенсивнішим, ніж використання простої моделі, ця інтенсивність може бути значно знижена, якщо відомі загальне випромінювання H і дифузне випромінювання H_D в горизонтальній площині.

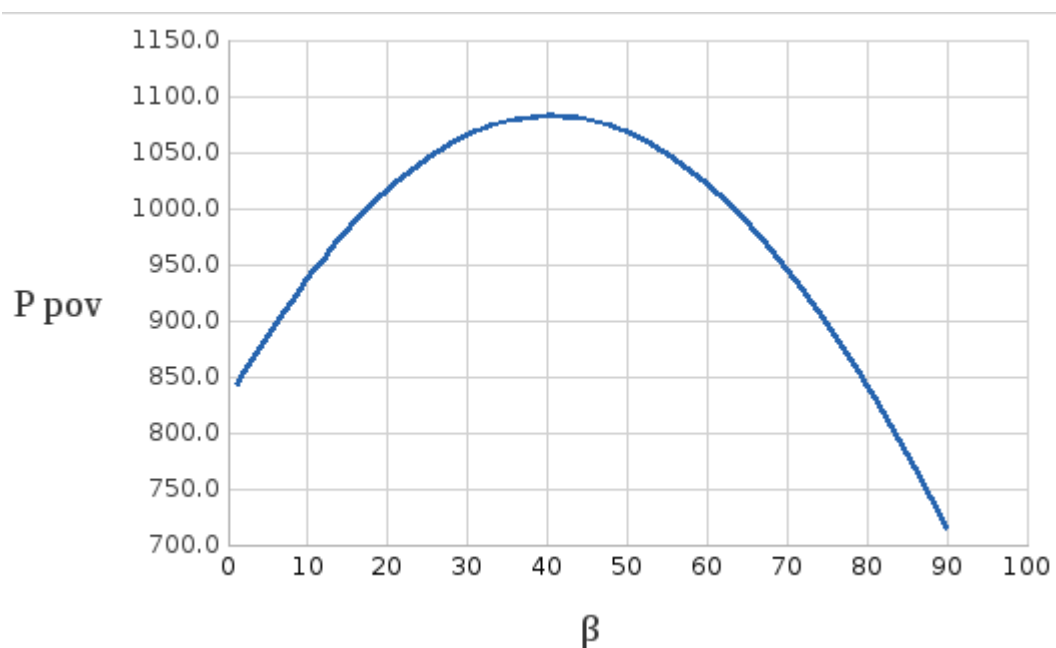


Рис. 2.4 – Відношення потужності, яка падає на модуль до кута β

Використовуючи табличні дані [Haberlin] (таблиця 2.3), а саме середні значення для щоденного загального (H) і дифузного (H_D) випромінювання на горизонтальній площині у Відні (Австрія), який розташований приблизно на однаковій широті ($\varphi=48.2^\circ$), методом апроксимації можна розділити відомі значення загального випромінювання H для Луганської області на дифузне та пряме випромінювання (таблиця 2.4).

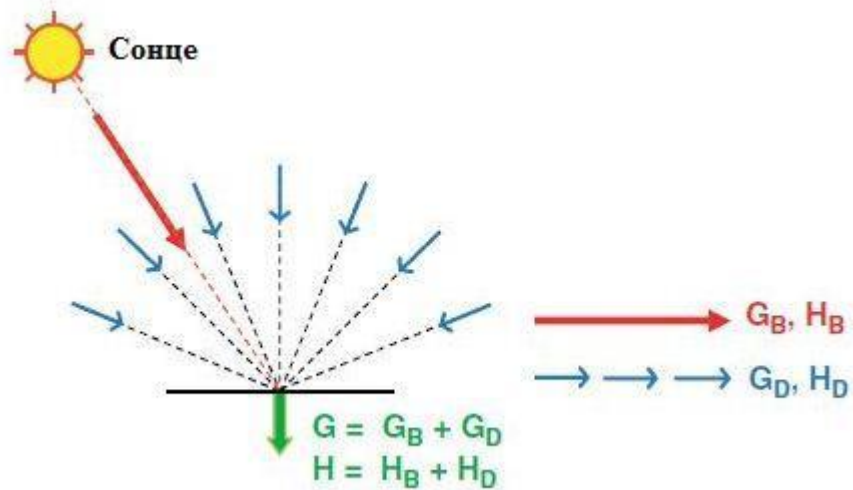


Рис. 2.5 – Компоненти загального випромінювання G і H в горизонтальній площині, як сума прямого (G_B і H_B) і дифузного випромінювання (G_D і H_D)

Таблиця 2.3 – Середні значення для щоденного загального (H) і дифузного (H_D) випромінювання на горизонтальній площині на широті $\varphi=48.2^\circ$

Місяць	H	H_D
Січень	0.86	0.62
Лютий	1.54	1.01
Березень	2.71	1.59
Квітень	3.81	2.17
Травень	5.15	2.61
Червень	5.38	2.81
Липень	5.45	2.71
Серпень	4.67	2.35
Вересень	3.22	1.81
Жовтень	2.09	1.24
Листопад	0.96	0.69
Грудень	0.65	0.48

Таблиця 2.4 – Середньо-добова сума загального випромінювання на квадратний метр у Луганській області ($\varphi=49^\circ$)

Місяць	H (кВт·год/м ²)	H_D (кВт·год/м ²)
Січень	0.75	0.54
Лютий	1.33	0.87
Березень	2.83	1.66
Квітень	4.23	2.41
Травень	5.14	2.62
Червень	5.44	2.84
Липень	5.36	2.67
Серпень	4.76	2.40
Вересень	3.21	1.80
Жовтень	1.98	1.17
Листопад	0.95	0.68
Грудень	0.62	0.46

Енергія випромінювання, яка падає на горизонтальну площину:

$$H=H_B+H_D. \quad (2.7)$$

Використовуючи формулу 2.7, знаходимо пряме випромінювання H_B для кожного місяця.

Таблиця 2.5 – Середньодобова сума прямого випромінювання H_B на квадратний метр у Луганській області на широті ($\varphi=49^\circ$)

Місяць	H_B (кВт·год/м ²)
Січень	0.21
Лютий	0.46
Березень	1.17
Квітень	1.82
Травень	2.52
Червень	2.60
Липень	2.69
Серпень	2.36
Вересень	1.41
Жовтень	0.81
Листопад	0.27
Грудень	0.16

Використовуючи графік (рис. 2.6.) з джерела [11], який показує загальне випромінювання на місцевості з координатами (47.056, 7.639) на горизонтальній площині над протязі ясного літнього дня, ясного осіннього дня, ясного зимового дня, і знаючи середньодобову суму глобального випромінювання на квадратний метр (таблиця 2.3.), яку отримує модуль даної системи, можна визначити всі необхідні дані для обраної місцевості у Луганській області.

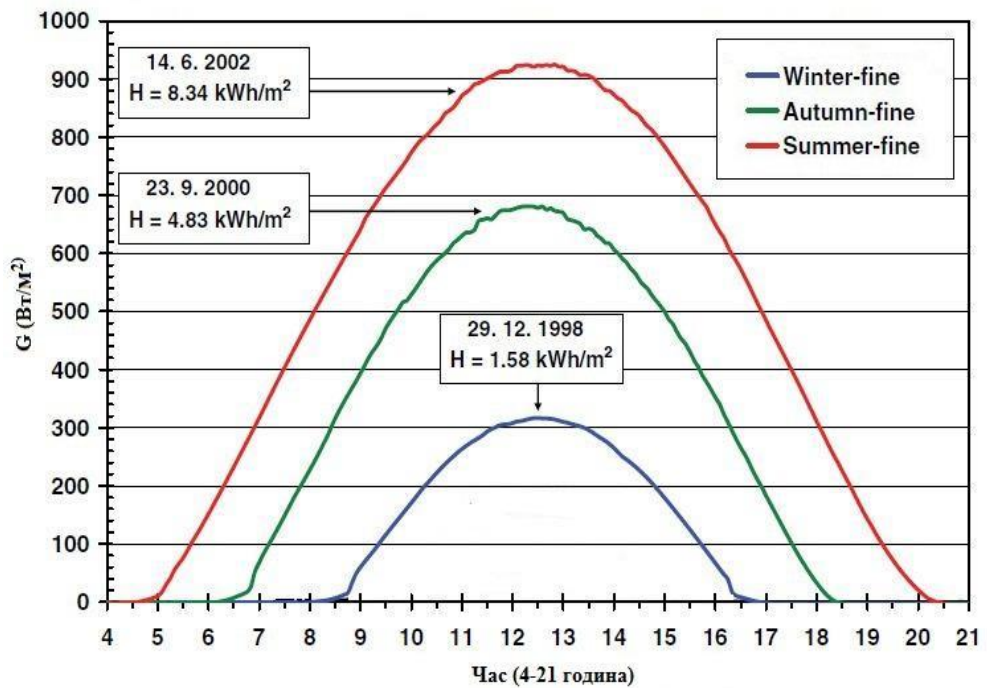


Рис. 2.6 – Загальне випромінювання на місцевості з координатами (47.056, 7.639) на горизонтальній площині над протязі ясного літнього дня, ясного осіннього дня, ясного зимового дня

$$P_n = P_A \cdot \frac{\sin(a+b)}{\sin a} \cdot \cos g_s. \quad (2.8)$$

де P_A - потік випромінювання, який падає на горизонтальну поверхню;

a - кут сонця на небосхилі;

b - кут між сонячним модулем і горизонтом;

g_s - азимутальний кут сонця.

Розрахунок потоку сонячного випромінювання, що приймається площадкою зі змінним кутом нахилу.

Таблиця 2.3 – Середньо-добова сума загального випромінювання на квадратний метр на місцевості з координатами (47.056, 7.639) [26]

Місяць	H (кВт·год/м ²)
Січень	1.57
Лютий	2.68
Березень	4.34
Квітень	5.11
Травень	5.22
Червень	5.6
Липень	5.82
Серпень	5.38
Вересень	4.65
Жовтень	3.06
Листопад	1.89
Грудень	1.36

Розглянемо геометричну побудову, показану на рис. 2.7 [27,28]. R описує кут повороту площини модулів навколо осі. При такому обертанні змінюється положення нормалі до поверхні модулів (OD переходить в OB). Це у свою чергу змінює кут нахилу поверхні β . β_a – це кут нахилу осі модулів. Відповідно γ – це азимут поверхні, а γ_a – азимут осі. γ та β є функціями R , β_a та γ_a .

Виходячи із подібності трикутників AOC та DOE , нахил поверхні можна виразити таким чином:

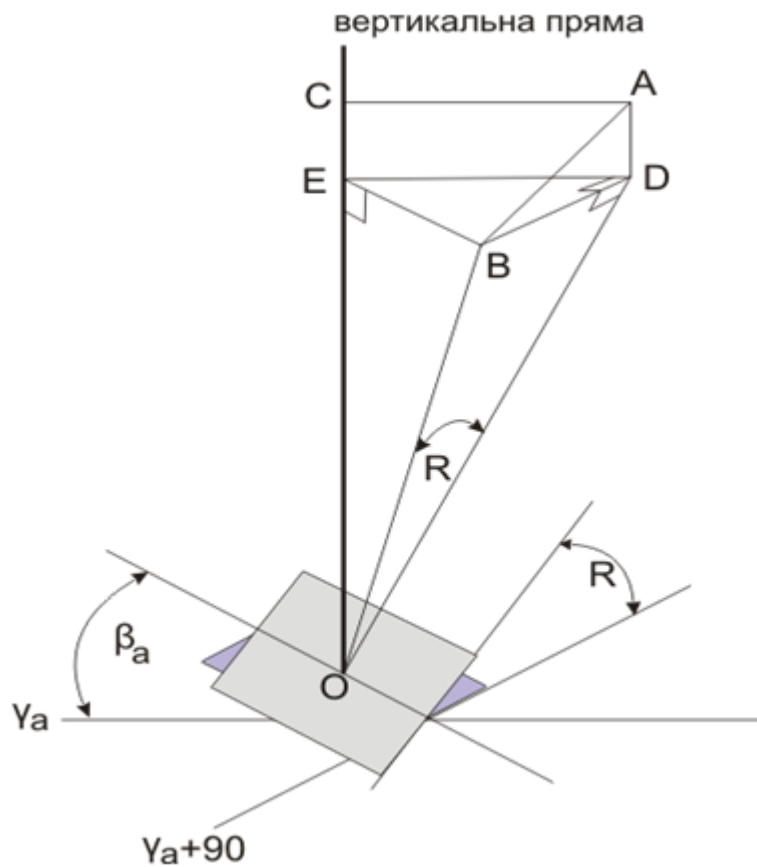


Рис. 2.7 – Геометрична побудова до моделі поверхні із обертанням навколо похилої осі

$$\cos \beta = \cos R \cdot \cos \beta_a. \quad (2.9)$$

Азимут поверхні зміниться на кут DEB, тому кінцеве значення азимуту поверхні становитиме:

$$y = y_a + \arcsin \left(\frac{\sin R}{\sin \beta} \right), \quad (2.10)$$

$\beta \neq 0$, $-90^\circ \leq R \leq +90^\circ$. Такі умови виконуються для нашого випадку.

Відома загальна формула для обчислення кута падіння на похилу площину має такий вигляд:

$$\cos \theta = \cos \beta \cdot \cos \theta_z + \sin \beta \cdot \sin \theta_z \cdot \cos(y_s - y). \quad (2.11)$$

θ_z – кут між променями сонця та вертикаллю (тобто $90^\circ - \alpha$, де α – кут сонця над горизонтом);

γ_s – сонячний азимут.

У цю формулу ми можемо ввести значення R замість β та γ , які можна виразити через R за допомогою попередніх рівнянь.

