

Хмельницький національний університет

Факультет інженерної механіки

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка сонячної електростанції з розміщенням на залізничній колії

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТм-22-1

ЕВ
Підпис

Єрій А. В.

Ініціали, прізвище

Керівник

М. Є.
Підпис, дата

д.т.н. проф. Скиба М. Є.

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

П. С.
Підпис, дата

С. І. Луканич

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

О. С.
Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О. С.

Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

24 12 2023 р.

Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень II (магістер)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр і назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр і назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

д.т.н., проф. Поліщук О.С.

_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Єрій Андрій Вікторович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка сонячної електростанції з розміщенням на залізничній колії

керівник роботи д. т. н., проф. Скиба Микола Єгорович

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15 08 2023 р. № 30

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи залізнична траса Гречени-Тернопіль, відповідність будівельним нормам АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень по системах генерації електричної енергії на основі фотоелектричного ефекту. 2. Розробка сонячної електростанції на залізничних шляхах України. 3. Розрахунок прогнозованої кількості виробленої енергії. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Огляд існуючих промислових СЕС та їх способу монтажу (ДО - А1).

Аркуш 2. Схема підключення сонячної електростанції (СПЕ - А1). Аркуш 3. Детальний план території для будівництва об'єкта альтернативної енергетики (СЕС)

(СІС - А1). Аркуші 4 та 5. Кронштейн в зборі (МК (А1), СК та супровідна конструкторська документація (А3/А4)).

Аркуші 6 та 7. Пасивна очисна щітка (СК (А1), документ ілюстраційний (А1), схема гідравлічна принципова (А4), схема кі-

нематична принципова (А4), супровідна конструкторська документація (А3/А4)).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2	Смутко С. В. к.т.н., доц.		
2	Романець Т. П. к.т.н., доц.		
3	Романець Т. П. к.т.н., доц.		


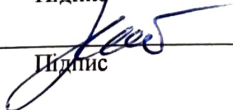
7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз технічної літератури.	до 30.10.2023р.	
2. Розробка СЕС та допоміжного обладнання, підбір компонентів СЕС розробка допоміжного устаткування (очисний механізм), розробка елементів кріплення сонячних панелей.	до 10.11.2023р.	
3 Розрахунок електричних параметрів електростанції, розрахунок географічних та ергономічних параметрів СЕС.	до 20.11.2023р.	
4 Оформлення пояснювальної записки, конструкторської та інженерної документації.	до 12.12.2023р.	

Студент

Керівник роботи


 Підпис

 Підпис

Єрій А. В.
 Ініціали, прізвище
 Скиба М. Є.
 Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Срій Андрій Вікторович

2. Тема магістерської роботи Розробка сонячної електростанції з розміщенням на залізничній колії

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень _____ 8 _____ арк., сторінок записки _____ 79 _____

5. В кваліфікаційній роботі магістра розкривається тематика ефективного використання площі поверхні землі при побудові об'єктів альтернативної електрогенерації. Мета роботи полягає в інженерному обґрунтуванні доцільності використанні площі залізничного полотна за рахунок виконання проектної роботи та відповідних, інженерних розрахунків електричних та ергономічних показників. В першому розділі магістерської роботи проведено огляд та здійснено аналіз існуючих технічних та технологічних рішень на основі яких було сформовано обґрунтування доцільності виконання даної роботи та прийнято рішення про розробку об'єкта альтернативної електрогенерації. В другому розділі роботи здійснено розробку електричних принципів схем, елементів кріплення, проведено розрахунки основних електричних параметрів та підбір елементів електричної мережі СЕС, розроблено пакет конструкторської документації для монтажу та під'єднання вузлів об'єкта. Додатковим завданням розділу, була, розробка принципу та механізму забезпечення оптимальної чистоти поверхонь сонячних панелей електростанції. В третьому розділі проведено розрахунки енергетичних показників розробленої нами сонячної електростанції та порівняльний аналіз із існуючими промисловими енергетичними об'єктами. Результатом виконання роботи є економічно обґрунтований проект та пакет конструкторської документації який відповідає конструкційним вимогам залізничних шляхів АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ».

Підпис студента Срій

"23" 12 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №1 від "26" 12 2023 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно 5,0/А

Рекомендації ЕК _____

Рекомендується до впровадження у виробництво

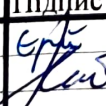
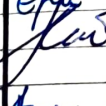


Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____

"26" 12 2023 р.

ЗМІСТ

	с
Вступ.....	6
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень по системах генерації електричної енергії на основі фотоелектричного ефекту	8
1.1 Сонячне випромінювання.....	8
1.2 Огляд та аналіз існуючих типів сонячних установок та їх принципів роботи	12
1.3 Огляд та аналіз існуючих сонячних електростанцій.....	14
Висновки до першого розділу.....	23
2 Розробка сонячної електростанції з розміщенням на залізничній колії.....	24
2.1 Аналіз технічних умов необхідних для проектування сонячної електростанції.....	24
2.2 Побудова електричної принципової схеми	27
2.3 Підбір елементів сонячної електростанції.....	29
2.4 Розробка кріплення для сонячних панелей	50
2.5 Розробка пасивної очисної щітки для сонячних панелей	53
Висновки до другого розділу	58
3 Розрахунок прогнозованої кількості виробленої енергії	60
3.1 Побудова графіків інсоляції поверхні Землі	60
3.2 Розрахунок потужності СЕС.....	64
3.3 Побудова графіків генерування електричної енергії впродовж року.....	67
3.4 Розрахунок площі електростанції.....	68
Висновки до третього розділу.....	70
Висновки	72
Перелік джерел посилань	74
Додаток А.....	78
Додаток Б.....	79

МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ				
м.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
виконав		Єрій А. В.		
перевір.		Скиба М. Є.		
і.контр.		Мундан С. І.		
атвер.		Поліщук О. С.		
Розробка сонячної електростанції з розміщенням на залізничній колії				
Пояснювальна записка				
		Літера	Аркуш	Аркушів
			5	79
ХНУ гр. ЕТМ-22-1				

ВСТУП

В сучасному світі, щорічне зростання попиту на електроенергії та необхідність в альтернативних джерелах енергії, все більше загострює потребу у використанні відновлювальних джерел енергії, зокрема енергії сонячного випромінювання. Під час проектування та побудови сонячних електростанцій (СЕС) виникає проблема пов'язана з використанням великої площі земельних ділянок необхідних для проведення сільськогосподарської діяльності, будівництва та створення природних екологічно недоторканих зон (заповідників).