В результаті отримаємо:

$$\cos \theta = \cos R [\sin \theta_z \cos (\gamma_s - \gamma_a) \sin \beta_a + \cos \theta_z \cos \beta_a] + \sin R \sin \theta_z \sin (\gamma_s - \gamma_a) \quad (2.12)$$

Це рівняння можна продиференціювати по R , знайти екстремум функції і визначити такі значення R , які будуть давати мінімальне значення кута падіння для кожної миті доби кожного дня і місяця року.

$$R = \arctan(A) + C, \quad (2.13)$$

де $A = \{\sin \theta_z \sin (\gamma_s - \gamma_a)\} / \{\sin \theta_z \cos (\gamma_s - \gamma_a) \sin \beta_a + \cos \theta_z \cos \beta_a\}$

$C = 0^\circ$ при $A = 0$, або при $A > 0$ і $(\gamma_s - \gamma_a) > 0$, або при $A < 0$ і $(\gamma_s - \gamma_a) < 0$

$C = +180^\circ$ якщо $A < 0$ і $(\gamma_s - \gamma_a) > 0$

$C = -180^\circ$ якщо $A > 0$ і $(\gamma_s - \gamma_a) < 0$

Таким чином, використовуємо алгоритм розрахунку кута падіння:

1. Розраховуємо θ_z та γ_s із відомих співвідношень.
2. Розраховуємо R .
3. Розраховуємо кут нахилу поверхні β .
4. Розраховуємо азимут поверхні.
5. Знаходимо кут падіння променів θ .
6. Розраховуємо значення потоку сонячного випромінювання через добуток падаючого потоку (P_{incident}) на перпендикулярну площину на $\cos(\theta)$.

На рисунках 2.8–2.19 представлено графіки залежностей потоку сонячного випромінювання на поверхню у різні місяці (в сонячний день) від години доби для стаціонарної та слідкуючої системи.

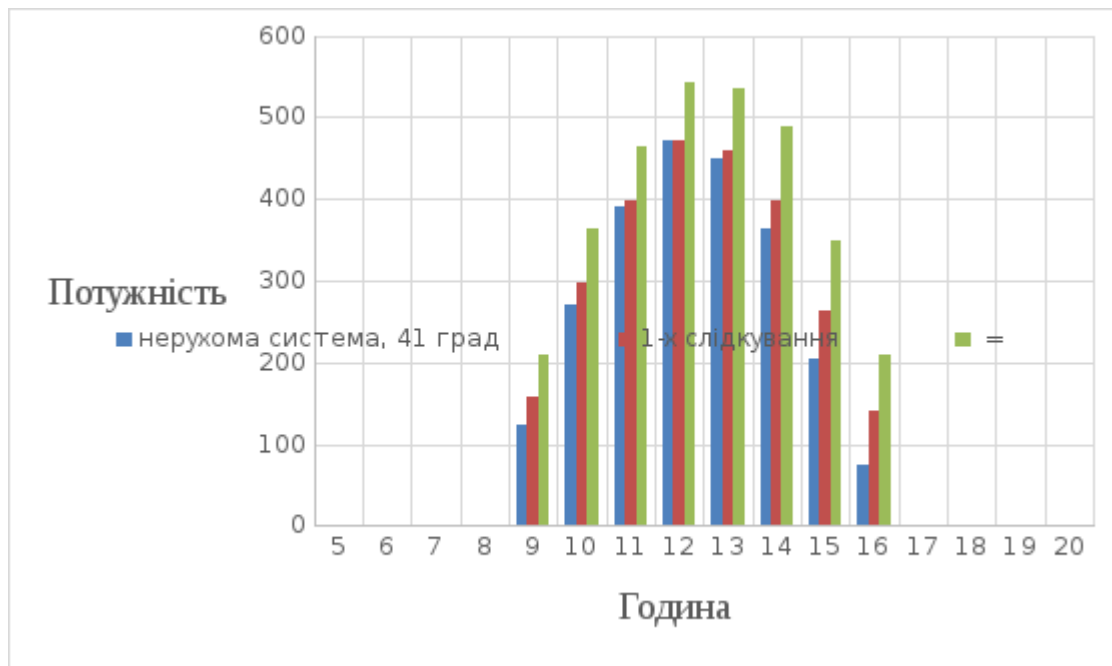


Рис. 2.8 – Потужність світлового потоку впродовж дня січня, що падає на горизонтальну, нахилену стаціонарну та одновісну слідкуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

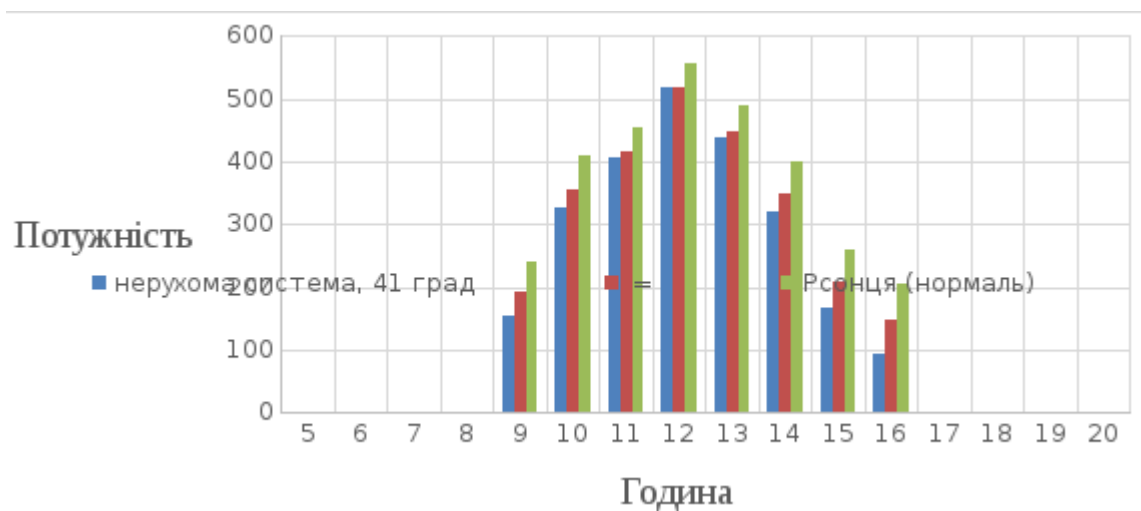


Рис. 2.9 – Потужність світлового потоку впродовж дня лютого, що падає на горизонтальну, нахилену стаціонарну та одновісну слідкуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

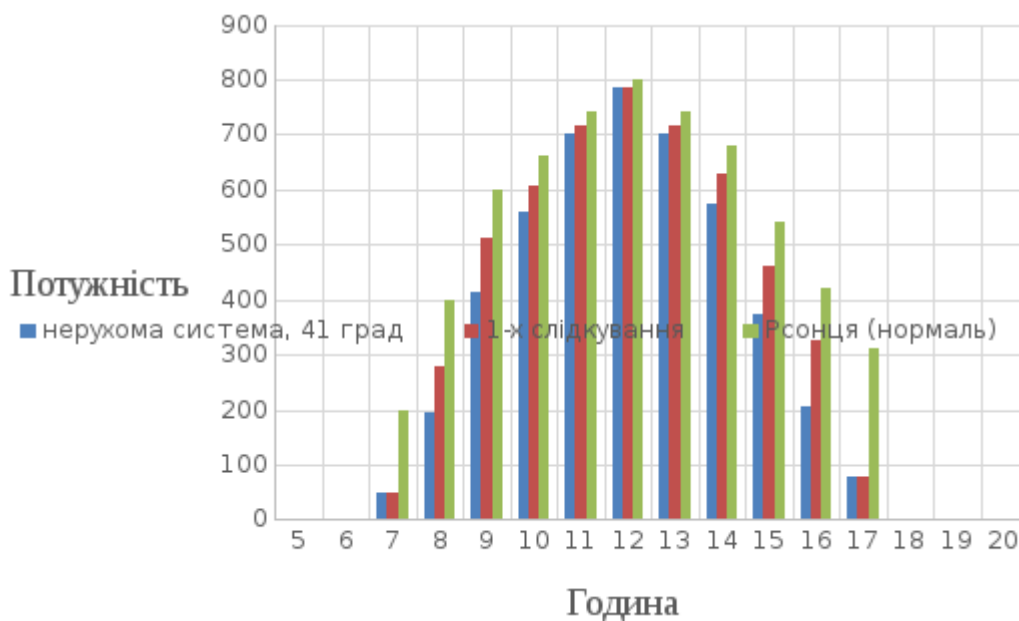


Рис. 2.10 – Потужність світлового потоку впродовж дня березня, що падає на горизонтальну, нахилену стаціонарну та одновісну слiдкуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

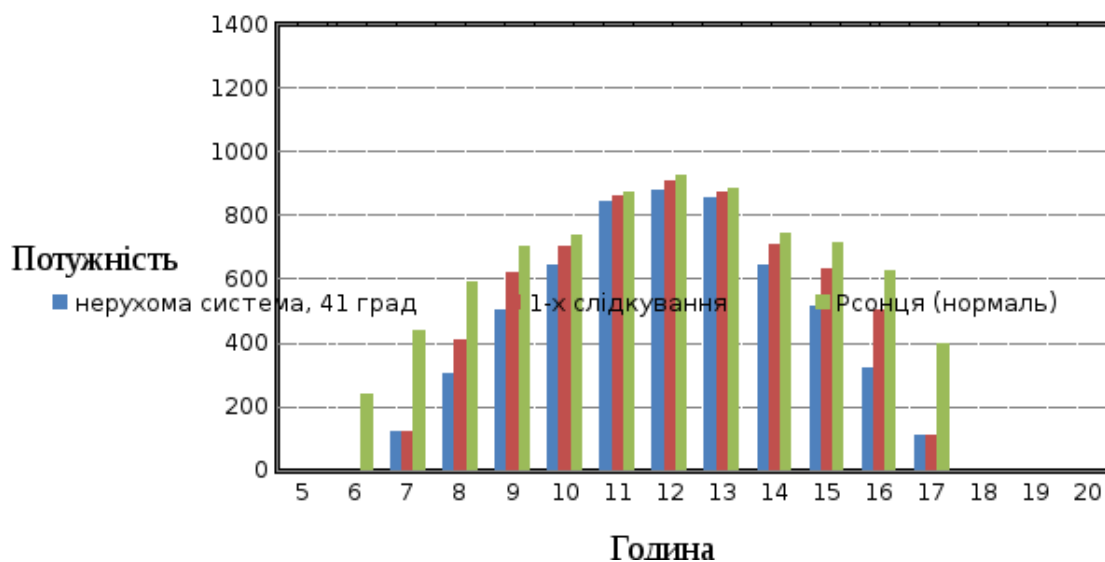


Рис. 2.11 – Потужність світлового потоку впродовж дня квітня, що падає на горизонтальну, нахилену стаціонарну та одновісну слiдкуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

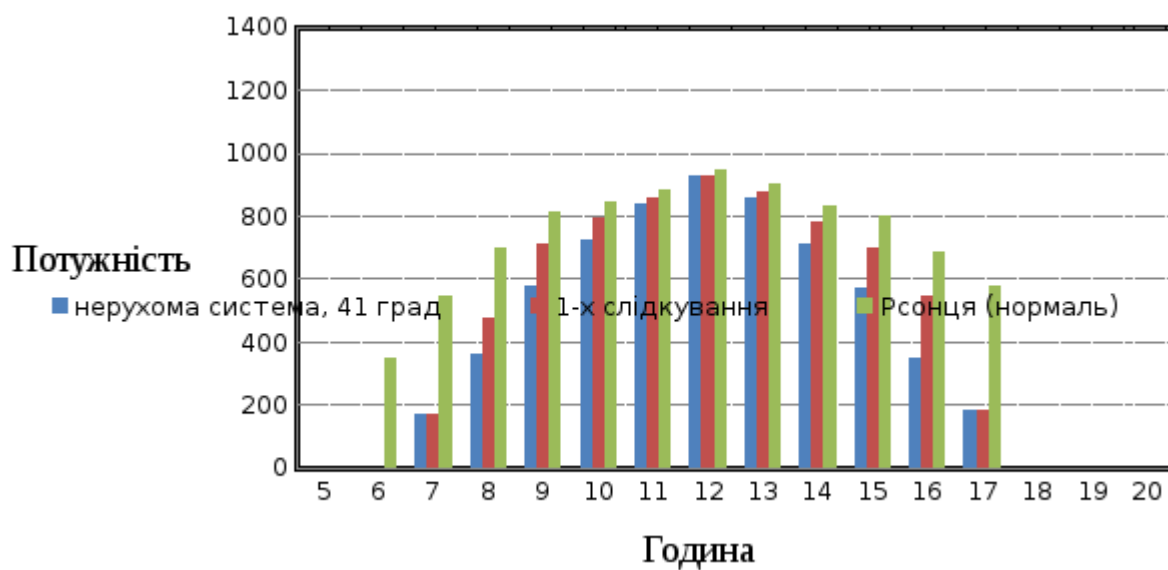


Рис. 2.12 – Потужність світлового потоку впродовж травневого дня, що падає на горизонтальну, нахилену стаціонарну та одновісну слiдкуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

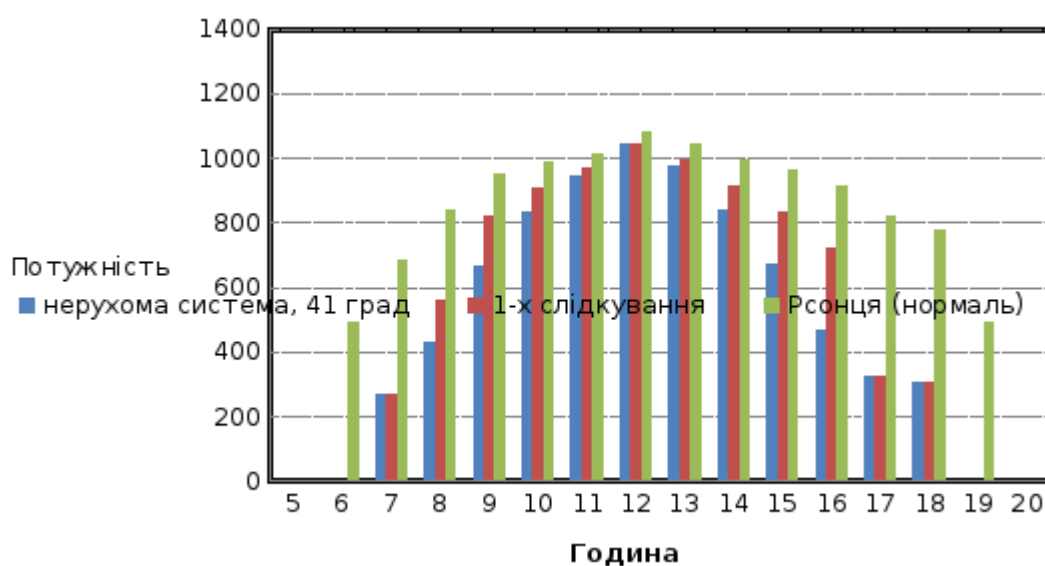


Рис. 2.13 – Потужність світлового потоку впродовж дня червня, що падає на горизонтальну, нахилену стаціонарну та одновісну слiдкуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

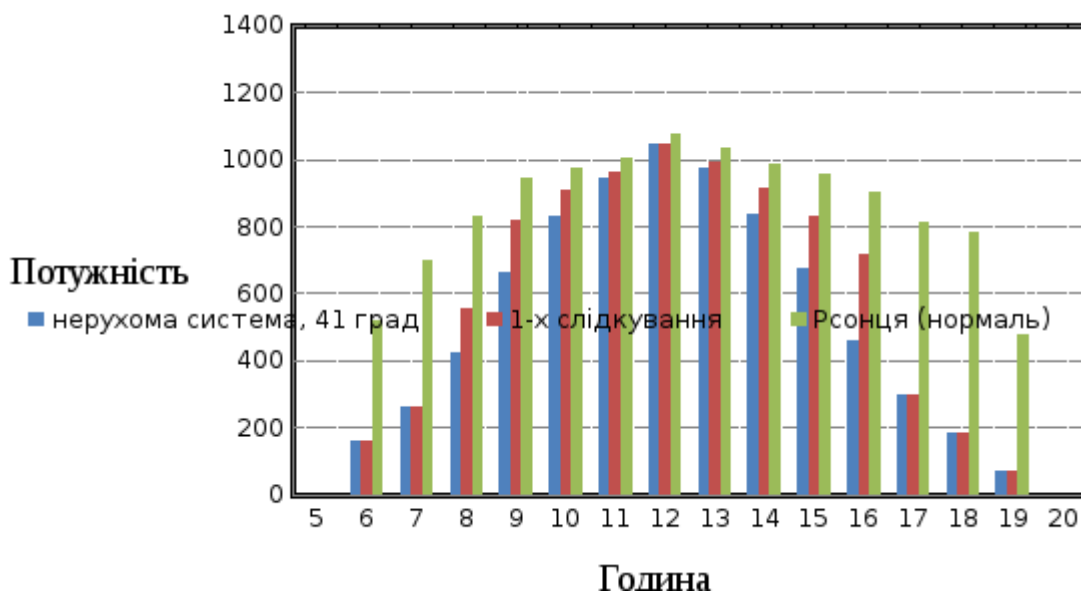


Рис. 2.14 – Потужність світлового потоку впродовж дня липня, що падає на горизонтальну, нахилену стаціонарну та одновісну сліdkуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

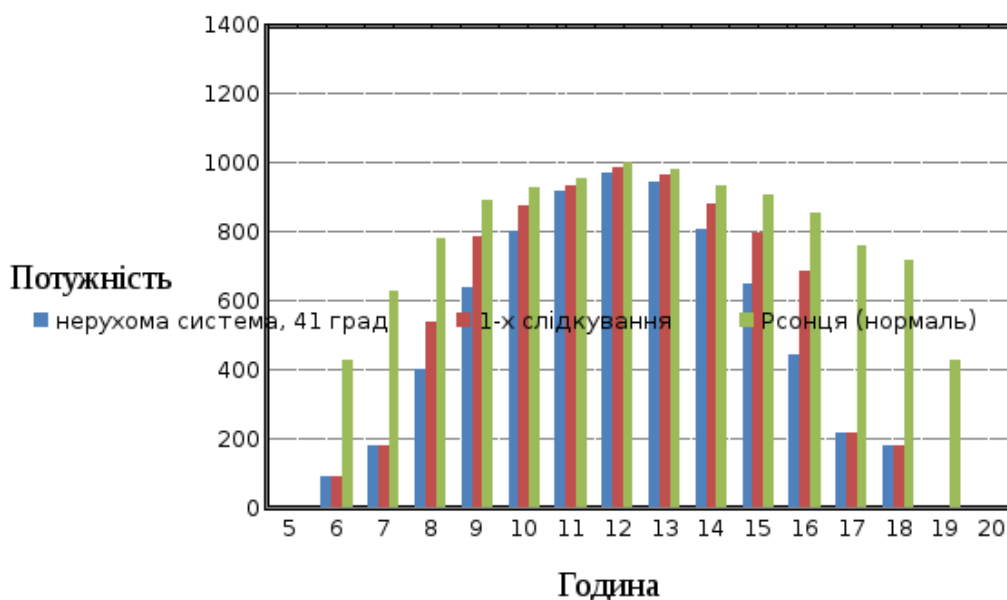


Рис. 2.15 – Потужність світлового потоку впродовж дня серпня, що падає на горизонтальну, нахилену стаціонарну та одновісну сліdkуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

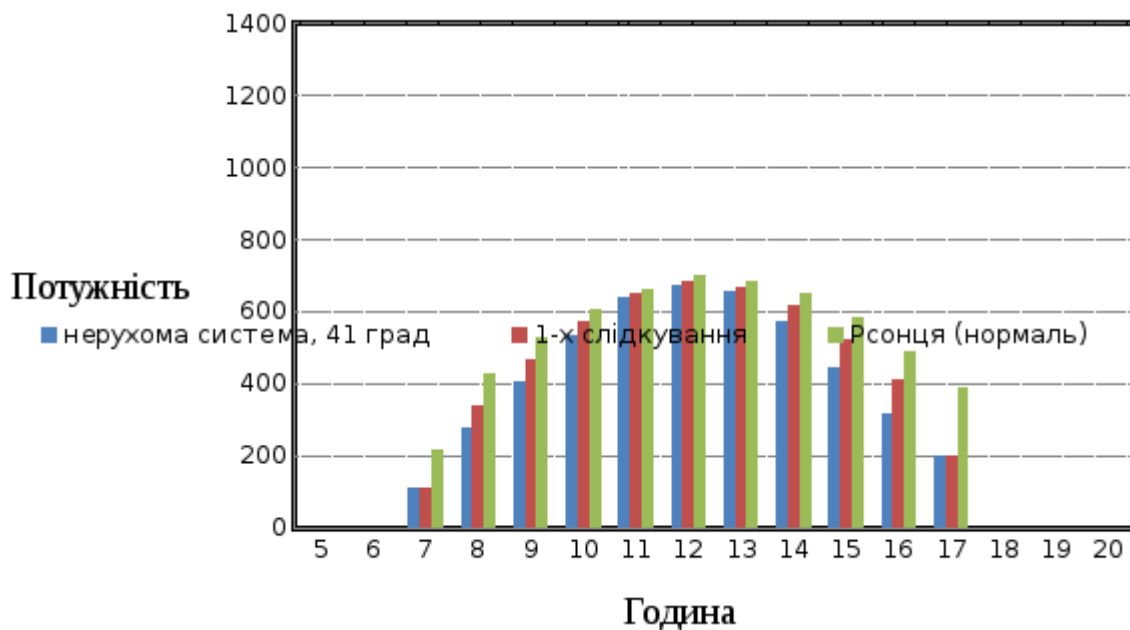


Рис. 2.16 – Потужність вiтлового потоку впродовж дня вересня, що падає на горизонтальну, нахилену стацiонарну та одновiсну слiдкуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

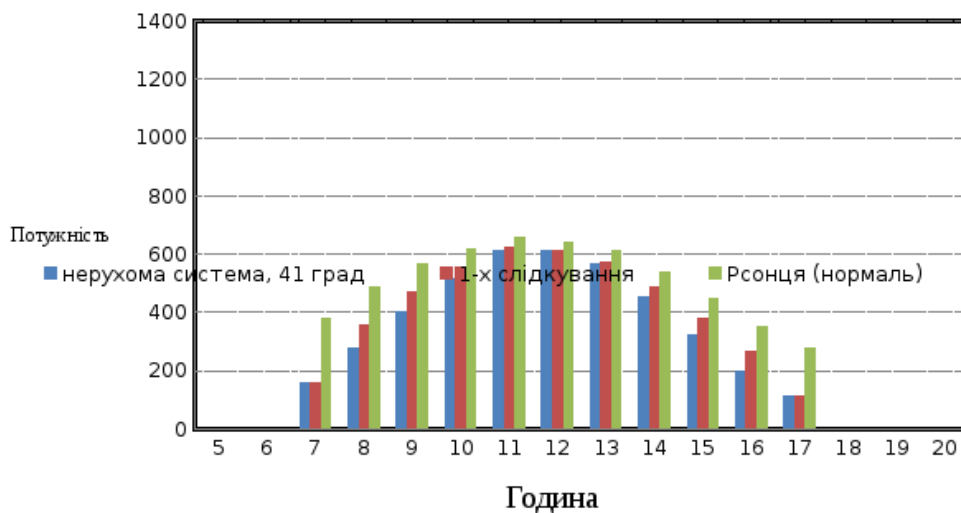


Рис. 2.17 – Потужність свiтлового потоку впродовж дня жовтня, що падає на горизонтальну, нахилену стацiонарну та одновiсну слiдкуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

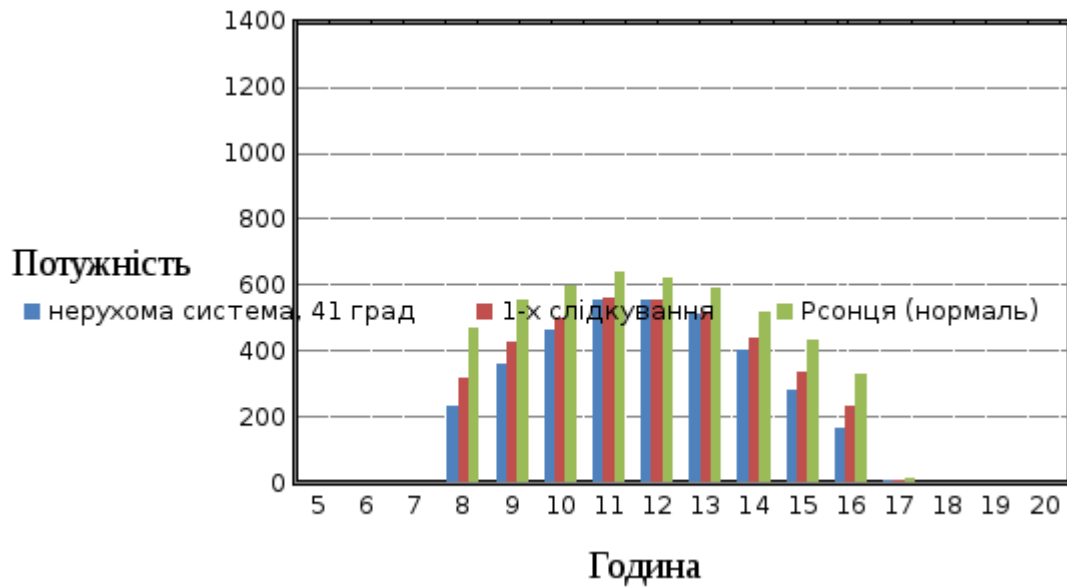


Рис. 2.18 – Потужність світлового потоку впродовж дня листопада, що падає на горизонтальну, нахилену стаціонарну та одновісну слідкуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

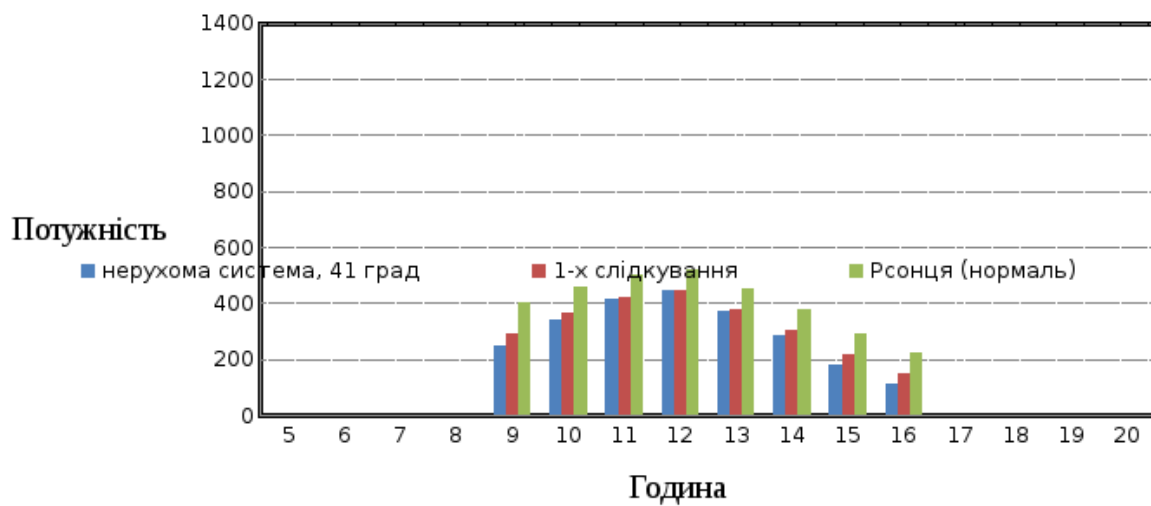


Рис. 2.19 – Потужність світлового потоку впродовж дня грудня, що падає на горизонтальну, нахилену стаціонарну та одновісну слідкуючу поверхню ($\beta=41^\circ$)

На рис. 2.20. представлено залежність оптимального кута повороту від часу доби для 15 червня. Дані для інших місяців можуть бути знайдені у додатку.