Україна є державою з обмеженими паливно-енергетичними ресурсами і змушена транспортувати їх в розмірі до 65%. Тому, як і багато країн світу, які мають низьку власну енергетичну складову, прагне впроваджувати альтернативні джерела отримання енергії. За інформацією Міжнародного Агентства з відновлюваної енергетики (IRENA), викладеній у доповіді "Епоха відновлюваної енергетики", сукупна встановлена потужність об'єктів ВЕ у світі за результатами 2014 року становить 1 828 ГВт у порівнянні з близько 1500 ГВт газових електростанцій та 1880 ГВт вугільної генерації. Більшість такої енергії вироблено гідроелектростанціями (1,172 ГВт), на другому місці - ВЕС (370 ГВт), на третьому - СЕС (175 ГВт). Очікується, що частка відновлюваних джерел енергії за показником річного виробництва збільшиться з 3% у 2014 році до 20% у 2030 році, зокрема за рахунок сонячної та вітрової генерації [1]. Такий розвиток матиме неабиякий вплив на принципи функціонування, управління, фінансування та регулювання енергетичних систем. Одним з пріоритетних напрямів в енергозбереженні є використання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії, до яких відноситься сонячна енергія.

Сонячна енергія доступна в кожній точці земного шару, яка розрізняється по щільності потоку сонячного випромінювання не більше ніж в два рази. Тому сонячна енергетика приваблива для всіх країн та відповідає їх інтересам в напрямку енергетичної незалежності.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Сонячна радіація - це чисте, екологічне джерело енергії, що дозволяє використовувати його у все більш зростаючих масштабах без негативного впливу на навколишнє довкілля.

Основними напрямками використання сонячної енергії є:

- отримання тепла шляхом прямої абсорбції сонячного випромінювання;
- перетворення сонячної радіації на електроенергію.

Тому, завданням нашої дипломної роботи є пошук шляхів збільшення частки виробленої екологічно чистої сонячної енергії при використанні мінімальних площ суходолу необхідних для ведення різноманітних видів господарської діяльності.

Щорічно залізниця обслуговує понад 80% вантажних та 50% пасажирських перевезень. Річний обсяг споживання електроенергії для потреб "Укрзалізниці" складає 6 млрд кВт-год електроенергії, з яких 1 млрд кВт-год використовується для пасажирських перевезень. в Україні [2].

Нами запропоновано один із інноваційних методів побудов сонячних електростанцій шляхом розміщення активної частини СЕС поміж рельс залізничних шляхів. Що в свою чергу дозволить зменшити частку електроенергії споживану залізничним транспортом в загальній енергетичній системі країни. Довжина всіх залізничних шляхів в Україні складає більше 20 тисяч кілометрів, 45% з яких – електрифіковано [1].

Результати розробки сонячної електростанції та її допоміжного устаткування представлені та високо оцінені на науковій студентській конференції кафедри машин та апаратів, електромеханічних та енергетичних систем у 2023 році. На основі результатів виконання кваліфікаційної роботи було підготовлено тези у Збірник наукових праць «Технічна творчість» №7, 2023р. (додаток Б).

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПО СИСТЕМАХ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ЕФЕКТУ

1.1 Сонячне випромінювання

Енергія сонячного випромінювання – це велике джерело екологічно чистої та безкоштовної енергії. Вона виникає в ході термоядерних реакцій, що протікають в середині Сонця та потрапляє на Земну поверхню в формі радіації (випромінювання світла).

Сонячна енергія – це первинне джерело відновлювальної енергії, що потрапляє в земну атмосферу від Сонця шляхом радіаційного випромінювання. У верхні шари атмосфери надходить близько 174 ПетаВт (174×10^{15} Вт) сонячної енергії. Проте, понад $\frac{1}{3}$ енергії відбивається від верхніх шарів атмосфери та повертається в космос, $\frac{1}{3}$ енергії втрачається при проходженні крізь атмосферу Землі.

Щоденно середнє значення опромінення 1 м^2 Землі рівне 4,2 кВт·год, в районі пустель даний показник тримається на відмітці 6,0 кВт·год впродовж року.

Енергія випромінювання Сонця має ряд суттєвих переваг та недоліків, які визначають доцільність застосування даної технології під-час розгляду технологічних рішень для енергопостачання на промислові, житлові та адміністративні об'єкти.

До переваг використання енергії сонця можна віднести:

- безкінечність – за прогнозами учених міжнародних дослідних організацій, термоядерні реакції в ядрі Сонця триватимуть ще понад 4,6 млрд. р., що в порівнянні з тривалістю людського життя є нескінченно довгим відрізком часу [3];

- великі об'єми – сумарна потужність сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі перевищує світові потреби в енергії більше ніж в 20 тисяч разів;

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- низькі витрати – енергія сонця безкоштовна, відсутність потреби в її транспортуванні та видобутку роблять її найдешевшим джерелом енергії на планеті;
- доступність – енергія сонця доступна практично в кожній частині земної півкулі в кількості, що залежить від географічного положення на земній кулі [5];
- екологічно чиста – енергія сонця є екологічно чистою та не має супровідних шкідливих викидів в атмосферу в процесі її перетворення в електричну та теплову енергії, що притаманно для традиційних джерел енергії, таких як: вугілля, нафта, торф і т. п.. Єдині шкідливі чинники які можуть впливати на екологію – це викиди шкідливих речовин та сміття в атмосферу в процесі виробництва та ліквідації СЕС та сонячних теплових насосів.

До основних недоліків сонячної енергії відносяться:

- сезонність та не стабільність – рівень інсоляції сонячної енергії на поверхню земної ділянки залежить від кута нахилу падіння сонячних променів відносно землі та погодних (атмосферних) умов, наприклад, хмарність, запиленість;
- складність в прогнозуванні – сонячна енергетика дуже важко піддається прогнозуванню, тому стабільність енергетичної мережі в яку глибоко інтегровано СЕС важко контролювати.

Технології використання сонячної енергії поділяють на:

- активні – до них відносяться теплові сонячні колектори, що перетворюють енергію сонячного випромінювання в теплову, яка може бути використана для обігрівання приміщень, гарячого водопостачання та генерації електричної енергії. Також, до цієї категорії відносяться фотомодулі, які працюють на фотоелектричному явищі перетворення енергії, застосовуються виключно для генерації електричної енергії;
- пасивні – використовуються на стадії проектування житлових приміщень, інфраструктури міст та промислових об'єктів, основним принципом використання пасивних технологій є орієнтація приміщень та їх структурних елементів по відношенню до сонця. Також, використовуються різного роду, рефлектори, концентратори та світлові колодязі.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Сонячна радіація – електромагнітне і корпускулярне випромінювання Сонця.

Електромагнітна складова сонячної радіації поширюється в просторі у вигляді електромагнітних хвиль зі швидкістю рівною швидкості світла, спектральний діапазон електромагнітного випромінювання Сонця варіюється від радіохвиль до рентгенівського та гама випромінювання.

Корпускулярна складова сонячної радіації в більшій мірі складається з протонів, проте, у випадку виникнення сонячних спалахів утворюються частинки високих енергій, наприклад, електрони. Електрони і протони разом утворюють сонячну компоненту космічних променів. Рух протонів в космосі коливається в рамках 300-1500 км/с та має назву сонячний вітер.

Електромагнітна радіація, в свою чергу поділяється на [6]:

- пряму радіацію – радіацію, що доходить до земної поверхні у вигляді направленого пучка паралельних між собою променів, які рухаються безпосередньо від сонця. Інтенсивність падаючого проміння залежить від позиції сонця відносно лінії горизонту, прозорості атмосферного повітря та густини хмар;

- розсіяну радіацію – сонячна радіація, яка була розсіяна в атмосфері Землі внаслідок взаємодії сонячних променів, що проходять крізь атмосферу з часточками пилу та газами. Розсіяна радіація в хмарні дні є єдиним джерелом світла в приземних шарах атмосфери;

- сумарну радіацію – сукупність прямої та розсіяної радіацій, що потрапляють на земну поверхню. Сумарна радіація сильно залежить від висоти над рівнем моря та географічної широти та атмосферних умов.

- відбиту радіацію – частина сумарної радіації, що втрачається з земної атмосфери внаслідок відбивання сонячних променів від поверхні землі, хмар, атмосферного пилу та атмосферних газів.

Сонячна радіація яка доходить до поверхні землі в повній мірі залежить від діючих а атмосфері землі факторів, які впливають на світловий потік, що надходить крізь товщу повітря, пилу та електромагнітне поле, що захищає живих істот

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

від згубної дії сонячного вітру та прямого потрапляння проміння на Землю.

Основними чинниками, що впливають на інтенсивність сонячної радіації є:

- географічна широта місцевості – в районах, які знаходяться ближче до екватора, сонячний радіаційний фон вищий ніж в районах, що наближені до полюсів. Градієнт рівня інсоляції на одиницю площі змінюється в залежності від віддалення від екватора;

- висота місцевості над рівнем моря – інтенсивність опромінювання поверхні землі прямо-пропорційна товщі атмосферних газів крізь які проходить проміння. Відповідно у вищих регіонах (наприклад – гори, вершини) кількість радіації, що потрапляє на поверхню вищий ніж в районах які знаходяться нижче;

- пора року – показники інтенсивності опромінювання змінюються в залежності від пори року, що обумовлюється зміною положення земні відносно своєї орбіти та осі, спричиняючи цим зміну кута падіння сонячних променів та тривалість світлового дня. На полюсах та екваторі показники практично не змінюються впродовж року;

- висота стояння Сонця над горизонтом – при зміні положення сонця впродовж дня змінюється і кут падіння сонячного проміння на поверхню землі, при цьому змінюється і коефіцієнт розподілу сонячного пучка на поверхні. Коли Сонце знаходиться в зеніті, інтенсивність освітлення поверхні землі значно вища, ніж у випадку коли сонце наближене до лінії горизонту;

- чистота повітря – фактор який впливає на розсіювання та поглинання світлового потоку частинками смогу, газами, пилом. Чим більше забруднення атмосфери, тим більші втрати прямого світлового потоку при проходженні проміння крізь неї.

Кількісний показник оцінки потоку сонячної енергії – інсоляція.

Інсоляція – опромінення поверхні сонячною радіацією, або потік радіації на одиницю площі поверхні. Інсоляція вимірюється в кВт·год/м².

Величина інсоляції в різних регіонах планети Земля залежить від: кута нахилу земної поверхні; висоти Сонця над горизонтом; географічної широти місця;

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

орієнтації по відношенню до сторін горизонту земної поверхні [5].

Карта інсоляції планети Земля показана на рисунку 1.1.

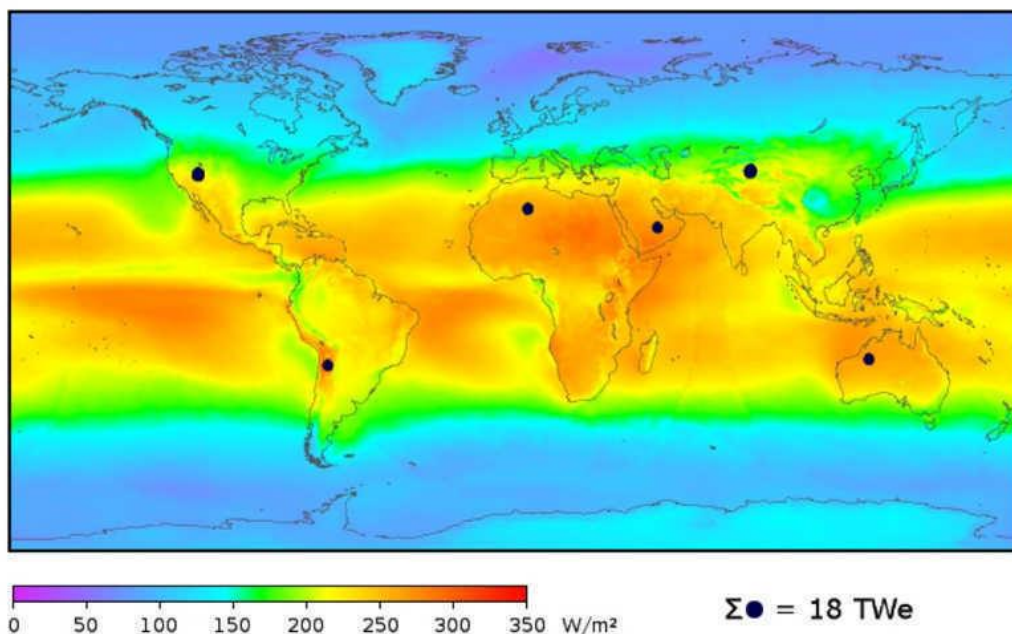


Рисунок 1.1 – Карта інсоляція Землі

1.2 Огляд та аналіз існуючих типів сонячних установок та їх принципів роботи

На сьогоднішній день відомо декілька перспективних способів отримання електричної та теплової енергії з сонячного випромінювання.

Отримання електроенергії за допомогою фотоелементів – даний метод генерації електричної енергії характерний використанням кремнієвих сонячних батарей, з ККД до 20%. Одним з недоліків цього методу є висока вартість кремнію, що використовується при виробництві сонячних панелей. Вартість 10 кг продукту з 1% домішок інших хімічних елементів, що не беруть участі в генерації електричної енергії коштує, так же, як і 10 кг збагаченого урану для АЕС. Проте запаси урану в 100000 разів менші запасів кремнію.

З тони піску, в якому 50% кремнію отримують від 50 до 90 кг сонячного силіціюму, який необхідний для виробництва сонячних модулів.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Фотоелектричні модулі можна встановлювати на супутниках, літаках, автомобілях, будівлях та різній побутовій техніці. Термін служби даних модулів досягає 30 років. Елемент на виготовлення якого витрачено 1 кг сонячного силіцію за період своєї експлуатації генерує стільки ж електричної енергії, скільки ТЕС може згенерувати спаливши 100 т нафти, або 1 кг збагаченого урану на АЕС.

Геліотермальна енергетика – галузь енергетики яка в основі містить нагрівання поверхонь за рахунок поглинання сонячного проміння та подальше використання згенерованої теплової енергії. Характерною рисою енергетичних установок, що використовують даний спосіб перетворення енергії є фокусування сонячного випромінювання на абсорбері (пристрої призначеному для поглинання сонячного випромінювання), за допомогою різноманітних рефлекторів (пристроїв для відбивання та направлення сонячних променів в зазначеному напрямі), призначених для підвищення рівня інсоляції на поверхню абсорбера.