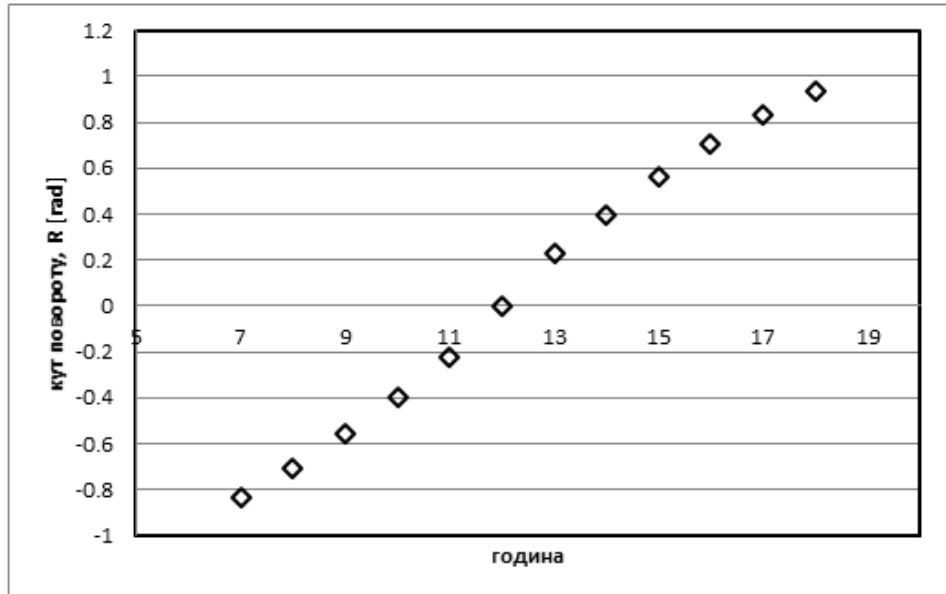


Рис. 2.20 – Кут повороту модулів як функція часу доби

Для оцінки ефекту одновісного слідкування за сонцем ми повинні виділити із усередненої величини світлового потоку за день для кожного місяця величину прямого сонячного потоку, оскільки тільки вона може бути оптимізована у процесі слідкування за сонцем. Маючи дані світлової потужності для усереднених сонячних днів всіх місяців року можемо ввести коефіцієнт сонячних годин, який буде розраховуватись за такою формулою:

$$K_{\text{сон.год.}} = \frac{H_s}{a \cdot P_n \cdot \frac{\sin(a+b)}{\sin a}} \quad (2.14)$$

Інтегруючи значення світлової потужності для двох систем (рухомої та стаціонарної) знаходимо їх різницю перемножуючи на коефіцієнт сонячних годин. Дана величина буде представляти енергетичний вигравш рухомої системи з поверхнею 1 м^2 .

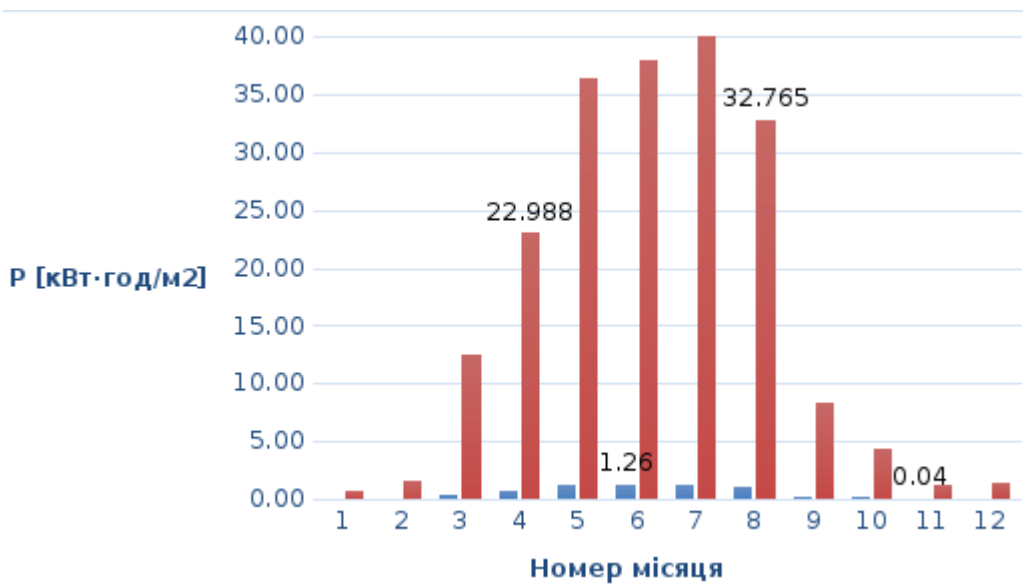


Рис. 2.21 – Енергетичний виграш рухомої системи з поверхнею 1 м² за день і місяць

2.2 Дизайн СЕС. Вибір сонячних модулів

Значний інтерес для географічних локацій із середнім рівнем інсоляції, таких як Луганська область, представляють модулі із новітньою технологією НІТ (Heterojunction with intrinsic thin layer), які базуються на кремнієвих підкладках товщиною 150 мкм N-типу із пасивацією аморфним кремнієм з обох боків підкладки. Дана технологія була розроблена компанією Sanyo, зараз належить Panasonic. Модулі даного типу володіють рекордною ефективністю 19% при $AM=1.5$, 1000 Вт/м^2 , $T=25^\circ\text{C}$ [15].

Технічні параметри даного типу модулів подано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні параметри модуля Panasonic HIT 240 Вт

Електричні характеристики	
Модель	HIT Power 240S or VBHN240SA06
Максимальна потужність	240 Вт
Максимальна напруга (V_{pm})	43.7 В
Максимальний струм живлення (I_{pm})	5.51 А
Напруга холостого ходу (V_{oc})	52.4 В
Струм короткого замикання (I_{sc})	5.85 А
Температурний коефіцієнт (P_{max})	-0.30 %/°C
Температурний коефіцієнт (V_{OC})	-0.126 В/°C
Температурний коефіцієнт (I_{SC})	1.76 мА/°C
НОСТ	118.9 °F(48.3 °C)
Стільниковий ефективність	21.6 %
Модульна ефективність	19.0 %
Максимальна напруга системи	600 В
Механічні характеристики	
Внутрішні обхідні діоди	3 обхідні діоди
Вага	15 кг
Розміри ДхШхВ	1580x798x35 мм
Довжина кабелю +/-	1030/880 мм
Розмір/Тип кабелю	№ 12 AWG/PV Кабель

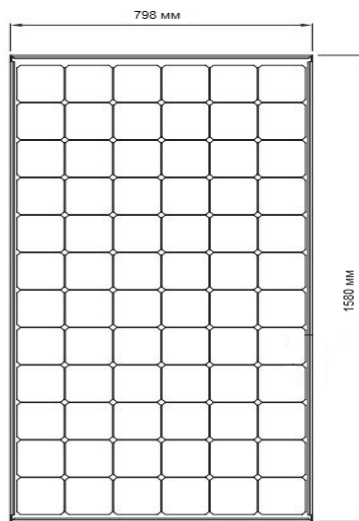


Рис. 2.22 – Модуль Panasonic HIT 240 Вт

2.2.1. Компонування сонячної батареї. Конструкція батареї вибиралася із міркувань мінімізації парусності поверхні, а також із врахуванням повертання поверхні на нахиленій осі. Таким чином батарею пропонується сформувати із трьох рядів по 3, 3 і 2 модулі HIT (Heterojunctionwith intrinsic thin layer).

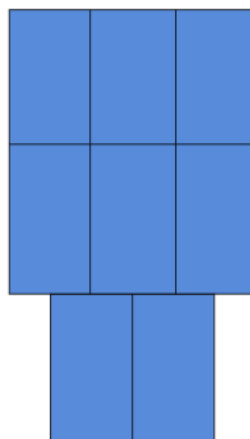


Рис. 2.23 – Геометрична форма сонячної батареї

Виходячи з даних розміру модуля, ширина – 748 мм і висота – 1580 мм, вирахуємо параметри сонячної батареї:

$$748 \text{ мм} \cdot 3 = 2244 \text{ мм} = 2,24 \text{ м.}$$

$$1580 \text{ мм} \cdot 3 = 4740 \text{ мм} = 4,74 \text{ м.}$$

Отже висота сонячної батареї становить – 4.74 м, ширина – 2.24 м.

Оскільки максимальна потужність модуля становить 240 Вт, а в батарею входить 8 модулів, то потужність всієї батареї буде:

$$240 \cdot 8 = 1920 \text{ Вт}$$

Щоб виконати поставлену задачу дипломного проекту, спроектувати сонячну мережеву електростанцію на 500 кВт, потрібно 260 батарей.

$$\frac{500000}{1920} = 260.$$

2.2.2. Розміщення сонячних батарей із врахуванням затінення, площі ділянки, втрат електроенергії в кабелях. Для розміщення панелей сонячних модулів необхідно розрахувати їх взаємне затінення, враховуючи конструкцію і розміри однієї панелі, спосіб її установки на поверхні землі, виконати розрахунок тіні панелі залежно від пори року і години дня і визначити коефіцієнти затінення. На рис. 2.20 Представлена схема розміщення панелей сонячних модулів:

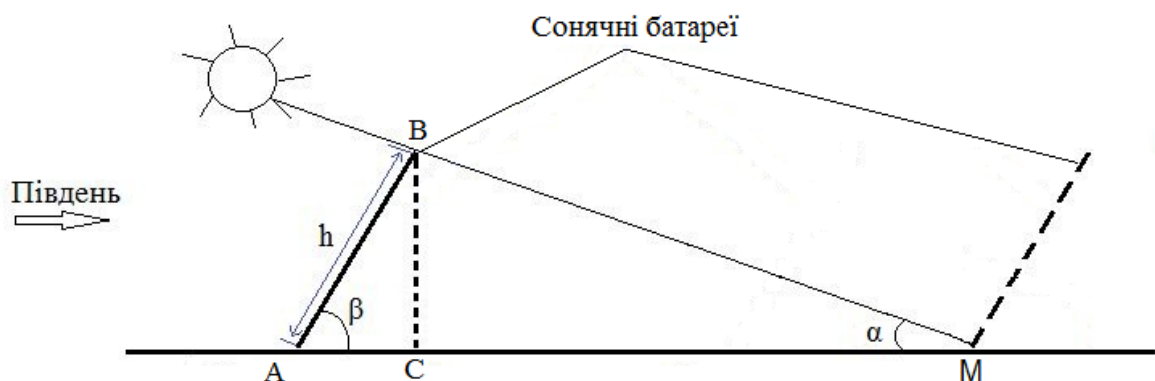


Рис. 2.24 – Схема розміщення фотопанелей для розрахунку взаємного затінення: вид збоку

Аналізуючи потужність сонячного випромінювання, слід оцінити довжину. Максимальна величина затінення відповідає ранковим годинах в день зимового сонцестояння, мінімальне затінення - полудню в день літнього сонцестояння.

Для розрахунку довжини тіні використаємо наступні формули:

$$BC = h \cdot \sin b = 4,74 \cdot \sin 41^\circ = 3,11 \text{ м.} \quad (2.15)$$

$$CM = \frac{h \cdot \sin b}{\operatorname{tg} a} = \frac{4,74 \cdot \sin 41^\circ}{\operatorname{tg} a} = 4,01 \text{ м.} \quad (2.16)$$

$$AC = h \cdot \cos b = 4,74 \cdot \cos 41^\circ = 3,58 \text{ м.} \quad (2.17)$$

$$AM = AC + CM = 3,58 + 4,01 = 7,59 \text{ м.} \quad (2.18)$$

Отже сонячні батареї мають розташовуватись одна за одною на відстані 7.59 м.

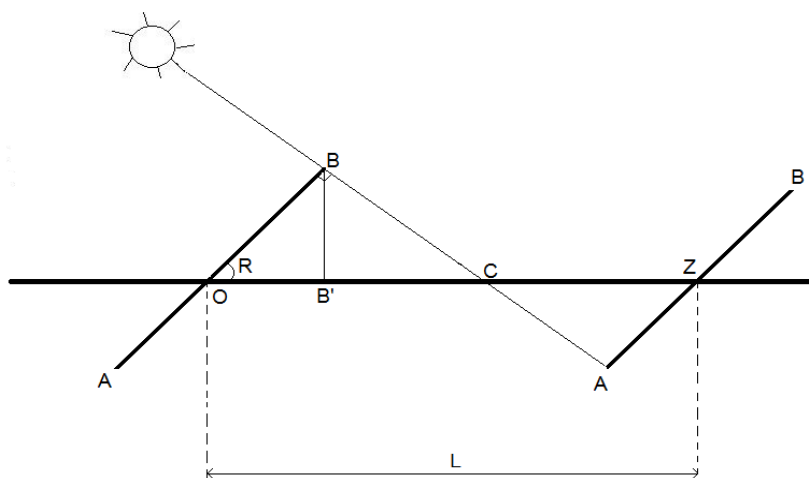


Рис. 2.25 – Схема розміщення фотопанелей для розрахунку взаємного затінення: вид з вершини осі обертання батареї.

При знаходженні L (відстань між батареями в ряді), будемо виходити з даних по куту R – кут повертання модулів. За основу беремо місяць березень (усереднений місяць). Якщо $OB'=B'C$ і $OC=CZ$, то:

$$OB' = \frac{1}{2}AB \cdot \cos R = \frac{1}{2} \cdot 4,74 \cdot \cos 36^\circ = 1,92 \text{ м.} \quad (2.19)$$

$$L = OB' \cdot 4 = 7,68 \text{ м.} \quad (2.20)$$

Отже відстань між батареями в ряді повинна бути 7.68 м.

2.2.3. Підбір інверторів. Інвертор – це один з ключових компонентів енергосистеми, яка функціонує на основі енергії сонця. Він відповідає за перетворення постійного струму, який він отримує від сонячних батарей, у змінний, який можна використовувати для електричних пристроїв.

Інвертори поділяються на види в залежності від можливості працювати в різних режимах:

1) Мережеві перетворювачі, які мають можливість працювати як з поновлюваними джерелами енергії, так і з загальною мережею. Недолік таких інверторів – відсутність можливості акумулювати енергію.

2) Незалежні перетворювачі, які підходять для застосування в домогосподарстві. Такі пристрої можуть забезпечити автономне енергопостачання найвищого рівня.