Сонячні вітрила – перетворюють імпульс фотонів світла в кінетичну енергію обертових елементів електрогенератора. Даний спосіб генерації електричної енергії не є поширеним в земних умовах у зв'язку з тим, що більша частка сонячного проміння, яке попадає в атмосферу планети розсіюється та відбивається не доходючи до робочих органів енергетичної установки.

Термоповітряні електростанції – електростанції, які використовують проміжне перетворення енергії сонця в кінетичну (або потенціальну енергію повітря в залежності від типу установки) енергію повітря з подальшим приведенням в рух турбіни, або інших робочих органів, що пов'язані з електричним генератором. Цей тип генераторних установок, відносно новий та ще не набув великого попиту у зв'язку з низьким ККД, обумовленим втратами енергії під-час її проміжного перетворення.

Сонячні аеростатні електростанції – тип СЕС в основі яких лежить накопичення енергії у вигляді попередньо розігрітої сонцем стисненої водяної пари в середині балона. Поверхні аеростата СЕС покриті вибірково-поглинаючим покриттям. Перевагою цієї СЕС є запас пари в балоні який може бути використаний для

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

роботи електростанції в темну пору доби.

1.3 Огляд та аналіз існуючих сонячних електростанцій

Існуючі промислові сонячні електростанції поділяються на декілька основних видів, серед яких сонячні теплові електростанції та електричні електростанції, що використовують фотоелектричні модулі.

Сонячні теплові електростанції – це установки для виробництва електроенергії, які використовують енергію Сонця для нагрівання циркуляційної рідини до високої температури. Сонячні теплоенергетичні системи використовують концентровану сонячну енергію.

Системи сонячної теплової генерації електроенергії збирають і концентрують сонячне світло для виробництва високотемпературного тепла, необхідного для генерування електроенергії. Усі системи сонячної теплової енергії мають колектори сонячної енергії з двома основними компонентами: рефлекторами (дзеркалами), які вловлюють і фокусують сонячне світло на приймач; приймачами. У більшості типів систем теплоносій нагрівається циркулюючи в системі, при цьому накопичуючи тепло в ресивері, та використовується для виробництва водяної пари. Пара перетворюється на механічну енергію в турбіні, яка живить генератор для виробництва електроенергії. Системи сонячної теплової енергії мають системи відстеження положення сонця та регуляції кутів нахилу рефлекторів, що зосереджують сонячне світло на приймачі протягом дня. Промислові сонячні теплові електростанції мають спільну характерну рису, а саме, велику площу розміщення масиву колекторів та рефлекторів, які концентрують тепло та постачають його турбіні та генератору.

Сонячні теплоенергетичні системи також можуть мати компонент системи накопичення теплової енергії, який дозволяє батареї сонячних колекторів нагрівати елемент накопичення енергії протягом дня, а тепло від системи накопичення використовувати для виробництва електроенергії у випадку відсутності сонячного

					MPMA 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

світла, наприклад ввечері або в хмарну погоду. Сонячні теплові електростанції також можуть бути гібридними системами. Ці станції використовують інші види палива (зазвичай природний газ) для компенсації нестачі енергії сонця в періоди низького рівня інсоляції поверхні рефлекторів та абсорбера [13, 14].

Типи концентруючих сонячних теплових електростанцій.

Існує три основних типи концентруючих сонячних теплових систем:

- лінійні концентруючі системи, до складу яких входять параболічні жолоби та лінійні рефлектори Френеля;
- сонячні електростанції баштового типу;
- системи сонячних тарілкоподібних рефлекторів.

Лінійні концентруючі системи.

Лінійні концентруючі системи концентрують сонячне випромінювання за рахунок довгих, прямокутних, U-подібних дзеркал (рефлекторів). Дзеркала фокусують сонячне світло на приймачі (трубки), який проходять вздовж дзеркал та служить теплопроводом. Концентроване сонячне світло передає свою енергію рідині (теплоносію), що протікає в трубах. Теплоносій циркулює крізь теплообмінник для нагрівання води в традиційному паровому турбінному генераторі для генерування електроенергії.

Лінійні концентратори здебільшого представлені в двох основних формах [13]:

- системи з параболічними жолобами в яких приймальні труби по котрих протікає теплоносій розташовані вздовж фокальної лінії кожного параболічного рефлектора;
- лінійні рефлекторні системи Френеля, де одна приймальна труба розташована над декількома дзеркалами, щоб забезпечити більшу мобільність дзеркал у випадку наявності механізму трекінгу сонця.

Характерною рисою електростанцій з лінійним концентруючим колектором є велика кількість, колекторів розміщених рядами паралельно одне одному. Зазвичай ці електростанції орієнтуються так що ряди розміщуються з півночі на південь

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

для максимального збору сонячної енергії впродовж світлового дня. Ця конфігурація дозволяє дзеркалам стежити за сонцем зі сходу на захід протягом дня та постійно концентрувати сонячне світло на приймальних трубках.

Параболічні жолоби.

Параболічний желобковий колектор в своїй конструкції має довгий відбивач параболічної форми, який фокусує сонячні промені на приймальній трубці, розташованій у фокусі параболи. Колектор змінює кут нахилу в залежності від положення сонця, щоб проміння сонця фокусувалося на приймачі, підчас руху сонця протягом дня.

Завдяки своїй параболічній формі жолоб може сфокусувати сонячне світло від 30 до 100 разів більше за звичайну інтенсивність (коефіцієнт концентрації), на приймальну трубу, розташовану вздовж фокальної лінії жолоба, досягаючи робочих температур вище 398.9°C.

Лінійні концентраційні системи з параболічним жолобом використовуються в одній із найдовше діючих сонячних теплових електростанцій у світі – Solar Energy Generating System (SEGS), розташованій у пустелі Мохаве в Каліфорнії. З плином часу, на підприємстві було дев'ять окремих заводів: перший завод у системі SEGS I, працював з 1984 по 2015 рік, а другий - SEGS II, працював з 1985 по 2015 рік. SEGS III–VII (3–7), кожна з чистою літньою генеруючою потужністю 36 мегават (МВт), була введена в дію в 1986, 1987 та 1988 роках. SEGS VIII (8) і IX (9), кожна з чистою літньою електричною потужністю 88 МВт, почали працювати в 1989 та 1990, відповідно. Усі SEGS 3, 4, 5, 6, 7 і 8 припинили роботу в 2021 році, залишивши лише SEGS 9 у роботі станом на 31 грудня 2021 року [13].

На додаток до SEGS 9, станом на грудень 2021 року в Сполучених Штатах працюють інші параболічні електростанції, що працюють на сонячних батареях, і їхня чиста літня генеруюча потужність, місцезнаходження та рік початкової експлуатації [13]:

- Генеруюча станція Solana: електростанція потужністю 296 МВт з компонентом накопичення енергії в Гіла-Бенд, штат Арізона, яка почала працювати в

					MPMA 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2013 році.

- Мохаве Solar Project: електростанція потужністю 275 МВт у Барстоу, штат Каліфорнія, яка почала працювати в 2014 році.

- Genesis Solar Energy Project: електростанція потужністю 250 МВт у Блайті, Каліфорнія, яка почала працювати в 2013 і 2014 роках.