3) Гібридні моделі, які поєднують в собі характеристики перших двох видів.



Рис. 2.26 – Стрінговий інвертор PRO-33.0-TL-OUTD[16]

Таблиця 2.5 – Тип інвертора

Модель	PRO-33.0-TL-OUTD
Тип інвертора	стрінговий
Вхід	
Мах потужність	33.7 кВт
Мах абсолютна вхідна напруга	1100 В
Початкова напруга	610 В
Діапазон номінальної напруги	490 В – 800 В
Мах вхідний струм на рядок	41.5 А
Вихід	
Номінальна вихідна потужність	20 кВт
Порогова потужність	20 Вт
Номінальна напруга змінного струму	3/N/PE; 230/460 В
Частота змінного струму/діапазон	50 Гц
Максимум вихідний струм	3x29 А
Ефективність	
Мах ефективність	98,7%

Переваги інвертора: відносно низька ціна; можливість резервування навантаження більше 24 г; широкий діапазон вхідної напруги; ідеальна вихідна напруга при будь-яких режимах роботи; автоматичне перемикання на байпас при перевантаженні більше 110%.

2.2.4. Підбір трансформатора.

Таблиця 2.6 – Тип трансформатора

Потужність трансформатора	
Модель	IS-2026 / IEC-60076
Тип охолодження	ONAN (OilNaturalAirNatural)
Висока напруга	11000 В
Низька напруга	460 В
Номінальний повний опір	4.7%
Допустимий опір	7.5%
Номінальні вторинні підсилювачі	1250 А
HV з'єднання	DELTA
LV підключення	Wye
Робоча частота	50 Гц
РПН	± 5% від повної вантажопідйомності

2.2.5. Підбір кабелів. Щоб уникнути втрат, потрібно використовувати відповідні електричні кабелі, і найголовніше правильно підключити їх до приладу. Чим кабель коротший, тим краще. Площа проводу, який з'єднує

прилади, має бути не менша ніж 46 мм². Поперечний переріз між акумулятором і модулем повинен складати 0.35 мм² (у 12-вольтній системі), щоб падіння напруги не було більшим ніж 3%, і 0.17 мм² (24-вольтна система) на 1 метр на 1 модуль. Тобто, якщо довжина кабелю складає 10 м для 2 модулів, він не повинен бути тоншим за 7 мм². Якщо кабель або якась його частина лежить під відкритим небом, він повинен мати певний захист до поганих погодних умов. Також кабель повинен бути стійким до ультрафіолетових променів.

Таблиця 2.7 – Типи кабелів[17]

DC Побічні кабелі (під'єднуються до інвертора)		
Модель	IEC-60811 & IEC-60216	
Матеріал	Мідь	
Площа перерізу	4 мм ²	
Падіння напруги	0.18 В	
Максимально допустима температура	Нормальний стан	Коротке замикання
	90°	250°
Тип провідника	Скручений	
Ізоляційний матеріали	Поліетилен	
Кабелі низької напруги		
Модель	IEC-60228 & IEC-60811	
Матеріал	Мідь	
Площа перерізу	16 мм ²	
Падіння напруги	0.46 В	

Продовження таблиці 2.7		
Максимально допустима температура	Нормальний стан	Коротке замикання
	90°	250°
Тип провідника	Скручений	
Ізоляційний матеріали	ПВХ	
Кабелі високої напруги		
Модель	IEC-60502	
Матеріал	Алюміній	
Площа перерізу	185 мм ²	
Падіння напруги (загальне)	L1	1.37 В
	L2	1.37 В
	L3	1.37 В
Клас напруги	11 кВ (UE), надпотужний	
Ізоляційний матеріали	Поліетилен	

2.2.6. Електрична принципова схема.

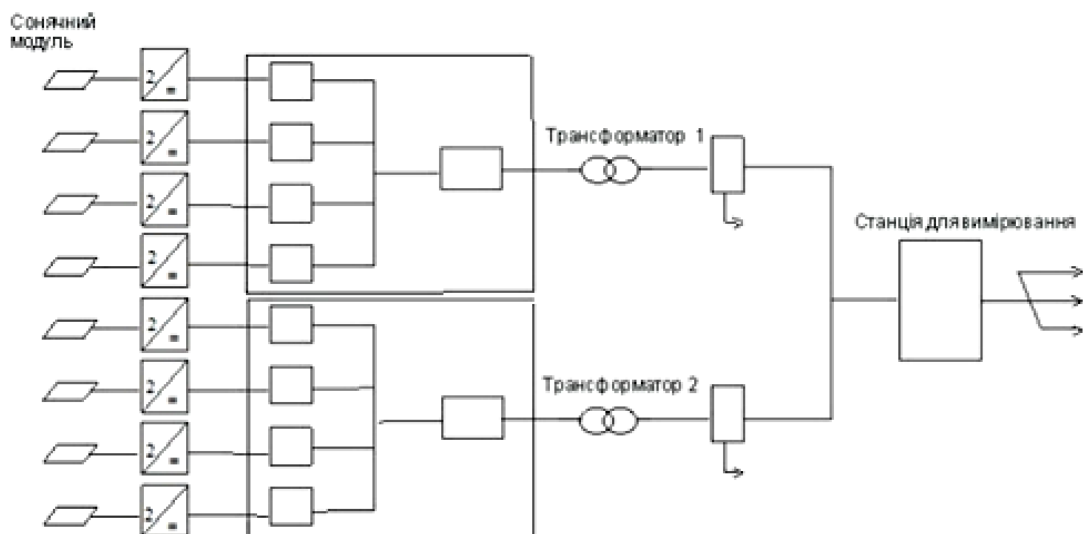


Рис. 2.27 – Електрична принципова схема

Сонячна електростанція на 500 пікових кВт складається з двох незалежних сегментів, кожен з яких має 250 кВт. Кожен сегмент забезпечений чотирма інверторами, по 65 кВт кожен і згруповані разом, щоб сформувати одну панель LT. Всі масиви під'єднанні паралельно до окремого інвертора, і кожен масив складається з 24 модулів, з'єднаних послідовно. Потужність, яка виробляється з 512 кВт СЕС за допомогою трьох підвищувальних трансформаторів підключена до існуючих ліній 11 кВ. Електрична принципова схема показана на рисунку 2.27.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ВИРОБІТКИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СЕС

3.1 Оцінка втрат в системі

Для розрахунку виробітки електроенергії необхідно оцінити величини всіх втрат у системі. Для цього розглянемо по чергово ці втрати.

Енергія падаючого світла. Річна сума загального випромінювання H , яке потрапляє на модуль залежить від місцезнаходження й повинна бути отримано з бази даних або в першу чергу – з карти освітленості. Вона вимірюється в $[кВт/м^2]$.

Цільова продуктивність. Цільова продуктивність – це теоретичний річний обсяг виробництва енергії, з урахуванням енергії (E_h) падаючого світла і номінальної ефективності модуля.

Коефіцієнт продуктивності. Коефіцієнт продуктивності PR – це співвідношення між фактичним (річним виробництвом електроенергії) та цільовим виходами:

$$PR = \frac{\text{Реальний вихід}_{\text{ДС}}}{\text{Цільовий вихід}_{\text{РД}}} = \frac{E}{h \cdot A \cdot h_{\text{ном}}} = h_{\text{pre}} \cdot h_{\text{rel}} \cdot h_{\text{sys}} \quad (3.1)$$

Коефіцієнт продуктивності, який часто називають "коефіцієнт якості", не залежить від випромінювання i , отже, ним корисно порівнювати системи. Він враховує всі втрати попереднього перетворення, втрати інвертора, теплові втрати і втрати провідності. Корисно вимірювання коефіцієнт

продуктивності протягом роботи системи, так як погіршення може допомогти визначити причини втрат.

3.1.1. Вихід енергії на одиницю площі. Енергія E , може бути оцінена з:

$$\left(\frac{E}{A}\right) = h\eta_{pre}\eta_{sys}\eta_{rel}\eta_{nom} = PRh\eta_{nom} \quad (3.2)$$

η_{pre}	Pre - conversion efficiency
η_{sys}	System efficiency
η_{rel}	Relative module efficiency
η_{nom}	Nominal module efficiency
h	Yearly sum of global irradiance [kWh/m ²]

Ефективність попереднього перетворення відображає втрати, понесені до того як промінь потрапив в напівпровідниковий матеріал, викликані затіненням, брудом, снігом і відбиванням від скла. Ефективність системи відображає електричні втрати, викликані електрокабелями, інвертором і трансформатором. Сам модуль визначається номінальною та реальною ефективністю.

Енергія на номінальній потужності.

Іноді вихід енергії виражається піковою потужністю модуля, яка не залежить від площі модуля ($H_0 = 1000 \text{ Вт/м}^2$):

$$\left(\frac{E}{P_{peak}}\right) = \frac{h}{H_0}\eta_{pre}\eta_{sys}\eta_{rel} = \left(\frac{E}{A}\right)\frac{1}{H_0\eta_{nom}} = PR\frac{h}{H_0} \quad (3.3)$$

Це корисне співвідношення, оскільки вихід енергії E є мірою потенційної виробітки енергії, а пікова потужність відображає потенціал системи. Важливо, що пікова потужність в вищенаведеній формулі є піковою потужністю модуля, а не встановленою потужністю системи, якою є

$$P_{sys} = P_{mod\ wc} \cdot h_{sys}$$

3.2.2. Втрати енергії. Починаючи з інтенсивності падаючого світла (енергії, яка насправді є доступною для системи), існують три основні блоки втрат енергії:

1) фотоелектричні втрати: ослаблення вхідного світла (затінення), бруд, сніг і віддзеркалення, перш ніж воно потрапляє на фотоелектричний матеріал. Концентруючись на фотоелектричних системах, воно також включає збитки від концентрації пристроїв (Рис. 3.1.) [18].

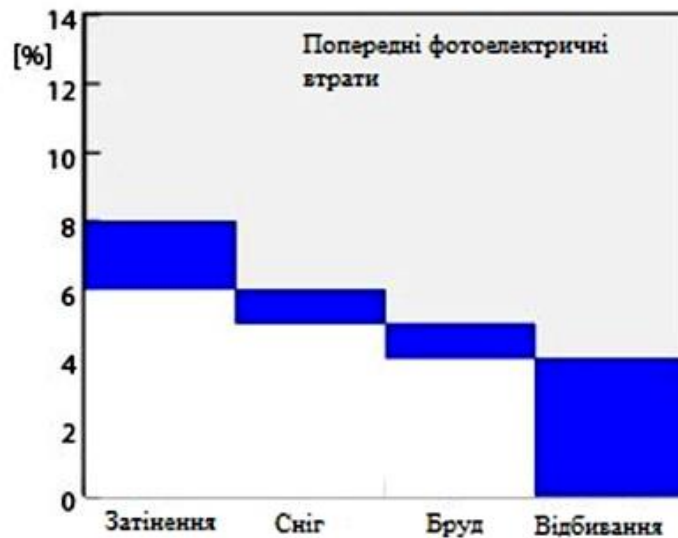


Рис. 3.1 – Фотоелектричні втрати

2) системні втрати: Втрати в електричних компонентах, включаючи лінію, інвертори і трансформатори (рис. 3.2.).

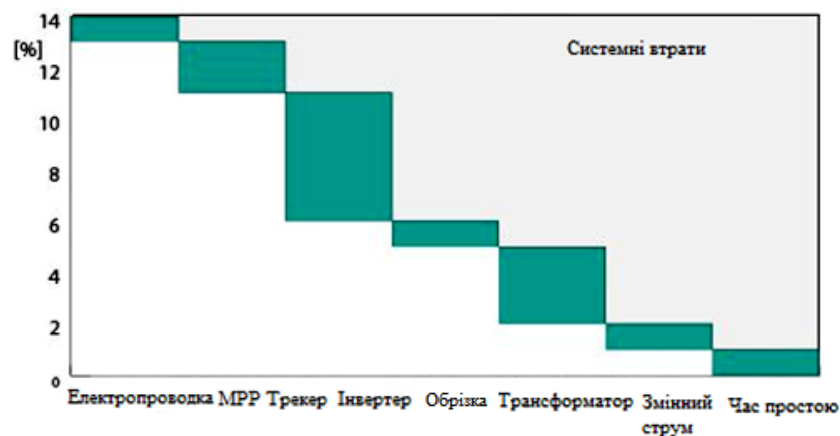


Рис. 3.2 – Системні втрати

3) модульні та теплові втрати: відображення залежності ефективності і температури сонячного модуля (Рис. 3.3).

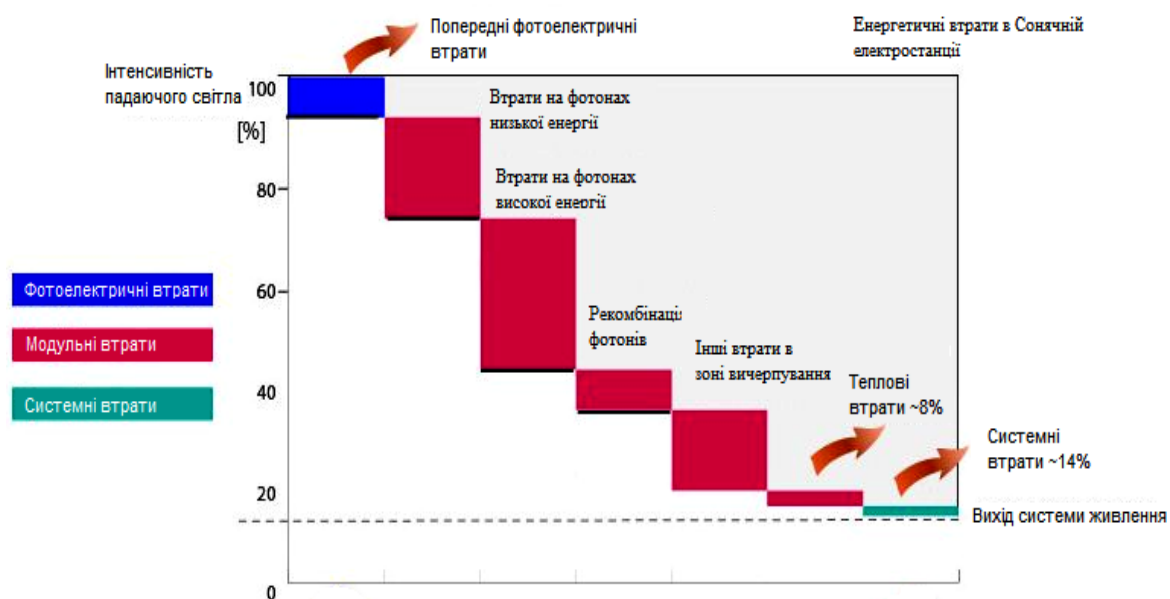


Рис. 3.3 – Модульні втрати

Таблиця 3.1 – Види втрат в СЕС

До-модульні втрати	Допуск номінальної потужності	Припустимо, що модуль не забезпечує потужністю, яка зазначена в паспорті. Виробники допускають відхилення до 5%
	Затінення	Тіні можуть бути викликані деревами, трубами і т.д.
	Бруд	Втрати через бруд складають до 4% у регіонах з помірним кліматом з частими опадами. До 25% в посушливих районах з сезонними опадами і пилом
	Сніг	Залежить від розташування і технічного обслуговування
	Відбивання	Втрати на відбивання збільшуються зі збільшенням кута падіння. Крім того, цей ефект менш виражений в місцях з великою хмарністю

Продовження таблиці 3.1		
Модульні втрати	Перетворення	Номинальна ефективність визначається виробником для стандартних умов
	Теплові втрати	З підвищенням температури втрати при перетворенні збільшуються. Ці втрати залежать від освітленості (місця розташування), методу монтажу (скло, термічні властивості матеріалів), і швидкості вітру ~ 8%
Втрати в системі ~14%	Втрати в кабелях	Будь-які кабелі мають певний опір і, отже, більше втрат
	ТМП	Здатність трекера максимальної потужності послідовно знаходити точку максимальної потужності
	Інвертор	ККД інвертора
	Мікро-інвертор	Якщо інвертор маломірний, потужність спадає для світла з високою інтенсивністю. Якщо інвертор великих габаритів, ККД перетворювача буде надто низькою для світла з низькою інтенсивністю
	Трансформатор	У випадку втрат трансформатора в електроенергії, він повинен бути підключений до мережі з високою напругою
Операції і обслуговування	Час простою	Час простою для обслуговування, як правило, дуже низький для фотоелектричних систем

3.2.3. Оцінка втрат на лінії (в кабелях). По постійному струмі: довжина кабелів

$$X_1 = 7.6 \text{ (м)} \cdot 2 \text{ (м)} = 15.2 \text{ (м)} + 2 \text{ (м)} \text{ (запас)} = 17.2 \text{ (м)} \cdot 6 \text{ (секцій)} = 103 \text{ м};$$

$$X_2 = 18 \cdot 7.6 \text{ (м)} = 136 \text{ (м)} + 4 \text{ (м)} \text{ (запас)} = 140 \text{ м};$$

$$X_3 = 126 \text{ м};$$

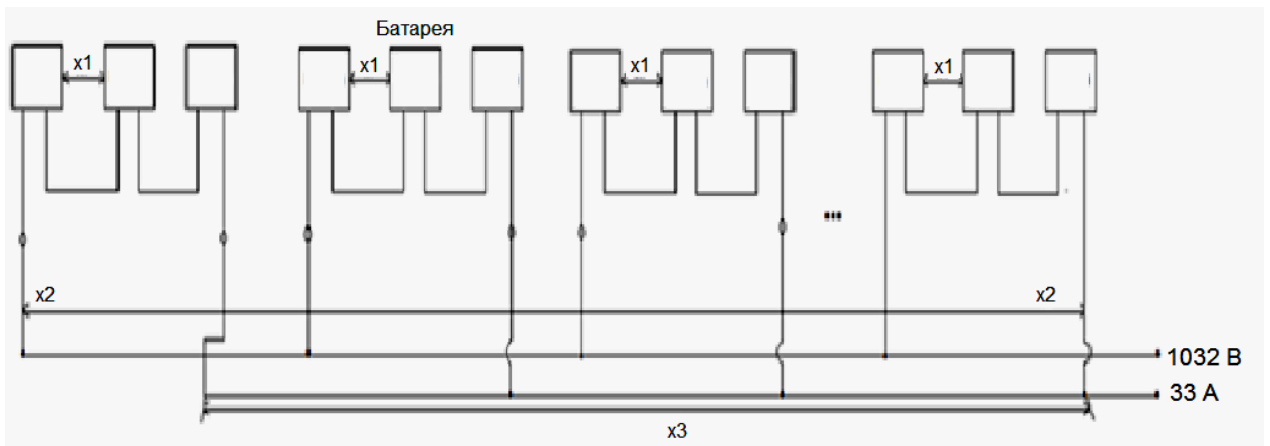


Рис. 3.4 – Схема з'єднання сонячних батарей

Загальна довжина: $103 + 140 + 126 = 370$ м;

370 (м) $\cdot 16 = 5920$ м;

$$P_k = I^2 \cdot R; \quad (3.4)$$

$I = 33$ А;

$S = 4$ мм² $= 4 \cdot 10^{-6}$ м²;

$$R = r_0 \cdot \frac{l}{S} = 0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{5920}{4 \cdot 10^{-6}} = 25,9 \text{ Ом}; \quad (3.5)$$

$$P_k = 33^2 \cdot 25,9 = 28205 \text{ Вт} \approx 28 \text{ кВт}; \quad (3.6)$$

По змінному струмі:

410 (м) $\cdot 4$ (ряди) $= 1640$ м;

1640 (м) $+ 30$ (м) (відстань від ряду до тр.) $= 1670$ м;

$1670 \cdot 3 = 5010$ м;

$I = 73,9$ А;

$$P_{вт.} = (73,9)^2 \cdot 6,5 = 35 \text{ кВт};$$

$$P_{вт.} = 17 \text{ кВт};$$

$$P_{вт.} = 8,5 \text{ кВт} (1,5\%)$$

Загальні втрати: $2,8\% + 1,5\% = 4,3\%$.

Відповідно до вищевикладеного розгляду приймемо наступні коефіцієнти втрат:

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти втрат в СЕС

До модульні втрати	8 %
Втрати через роботу в реальних умовах (робота при температурах вище 25°C, в умовах хмарності)	8 %
Системні втрати	
Втрати в кабелях	4.3 %
Втрати в інверторі (Мах ККД 97.8 %)	4.2 %
Втрати в трансформаторі (ККД 97.5 %)	2.5 %
МРРТ	1 %
Час простою	1 %
Обрізка максимальної потужності інвертора	1 %
Загальна сума системних втрат	14 %

Введемо коефіцієнти втрат: K_d , K_p , K_c .

Загальний коефіцієнт втрат $K = K_d + K_p + K_c = 8\% + 8\% + 14\% = 30\%$

3.2 Оцінка виробітки електроенергії системи із одновісним слідкуванням за сонцем. Порівняння із стаціонарною системою

За допомогою даних падаючого потоку сонячного випромінювання, отриманих в розділі 2 для кожного місяця, будемо розраховувати виробітку електроенергії станції, спираючись на номінальний ККД вибраного сонячного модуля. Він становить 19 %. Також будемо враховувати всі втрати, виражені коефіцієнтом K .

Спочатку розрахуємо виробітку для стаціонарної станції по кожному місяцю. Оптимізацію для рухомої станції проводимо для прямого випромінювання із врахуванням коефіцієнта сонячних годин для даного місяця.

Таблиця 3.3 – Виробництво електроенергії стаціонарної і рухомої станції кожного місяця

Місяць	Виробіток електроенергії стаціонарної станції (кВт·год)	Виробіток електроенергії рухомої станції (кВт·год)
Січень	13252,21	14242,80
Лютий	19395,36	22892,95
Березень	42113,43	55711,62
Квітень	56022,45	73713,75
Травень	62976,96	86391,06
Червень	61045,15	84749,75
Липень	64136,05	88755,07
Серпень	62204,24	84878,99
Вересень	45590,68	56493,06
Жовтень	33806,65	41191,10
Листопад	17154,46	20782,48
Грудень	11513,58	12913,65
Рік	489 211,21	642716,29

Тобто:

1) ми розраховали, що сонячна електростанція із системою одновісного слідування за сонцем дає змогу отримати збільшену виробітку електроенергії на 24% у порівнянні із стаціонарною системою;

2) СЕС із одновісним слідуванням за сонцем потребує площі ділянки 1.7 га, що еквівалентно значенню питомої площі 3.4 га/МВт пікової потужності. Це на 36% більше у порівнянні із стаціонарною станцією. Такий підхід має зміст за умови наявності значних площ землі незадіяних в економіці регіону.

3.3 Верифікація результатів

Нижче подано діаграму координат сонця на небосхилі впродовж року. Стрілками позначено анафему – криву, що з'єднує послідовні розташування центральної зірки планетарної системи (у нашому випадку — Сонця) на небосхилі однієї з планет цієї системи в один і той же час доби протягом року. Аналогічний графік розраховано самостійно в розділі 2.

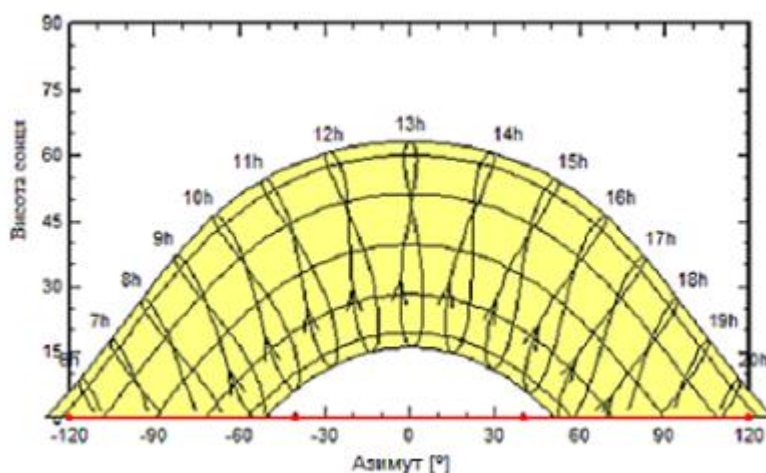


Рис. 3.6 – Рух сонця по небосхилу впродовж року

Ця діаграма дає змогу оцінити втрати від взаємного затінення сонячних батарей. Комплекс PVsyst є зручним інструментом в даному випадку. З його допомогою проводимо оптимізацію взаєморозміщення модуля на ділянці. Збільшення відстані між рядами від номінальних 7.6 м, розрахованих в розділі 2, до 10 метрів дає змогу зменшити втрати на взаємозатінення на 3.9%.

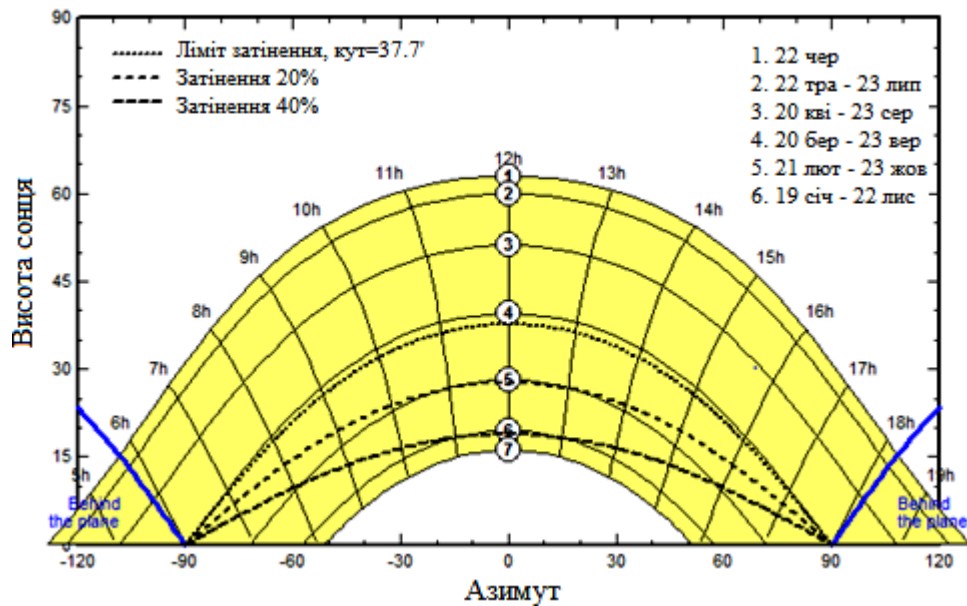


Рис. 3.7– Діаграма затінення (пітч 7.6 м)

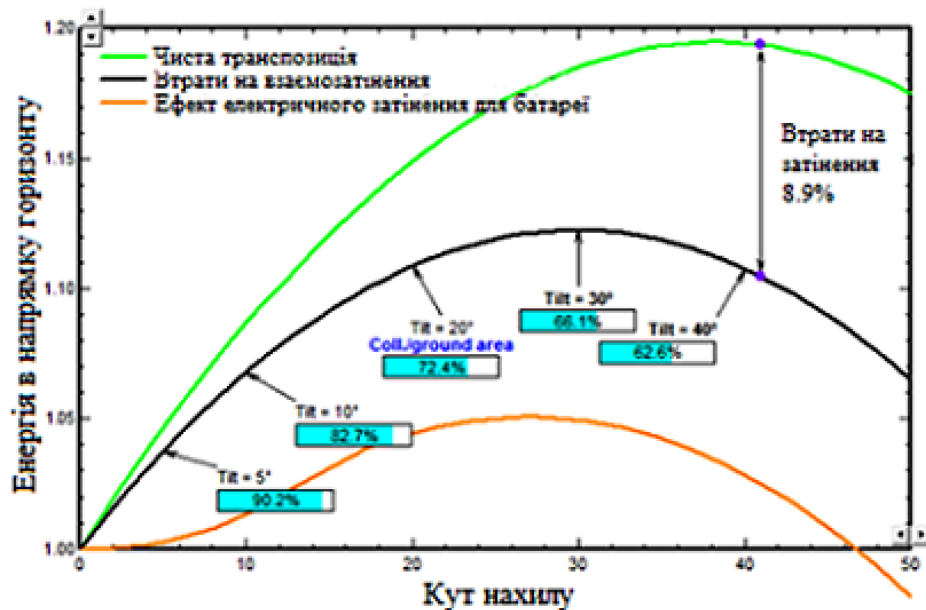


Рис. 3.8 – Оптимізація втрат на затінення по куту нахилу поверхні (пітч 7.6 м)