- Nevada Solar One: електростанція потужністю 69 МВт поблизу Боулдер-Сіті, штат Невада, яка почала працювати в 2007 році.

Параболічний жолобовий колектор показано на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Параболічний жолобовий колектор

Лінійні рефлектори Френеля.

Системи лінійних рефлекторів Френеля (LFR) за принципом роботи подібні до системи параболічних жолобів тим, що дзеркала (рефлектори) концентрують сонячне світло на приймач, розташований над дзеркалами. LFR рефлектори використовують ефект лінзи Френеля, що дозволяє отримати концентруюче дзеркало

					MPMA 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

з великою апертурою та короткою фокусною відстанню. Ці системи здатні концентрувати сонячну енергію приблизно в 30 разів більшу за звичайну інтенсивність сонячного випромінювання. Компактні лінійні рефлектори Френеля (CLFR) - також називаються концентруючими лінійними рефлекторами Френеля - це тип технології LFR, яка має кілька поглиначів поблизу дзеркал. Кілька приймачів дозволяють дзеркалам змінювати свій нахил, щоб мінімізувати те, наскільки вони блокують доступ сусідніх відбивачів до сонячного світла. Таке розміщення покращує ефективність системи та зменшує потреби в матеріалах і витрати при побудові сонячної установки. Демонстраційна сонячна електростанція CLFR була побудована поблизу Бейкерсфілда, штат Каліфорнія, у 2008 році, але наразі вона не працює.

Лінійний рефлектор Френеля показано на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Лінійний рефлектор Френеля

Сонячні електростанції баштового типу.

Система електростанції баштового типу (сонячної вежі) використовує велике поле плоских дзеркал, що відстежують сонце, які називаються геліостатами,

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ

Арк.
18

щоб відбивати та концентрувати сонячне світло в центрі фокальної плями на приймачі, який розміщено на вершині вежі. Ступінь концентрації сонячного світла може досягати 1500 разів. Частина існуючих веж даного типу електростанцій використовують воду в якості теплоносія, проте паралельно розвивається технологія використання розплавленої нітратної солі для передачі тепла. Нітратна сіль володіє високим показником теплопередачі та має чудову властивість накопичувати тепло. Здатність накопичувати теплову енергію надає можливість системі виробляти електроенергію в хмарну погоду та в темний період доби.

Сонячну електростанцію баштового типу показано на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Сонячна електростанція баштового типу

У 1980-1990-х роках Міністерство енергетики США разом із кількома електричними компаніями побудувало та експлуатувало першу демонстраційну сонячну вежу поблизу Барстоу, Каліфорнія. У 2021 році в Сполучених Штатах працювали дві сонячні електростанції [13]:

- об'єкт сонячної електростанції Ivanpah Solar Power Facility - об'єкт із трьома окремими колекторними полями та вежами із сумарною чистою літньою

					MPMA 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

електричною потужністю 393 МВт у Ivanpah Dry Lake, Каліфорнія, який почав працювати в 2013 році.

- проект сонячної енергії Crescent Dunes - однобаштовий об'єкт потужністю 110 МВт з компонентом накопичення енергії в Тонапі, штат Невада, який почав працювати в 2015 році.

Системи сонячного тарілкоподібного рефлектора.

У системах сонячних тарілкоподібних рефлекторів використовується дзеркальний тарілкоподібний концентратор. Для зменшення капітальних витрат на побудову концентратора дзеркальна тарілка зазвичай складається з багатьох менших плоских дзеркал, сформованих у форму тарілки. Поверхня у формі тарілки спрямовує та концентрує сонячне світло на теплоприймач, який поглинає та збирає тепло та передає його генератору двигуна. Найпоширенішим типом перетворюючого теплового двигуна, який використовується в системах сонячних тарілкоподібних рефлекторів, є двигун Стірлінга. Ця система використовує рідину, нагріту в приймачі який розташований в центрі фокальної плями концентратора, для переміщення поршнів і створення механічної енергії. Далі вироблена механічна енергія приводить в рух електричний генератор, який перетворює отриману механічну енергію в електричну. Системи сонячних тарілкоподібних рефлекторів повинні бути орієнтовані на сонце для точної концентрації сонячного випромінювання в точці фокусу антени. Коефіцієнт концентрації сонячної тарілки набагато вищий, ніж у систем лінійного концентрування, а температура робочої рідини зазвичай вища за 749°C. Перетворююче устаткування, що генерує електроенергію, можна встановити в центрі приймача, або енергію можна збирати з кількох установок та транспортувати до генератора (перетворюючого механізму). В цьому випадку можливе підключення декількох сонячних концентраторів до одного генератора, що в свою чергу дозволяє зменшити капітальні затрати при побудові об'єкта альтернативної генерації теплової та електричної енергії.

Зовнішній вигляд системи сонячного тарілкоподібного рефлектора показано на рисунку 1.5.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 - Зовнішній вигляд системи сонячних тарілкоподібних рефлекторів

Сонячні електростанції на основі фотоелектричного ефекту.

Сонячні електростанції що використовують фотоелектричний ефект є одними із найпоширеніших енергетичних установок які працюють від енергії сонця.

Даний тип електростанції не потребує використання сонячних концентраторів та проміжних перетворюючих машин. Перевагою таких СЕС є простота в експлуатації та надійність.

Функціонують СЕС на основі фотоелектричних перетворювачів наступним чином: сонячна панель на яку потрапляє сонячне проміння перетворює енергію світла в постійний струм та передає його до інверторної установки, яка перетворює постійний струм в змінний. Електричний струм далі надходить до підвищувачого трансформатора та передається в енергетичну мережу.

Зовнішній вигляд сонячної електростанції на основі фотоелектричного ефекту показано на рисунку 1.6.

Перспективним способом побудови електростанцій є розміщення їх на водоймах. Даний спосіб дозволяє заощадити корисну площу землі, яка може бути використана для ведення іншої форми господарської діяльності.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6 - Сонячні електростанції на основі фотоелектричного ефекту

Також, розміщення СЕС на водоймах дозволяє підвищити рівень їх ефективності за рахунок того, що відбите сонячне проміння від поверхні води частково поглинається фотоелектричними модулями, тобто рівень інсоляції на поверхню панелей вищий ніж при побудові класичних СЕС. Зовнішній вигляд СЕС, яка побудована на водоймі показано на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Плавуча сонячна електростанція

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ

Арк.
22

Всі вище перераховані типи сонячних електростанцій мають одну спільну рису, яка є суттєвим фактором при прийнятті рішення про побудову електростанції, а саме – площа забудови. Для промислової реалізації генерації електричної енергії та забезпечення живлення підприємств, міст та елементів інфраструктури, необхідно виділяти значну територію, місце розташування якої, залежить від кутів падіння сонячного проміння та географічного розташування міст, при цьому, вилучаючи з сільськогосподарських земельних фондів родючі території.

Висновки до першого розділу

В першому розділі було зроблено огляд та аналіз основних теоретичних понять фізичних явищ сонячної енергетики, принципів функціонування СЕС, розглянуто фізико-хімічні основи використання сонячної енергії та її розподіл на планеті.