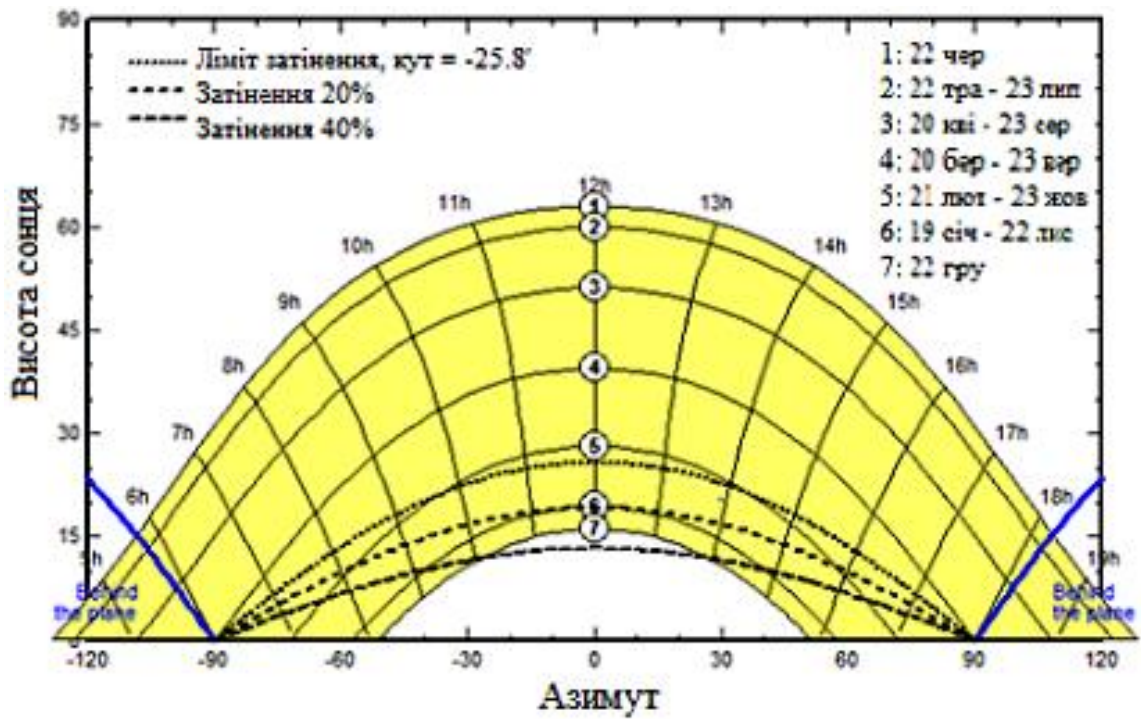


Рис. 3.9 – Діаграма затінення (пітч 10 м)

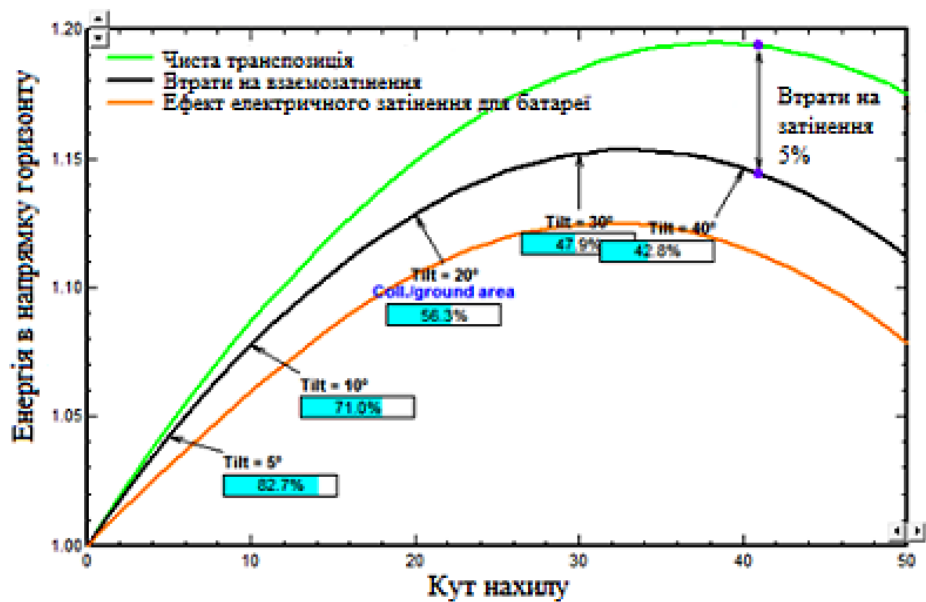


Рис. 3.10 – Оптимізація втрат на затінення по куту нахилу поверхні (пітч 10 м)

Базуючись на діаграмах затінення, можемо стверджувати, що зміна відстані між рядами від 7.6 м до 10 м призводить до зменшення електричних втрат на затінення на 7.6% для кожного ряду модулів, який знаходиться в зоні затінення. У спроектованій конфігурації це стосується 0,75 усіх батарей, тому вважатимемо, що середня зміна електричної потужності для станції із 4 рядів становитиме 5,7%.

З іншого боку, зміна займаної площі становитиме 30%. Збільшення електричних втрат становитиме 0.8 %. Таким чином, рішення про використання 7.6 чи 10 метрової конфігурації розміщення рядів батарей базується на економічній доцільності. Технічна доцільність є обґрунтованою.

Урахувавши детальні параметри нашої станції (потужність, марку модулів, взаємне розміщення батарей, параметри інверторів) оцінюємо середньомісячну питому виробітку станції для випадку одновісного слідування за сонцем із нахилом осі 41°.

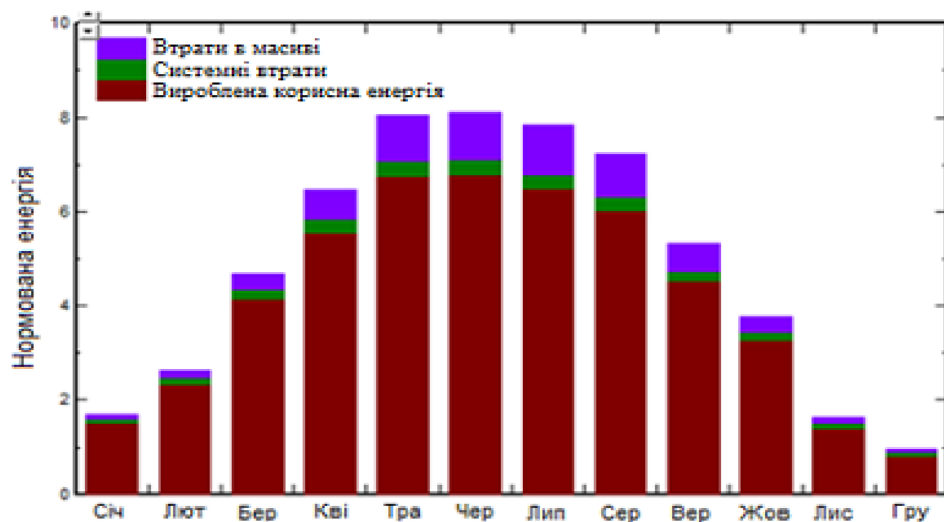


Рис. 3.11 – Нормована питома виробітку електроенергії по місяцях року для центральної України та розподіл втрат (системні втрати, модульні втрати)

Дані моделювання інтегруємо для загальної пікової потужності інсталюваних модулів 500 кВт. Щорічний виробіток становить 768 тис. кВт·год.

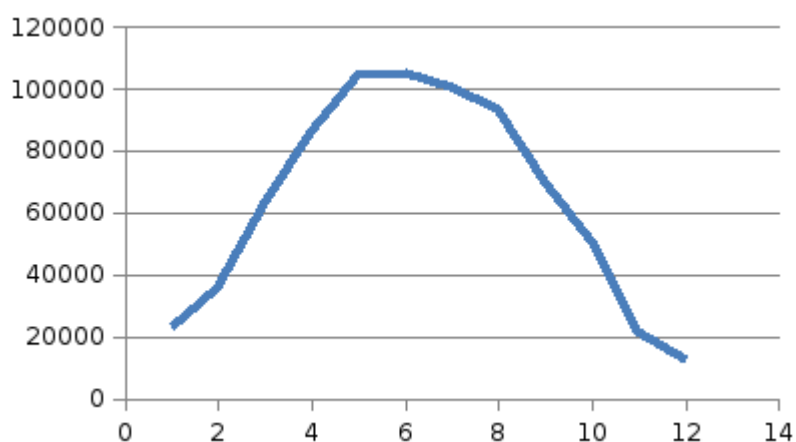


Рис. 3.12 – Абсолютний виробіток електроенергії СЕС по місяцях року (однорічне слідкування за сонцем)

Результати моделювання вказують на суттєвіше зростання виробітки електроенергії для системи із 1-вісним слідкуванням за сонцем. Це насамперед пов'язано із використанням різної бази даних інсоляції та кліматів, оскільки комплекс PVSyst користується даними для центральної України. Ми ж у своїх розрахунках користувалися даними із бази PVGIS для місцевості Луганської області. Також у наших розрахунках закладено більший рівень втрат.

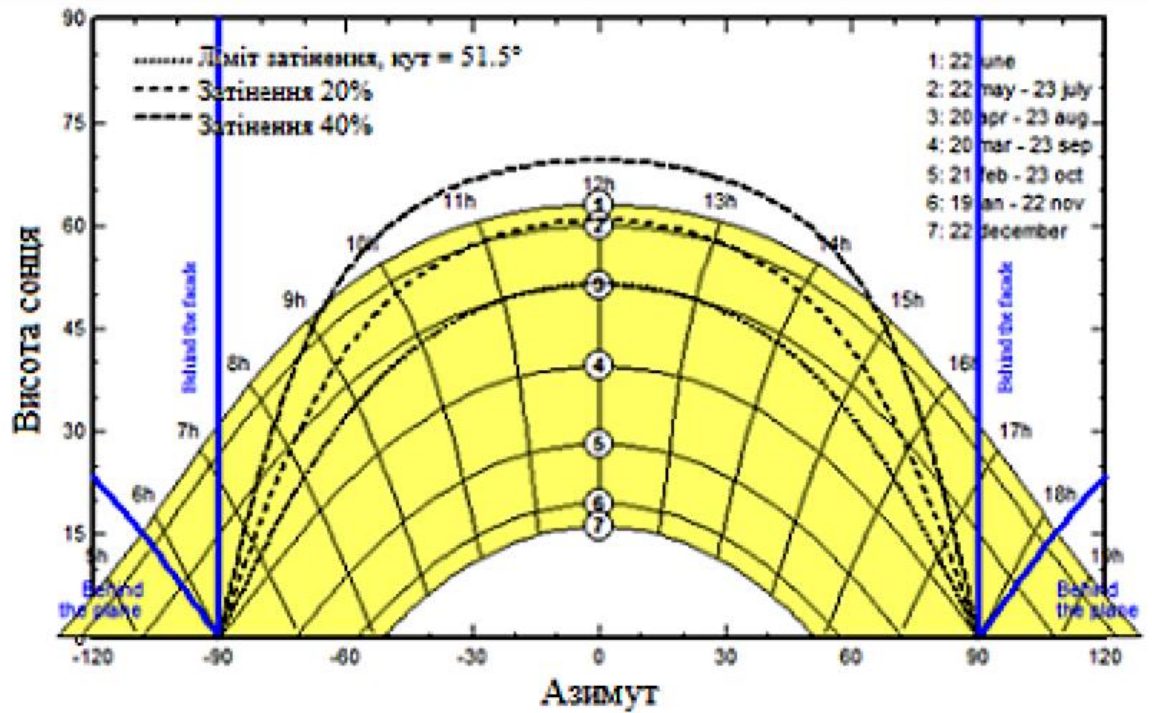


Рис. 3.13 – Діаграма втрат

Можемо констатувати, що така станція може забезпечити до 1000 середньостатистичних споживачів електроенергії (2-3 села) екологічно-чистою електроенергією на термін до 30 років, займаючи площу всього лиш 1.7 га, що становить менше 1% вільних площ землі.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Вибір переліку споживчих параметрів та визначення комплексного показника якості

Найбільш близьким до проектованої мережі є сонячна електростанція в с. Ралівка Самбірського району Львівської обл. Але така сонячна електростанція не використовує системи спостереження за сонцем, а отже і не отримує достатньої кількості енергії. Тому проектування нової мережевої електростанції з одновісною системою спостереження за сонцем дозволить отримувати набагато більше сонячної енергії та збільшить її конкурентоздатність.

Проводимо відбір показників, які б давали повну характеристику нового виробу.

Показники, які характеризують технічний рівень і якість продукції зведені у таблиці 4.1.

Для подальшого визначення доцільного проектування сонячної мережевої електростанції проводиться розрахунок комплексного показника якості, що розраховується за показниками, які характеризують параметри станції. Всі необхідні параметри для розрахунку комплексного показника якості наведені в таблиці 4.1, в якій:

a – одиниця виміру;

I_i – параметричний індекс якості i -го показника;

J_j – вагомість i -го показника (параметра);

K_i – зважений параметричний індекс якості i -го показника (I_i, J_j).

Таблиця 4.1 – Визначення комплексного показника якості мережевої електростанції [20]

№ п/п	Параметри	Од. вимір.	Значення параметрів		Параметричний індекс якості I -го показника	Вагом. I -го показн.	Зважений параметрич. індекс якості i -го показн.
			Аналог (P_{iA})	Новий (P_{iNB})			
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Призначення							
1.1	Споживна потужність	МВт	0,75	0,5	1.5	0.15	0.225
1.2	Габаритні розміри	м ²	20000	15000	1.33	0.2	0.266
2. Надійність							
2.1	Термін експлуатації	Рік	20	25	1.25	0.3	0.375
2.2	Термін окупності	Рік	5	44	1.66	0.15	0.415
2.3	Гарантійне обслуговування	Рік	2	44	1.5	0.1	0,15
3. Безпека							
3.1	Електробезпека	Бал	5	5	1	0.05	0.05
3.2	Ергономічні	Бал	5.6	4.5	1.25	0.03	0.038
3.3	Естетичні	Бал	5.6	4.5	1.25	0.02	0.025
						1,0	1,544

Для визначення значень параметричних індексів якості по кожному з показників необхідно врахувати наступні правила.

1. Для показників, по яких збільшення числового значення відповідає покращенню характеристики параметричні індекси якості визначаються за формулами:

$$I_i = P_{i,HB} / P_{i,A1}, \text{ якщо } P_{i,HB} < P_{i,A1}$$

2. Для показників, по яким збільшення числового значення відповідає погіршенню характеристики, параметричні індекси якості визначаються за формулами:

$$I_i = P_{i,HB} / P_{i,A1}, \text{ якщо } P_{i,A1} > P_{i,HB}$$

Сума зважених параметричних індексів по всіх показниках дає значення комплексного показника якості нового виробу $K_{п.як}$.

Показники, які не вимірюються числовими величинами (ергономічні, естетичні), оцінюються експертним методом у балах за шкалою 0÷5. Показники безпеки оцінюються двома значеннями: 1 – безпечний, 0 – небезпечний.

Патентно-правові показники можуть змінюватись від 0 до 1. Значення 1 означає, що всі елементи, які ввійшли у вищезгадані групи, є патентне чистими та патентне захищеними.

Комплексний показник якості розраховується за наступною формулою:

$$K_{п.як} = I_i / J_i . \quad (4.1)$$

На основі комплексної оцінки техніко-економічного рівня нової спроектованої електростанції і аналога визначили коефіцієнт еквівалентності (показник якості) нової електростанції. Він становить 1.043 і показує, що відмінність у техніко-економічному рівні нової електростанції і аналогу складає 104.3% у сторону покращення на 4.3%.

4.2 Розрахунок операційних витрат на проектування мережевої сонячної електростанції

Розрахунок операційних витрат на проектування сонячної мережевої електростанції здійснюється методом питомої ваги.

Визначається вартість матеріалів, напівфабрикатів та комплектуючих в новому виробі за методом прямого розрахунку. Результати обчислень заносимо до табл. 4.2.

Вартість транспортно-заготівельних витрат приймається на рівні 3–5% до вартості матеріалів, комплектуючих та напівфабрикатів.

Таблиця 4.2 – Розрахунок вартості основних матеріалів, напівфабрикатів та комплектуючих виробів сонячної мережевої електростанції [20]

Назва матеріальних ресурсів	Один. виміру	Норма витрат на один виріб	Ціна за один., грн.	Вартість мат. ресурсів грн.	Вартість трансп. загот. витрат грн.	Вартість мат. ресур. з урахув. трансп. і загот. витрат, грн.
Матеріали						
Кабелі						
ІЕС-60811 ІЕС-60216	м	50	410	20500	2050	22550
ІЕС-60228 ІЕС-60811	м	40	325	13000	1300	14300
ІЕС-60502	м	35	270	9450	945	10395
КММ 13x0.12	м	45	290	13050	1305	14355
Комплектуючі						
Panasonic HIT 240 Вт	шт.	2080	3750	7800000	780000	8580000
Трансформатори						
IS-2026 / ІЕ 60076	шт.	4	1400	5600	560	6160
Інвертори						
SunnyIsland 3.0	шт.	5	9665	48325	4832	53157
			16110	7909925	790992	8700917

Визначаємо собівартість проектованої сонячної електростанції:

$$C_{\text{вн}} = [M_{\text{нв}} + Z_{\text{нто}} \cdot (1 + K_{\text{доп}}) \cdot (1 + K_{\text{сум.вр}}) + Z_{\text{нто}} \cdot (K_{\text{ц}} + K_{\text{зз}})] \cdot (1 + K_{\text{пв}}) \quad (4.2)$$

де: $M_{\text{нв}}$ – вартість матеріальних витрат;

$Z_{\text{нто}}$ – основна заробітна плата основних робітників при виробництві нового приладу розрахована методом питомої ваги;

$$Z_{\text{нто}} = M_{\text{но}} \cdot \Pi_{\text{а2зп}} / \Pi_{\text{а2м}} \quad (4.3)$$

де $\Pi_{\text{а2зп}} / \Pi_{\text{а2м}}$ – питома вага основної заробітної плати та матеріальних витрат в заводській собівартості аналогу 2.

$$\Pi_{\text{а2м}} = 0.34$$

$$Z_{\text{нто}} = 8700917 \cdot 0.17 / 0.34 = 4350458.5 \text{ грн.}$$

$K_{\text{доп}}$ – коефіцієнт додаткової зарплати основних робітників;

$$K_{\text{доп}} = 0.2;$$

$K_{\text{сум.вр.}}$ – коефіцієнт нарахування єдиного соціального внеску,

$$K_{\text{нар.есв}} = 0.37$$

$K_{\text{ц}}$, $K_{\text{зз}}$ – коефіцієнти, відповідно загальнопромислових та адміністративних витрат до основної зарплати основних робітників:

$$K_{\text{зв}} = 1.8; K_{\text{адм}} = 0.5;$$

$K_{\text{пв}}$ – коефіцієнт витрат на збут: $K_{\text{вз}} = 0.03$.

$$C_{\text{вн}} = [8700917 + 4350458.5(1 + 0.37) + 4350458.5(0.8 + 0.5)](1 + 0.03) = 20926140 \text{ грн.}$$

Розрахунок ціни нової СЕС. Створення нової сонячної мережевої електростанції буде доцільним (при інших однакових умовах) в тому випадку, коли рентабельність цієї електростанції буде не менша ніж рентабельність станції, яка бралась для порівняння.

Ціна на створення нової електростанції визначається за формулою:

$$C_{\text{нпр}} = C_{\text{вн}}(1 + R) \quad (4.4)$$

$C_{\text{вн}}$ – повна собівартість нової електростанції;

R – середньогалузева норма рентабельності продукції;

$$R = 0.25$$

$$C_{\text{нпр}} = 20926140(1 + 0.25) = 26157675 \text{ грн.}$$

Зважаючи на отримані результати можна зробити наступні висновки: даний проект сонячної мережевої електростанції може мати потенційних споживачів та ринки збуту, оскільки сонячна енергетика є перспективною сучасною технологією. Проектована система в порівнянні з аналогом оснащена системою спостереження за сонцем, що сприятиме максимальній віддачі енергії Сонця і в перспективі має здешевити вартість енергетичних ресурсів для споживання.

ВИСНОВКИ

1. У магістерській роботі проаналізовано та розкрито метод розрахунку положення сонця на небосхилі в заданий час року, проведено відповідні розрахунки для умов Луганської області. Визначено оптимальний кут нахилу осі обертання модулів з огляду на потужність сонячного потоку, що поступає на задану поверхню. Для центральної частини Луганської області цей кут становить 41° .

2. За допомогою трьохмірної геометричної моделі аналітично визначено взаємовплив кута обертання площини нахилу під заданим кутом навколо похилої осі та азимута і нахилу заданої поверхні. Визначено кути повороту поверхні, які оптимізують падаючий потік випромінювання для кожної години усередненого дня кожного місяця року.

3. Проведено підбір електричних компонентів та вузлів СЕС заданої потужності. Оцінено рівень втрат, підібрано необхідне обладнання, зокрема використано новітній тип кремнієвих модулів на основі технології НІТ. Визначено вплив взаємного розташування генеруючих фотобатарей на втрати затінення та системні втрати.

4. Запропоновано проєкт сонячної мережевої електростанції може мати потенційних споживачів та ринки збуту, оскільки сонячна енергетика є перспективною сучасною технологією. Спроектована система в порівнянні з аналогом оснащена системою спостереження за сонцем, що сприятиме максимальній віддачі енергії Сонця і в перспективі має здешевити вартість енергетичних ресурсів для споживання.

5. У роботі розраховано щорічний виробіток електроенергії СЕС із нерухомими та слідкуючими модулями та визначено енергетичний вигащ станції із слідкуванням за сонцем, який становить 24%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Збірник задач та методичні вказівки до розрахунково-графічних та контрольних робіт з курсу „Нетрадиційні джерела енергії” для студентів спеціальності «Нетрадиційні джерела енергії» / Укл. С. А. Беспалько, А. В. Йовченко. – Черкаси: ЧДТУ, 2009. – 30 с.
2. Відновлювані джерела енергії / За ред. С. О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
3. Лозинська І., Скрипник О., Скрипник, Д. Сучасний стан та передумови розвитку відновлювальної енергетики в Україні. *Вісник Сумського національного аграрного університету*, 3(81), (2019). – С.12-15. <https://doi.org/10.32845/bsnau.2019.3.3>
4. Матвійчук Н. М. Пріоритети реалізації політики енергозбереження в Україні. *Juvenisscientia*. 2016. № 1. – С.97-100.
5. Прохоров С. М. Держава повинна стимулювати впровадження енергозберігаючих технологій. Український союз промисловців і підприємців. 2016. // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uspp.ua/ru/gosudarstvo-dolzno-stimulirovat-vnedrenieenergoeregayushhix-technologij.html>
6. Україну очікує лібералізація енергетичного ринку та активна участь громадського суспільства у його реформуванні – експерти // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ua.energyday.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=32:ukrainu-ochikuliberalizacija-energetichnogo-rinku-ta-aktivnauchast-gromadskogo-suspilstva-u-jogoreformuvanni-eksperti&catid=1:novini&Itemid=7

7. Гончар М. Відновлювана енергетика України: Попелюшка чи Фея? // [Електронний ресурс] "Дзеркало тижня. Україна" №26. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://gazeta.dt.ua/ECONOMICS/vidnovlyuvana_energetika_ukrayini_popelyushka_chi_feya.html
8. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Режим доступу: <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf>
- 9.. Калетнік Г. М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України [навч. посібник] / Г.М. Калетнік, В.М. Пришляк. –К: Аграрна наука, 2010. – 327 с.
10. Півняк Г. Г.Альтернативна енергетика в Україні / Г. Г. Півняк, Ф. П. Шкрабець. – Дніпро: вид-воНГУ, 2013. – 109 с.
11. Величко С.А.Енергетика навколишнього середовища України. [навч.-метод. посібник] / С. А.Величко, під ред. проф. І. Г. Черваньова. – Харків: ХНУім..В.Н.Каразіна, 2003. – 52с.
12. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
13. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії:Курс лекції/ С.О. Кудря, В.І. Будько. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 387 с.
14. Півняк Г. Основи вітроенергетики [підруч] / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципенков.–Дніпро: видання ред.-вид. відділу НГУ, 2015. – 335 с.
15. Галік О. І. Довідкові дані з клімату України [методичні вказівки] / О. І. Галік, Т. О. Басюк. – Рівне: НУВГП, 2014. – 158 с.
16. Олійник Я.Б. Основи екології [підруч.] / Я.Б. Олійник, П. Г. Шищенко, О. Г. Гавриленко. – К. : Знання, 2012. – 558 с.
17. Титко Р. Відновлювальні Джерела Енергії (досвід Польщі для України) [навч. посібник] / Р.Титко, В. М. Калініченко. – Варшава: OWG, 2010. – 530 с.

18. Дудюк Д. Л. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі [навч. посібник] / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, Я. М. Гнатишин. – Львів: Магнолія, 2008. – 188 с.

19. Кулик М. М. Стратегія енергозбереження в Україні: аналітично-довідкові матеріали в 2-х т./ М. М. Кулик, Б. С. Стогній, під ред. В. А. Жовтянського. – К.: Академперіодика, 2006. – 510 с.

20. Михайлів М. І. Нетрадиційні джерела електроенергії та основи енергоощадності : [конспект лекцій] / М. І. Михайлів, Я. В. Бацала, І. І. Яремак. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2013. – 117 с.

21. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: [підруч.] / С. О. Кудря. – К: НТУУ "КПІ", 2012. – 492 с.

17. Дикий М.О. Поновлювані джерела енергії [підруч] / М.О. Дикий. – К.: Вища школа, 1993 – 351с.

18. Шевченко В. І. Енергетика України: який шлях обрати, щоб вижити? [Незалежне дослідження електроенергетики] / В. І. Шевченко., Л. З. Півень. – К.: Просвіта, 1999. –185с.

19. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі [електронний ресурс] / – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5>.

20. Мережеві сонячні електростанції [електронний ресурс] / Режим доступу: <http://hifidom.com.ua/statti/solarpower/solarpowerstation>.

21. Сонячна енергетика [електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.npblog.com.ua/index.php/ekologiya/sonjachna-energetika>.

22. Впровадження сонячних електростанцій та дослідження їх впливу на роботу електроенергетичних систем [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/2/2018/03/Сонячна-електростанція.pdf>

23. Голик О. П., Жесан Р. В., Волков І. В., Чеканов О. О., Березюк І. А. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Ч. І:

[навч. посібник] / Уклад.: О. П. Голик, Р. В. Жесан, І. В. Волков. – Кропивницький : Вид. Лисенко В.Ф., 2020 – 192 с.

24. Сонячна енергія в Україні [електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: <http://ekovita.org.ua/viewtopic.php?t=718>.

25. Haberlin Н. PhotovoltaicsSystemDesignandPractice [електронний ресурс] /JohnWiley&SonsLtd. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.twirpx.com>.

26. A collection of resources for the photo voltaic educator– [електронний ресурс] / Режим доступу:<http://www.pveducation.org>.

27. Photo voltaic Geographical Information System (PVGIS)[електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: <http://re.jrc.ec.europa.eu>.

28. Marion W. F. Rotationanglefortheoptimumtrackingofone-axistrackers/ Marion,W. F.&Dobos, A. P.// report, –July 1, 2013; Golden, Colorado.