В ході аналізу теоретичного матеріалу ми дійшли висновку, що наявні СЕС мають ряд суттєвих недоліків, таких як велика площа забудови СЕС, що може бути використана для ведення господарської діяльності та житлової забудови. Також варто відмітити величезний вплив на природні екосистеми, адже для побудови електростанцій часто потрібно вирубувати великі ділянки лісових господарств, та зменшувати заповідні зони в яких проживають рідкісні види тварин.

Транспортування енергії з віддалених пустельних регіонів планети не є економічно доцільним та технологічно складним.

Тому, нами запропоновано використовувати площі землі які не потребують додаткової урбанізації та вже широко використовуються в господарській діяльності людини. Серед запропонованих нами варіантів є такі як використання площ поверхонь водойм (водосховища, ставки, не судноплавні річки), використання залізничних шляхів для прокладання СЕС за для забезпечення власного живлення залізниці, що в свою чергу допоможе знизити витрати на транспортування енергії до джерела її споживання та зменшити витрати спалюваного палива на ТЕЦ, АЕС.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З РОЗМІЩЕННЯМ НА ЗАЛІЗНИЧНІЙ КОЛІЇ

Для розробки СЕС нами обрано відрізок залізничної дороги Гречани – Тернопіль. Дана ділянка траси обрана у зв'язку з сприятливим географічним положенням, відсутністю крутих поворотів та надмірно вузької зони загороджувальної рослинності (дерев, кущів), яка може спричиняти затінення сонячних панелей.

Відрізок ділянки залізничної дороги Гречани - Тернопіль показано на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 - Відрізок ділянки залізничної дороги Гречани - Тернопіль

2.1 Аналіз технічних умов необхідних для проектування сонячної електростанції

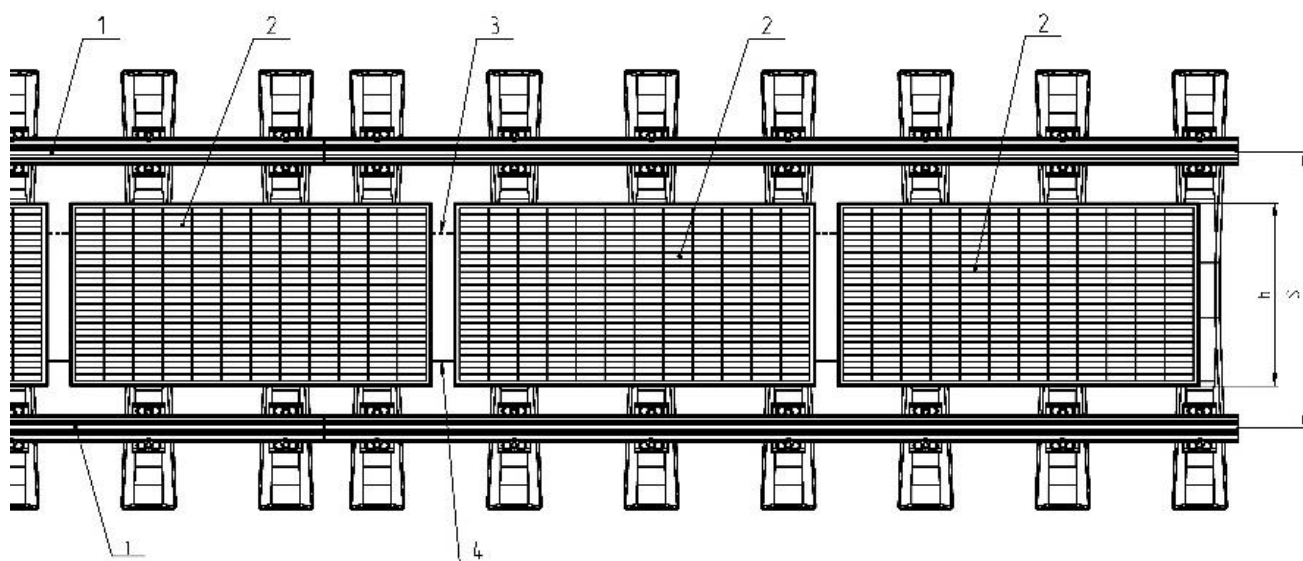
Даний розділ магістерської роботи передбачає аналіз технічних вимог необхідних для проектування надійної та продуктивної енергетичної установки типу

СЕС. Вхідні данні та вимоги відповідають дійсним стандартам України на період виконання дипломної роботи.

Основними вимогами, що можуть бути поставлені до проекту під-час здачі в експлуатацію є:

- надійність;
- простота в експлуатації та технічному огляді (в тому числі і очистка фотоелектричних модулів від бруду та пилу, які присутні на залізничних коліях);
- довговічність;
- легкість проведення ремонтних робіт (поточний, капітальний та реконструкція).

Нами запропоновано концепцію СЕС, яка передбачає прокладання електричних модулів поміж залізничних рейс та встановлення перетворювальних блоків (опорних пунктів) на ділянках залізничних шляхів з певним заданим кроком їх встановлення. На рисунку 2.2 показано запропоновану схему розміщення сонячних панелей на коліях залізничних шляхів.



1 – рельс; 2 – сонячна панель; 3, 4 – кабельні з'єднання; b - ширина сонячної панелі; S - відстань між рельсами.

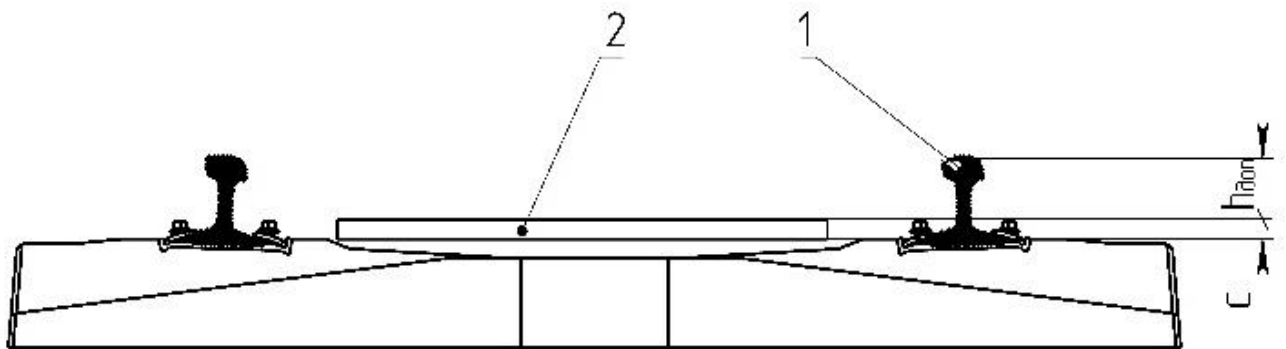
Рисунок 2.2 - Схема розміщення сонячних елементів на коліях залізничних шляхів

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Також, нами передбачено прокладання сонячних панелей СЕС з врахуванням руху конструктивних елементів потяга, який буде рухатись, відповідною, залізничною колією.

Відстань від верхньої точки рельси $h_{дон}$, передбачає гарантований зазор між конструктивними елементами потяга та поверхнею панелей і має бути визначена при фактичному аналізі локомотивів, які регулярно курсують по трасі Гречани-Тернопіль. $h_{дон}$ обирається перед початком прокладання СЕС та погоджується з АТ «Укрзалізниця». Попердньо проведений нами аналіз, вказує на те, що мінімально допустима глибин прокладання панелей рівна 100 мм.

На рисунку 2.3 показано розміщення сонячних панелей в жолубі залізничного полотна.



1 – залізнична колія; 2 – сонячна панель; $h_{дон}$ - відстань від верхньої точки рельси до поверхні сонячної панелі СЕС; c - висота сонячної панелі.

Рисунок 2.3 – Розміщення сонячних панелей СЕС в жолубі залізничного полотна

Проаналізувавши нормативні документи України, що стосуються залізниці, отримуємо наступні вхідні дані для розробки СЕС:

- ширина залізничних колій;
- висота від внутрішньої частини жолуба залізничної колії;
- допустима висота розміщення конструктивних елементів на залізничних шляхах.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.2 Побудова електричної принципової схеми

Виконуємо побудову електричної принципової схеми за принципом використання незалежних секцій з метою розподілу навантаження вздовж колії та зменшення втрат при передаванні постійного струму та змінного низької напруги.

Розраховуємо оптимальну кількість батарей сонячних панелей керуючись рекомендованими параметрами передачі постійного струму провідниками та технічними характеристиками інверторів які доступні на сучасному світовому ринку.

Схему з'єднання батареї сонячних панелей, обираємо за умови симетричного розміщення панелей відносно інвертора (див. план мереж постійного та змінного струму на аркуші [МРМА 23.00.00.000 Е7]), тобто паралельного підключення двох рядів послідовно з'єднаних панелей. З метою зменшення втрат на передачу постійного струму в одному ряді розміщуємо лише 20 сонячних панелей J , тобто, до одного інвертора під'єднуємо 2 послідовних з'єднання панелей по 20 шт, які формують паралельне підключення загальною кількістю панелей 40 шт.

Для подальшого підбору системи з'єднання інверторів та передачу ними постійного струму враховуємо втрати електричної енергії змінного струму в залежності від довжини провідника. Для ліній передач напругою до 1000 В (низька напруга) рекомендується використовувати кабельні лінії довжиною не більше 2 км, що обумовлюється втратами струму [24]. Тому розраховуємо кількість батареї, що можуть під'єднуватись до одного трансформатора за формулою 2.1.

$$K_{\text{бат}} = \frac{2000 \cdot 2}{L_{\text{бат}}}, \quad (2.1)$$

де 2000 - рекомендована довжина лінії ЕП, м;

2 - кількість паралельно підключених до трансформатора віток, шт;

$L_{\text{бат}}$ - довжина однієї батареї сонячних панелей, відповідно, розраховується за формулою (2.2):

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$L_{\text{бат}} = 40 \cdot (a + d), \quad (2.2)$$

де 40 - кількість сонячних панелей в батареї;

a - довжина сонячної панелі отримана з її технічних характеристик, м. Для обраної сонячної панелі в пункті 2.3, $a = 1,950$ м;

d - технічний зазор який обумовлений запасом на кріплення, габаритний розмір якого обумовлює виникнення зазору між сонячними панелями. Для запропонованого нами варіанту кріплення в пункті 3.4, d становить 0,014 м.

Підставивши значення у формули (2.2) та (2.1), отримуємо:

$$L_{\text{бат}} = 40 \cdot (1,950 + 0,014) = 78,56 \text{ м},$$

$$K_{\text{бат}} = \frac{2000 \cdot 2}{48,56} = 50,9 \text{ шт.}$$

Враховуючи те, що $K_{\text{бат}}$ рівне 50,9, обираємо найближче ціле число яке менше за розрахункове. Тобто кількість інверторів $U_i = 50$ шт.

Визначаємо необхідну кількість трансформаторів для забезпечення підвищення рівня ЕЛ енергії по всій проектній довжині СЕС. Для цього виконуємо розрахунок за формулою (2.3):

$$K_T = \frac{L_{\text{дiл}}}{L_{\text{д.з.в.Т}}}, \quad (2.3)$$

де $L_{\text{дiл}}$ - довжина ділянки залізничної дороги м. Для траси Гречани – Тернопіль

$$L_{\text{дiл}} = 112000 \text{ м};$$

$L_{\text{д.з.в.Т}}$ - довжина зони пливу одного трансформатора, рівна 4000 м.

Підставивши значення у формулу (2.3) отримуємо:

$$K_T = \frac{112000}{4000} = 28 \text{ шт.}$$

Отже, необхідна кількість трансформаторів для електрогенеруючої установки становить 28 шт.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.3 Підбір елементів сонячної електростанції

2.3.1 Підбір сонячних панелей

Основною вимогою для підбору сонячних панелей СЕС, що розробляється є габаритні розміри, які мають відповідати параметрам залізничних колій.

Ширина залізничної колії на проектній ділянці залізниці у відповідності до державних будівельних норм [7] складає 1520 мм (рисунок 2.4). Враховуючи конструктивні елементи залізничного транспорту та необхідний коефіцієнт запасу, що регламентується ДБН [7], придатний для встановлення панелей міжрельсовий простір складає 1,3 м.

Колеса залізничних екіпажів нерухомо з'єднані з їхніми осями та мають гребні які знаходяться з внутрішнього боку колії. Вони слугують для утримання колісної пари на рейках та направлення екіпажу по колії [8].

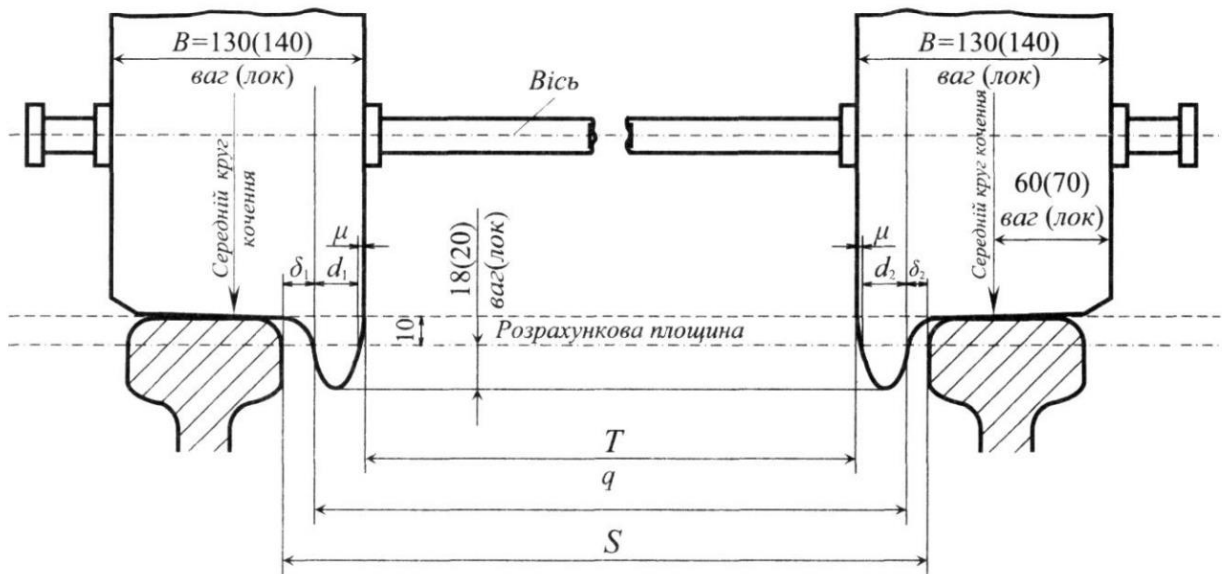


Рисунок 2.4 – Колісна пара та її основні параметри

Спосіб глухого насадження коліс на осі призводить до забезпечення незмінності відстані між колесами. Ця відстань має назву – ширина насадження, та позначається латинською літерою T . У випадку коли колеса вагона не навантажені

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

ширина насадження повина складати 1440 мм. Величина допуску на ширину насадження приймається у відповідності до рухомого складу та швидкості його руху. Величина допусків коліс показана в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Величина допусків для коліс

Швидкість поїзда, км/год	Назва коліс	Ширина наса- дження колісної папи T , мм	Ширина гребенів коліс d , мм
До 120	Локомотивні	1440 ± 3	25-33
	Вагонні	1440 ± 3	25-33
121-140	Локомотивні	$1440 +3; -1$	28-33
	Вагонні	$1440 +3; -1$	28-33
141-160*	Локомотивні	$1440 +3; -1$	28-33
	Вагонні	$1440 +3; -1$	30-33
161-200	Локомотивні	$1440 +3; -1$	28**-33
	Вагонні	$1440 +3; -1$	28**-33

Примітки:

* – для обслуговування швидкісних пасажирських поїздівзначаються спеціально надані і підготовлені локомотиви: для швидкостей руху до 160 км/год – електровози ЧС2, ЧС2 Т , ЧС4, ЧС4Т , ЧС6, ЧС7, ЧС8, тепловози ТЕП60, 2ТЕП60, ТЕП70; для швидкостей руху до 200 км/год – ЧС200;

** – для електровоза ЧС200 товщина гребеня при швидкості руху 161-200 км/год повинна бути не менше 30 мм;

*** – для вагонів електровоза ЕР200 товщина гребеня повинна бути не менше 28 мм

Проаналізувавши рисунок 2.3 та таблицю 2.1 підбираємо параметри для вище розглянутої ділянки залізниці. Зважаючи на швидкісні діапазони руху локомотивів на залізничному з'єднанні приймаємо найвужчу ширину насадження коліс, тобто – 1439 мм.

Враховуючи відомий коефіцієнт запасу та ширину насадження коліс розраховуємо максимально допустиму ширину сонячних панелей, за формулою:

						МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

$$W_n = \frac{T}{k_s} \quad (2.4)$$

де k_s - коефіцієнт запасу.

Підставивши значення у формулу (2.4) отримуємо:

$$W_n = \frac{1439}{1,3} = 1106,923 \text{ мм.}$$

Отже, максимально допустима ширина сонячних панелей рівна 1107 мм.

Враховуючи отримане значення максимальної ширини сонячної панелі було проведено аналіз світового ринку сонячних модулів та підібрано панель Sharp NUSC360 [9]. Зовнішній вигляд та габаритні розміри фотоелектричного модуля показано на рисунку 2.5.

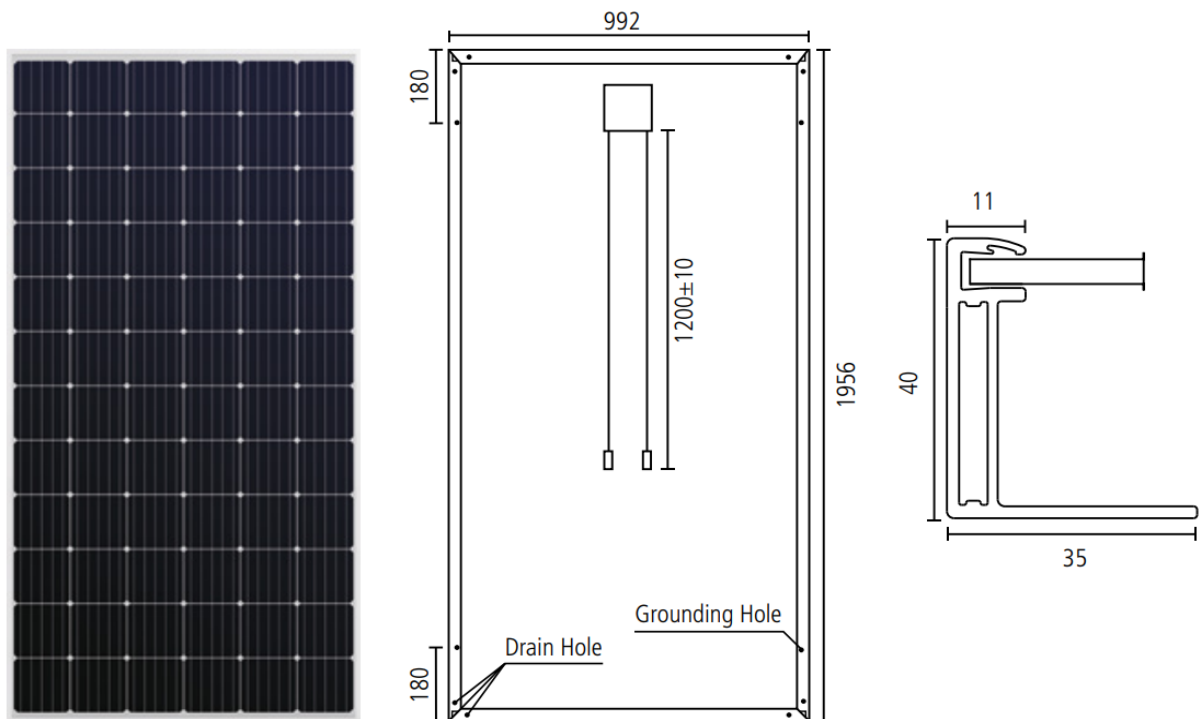


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри фотоелектричного модуля Sharp NUC360

Габаритні розміри, які показано на рисунку 2.4 повністю задовольняють умову $b \leq W_n$, де b - ширина обраної сонячної панелі рівна 992 мм. Технічні характеристики фотоелектричного модуля Sharp NUC360 показано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики фотоелектричного модуля Sharp NUC360

Характеристики	Значення
Виробник:	Sharp
Країна-виробник:	Тайвань
Модель:	NUSC360
Тип фотомодуля:	монокристал
Кількість струмознімних доріжок (bb), шт:	5
Потужність, Вт:	360
Напруга при макс. потужності, В:	38.9
Струм при макс. потужності, А:	9.26
Струм короткого замикання, А:	9.79
Напруга холостого ходу, В:	47.2
Запас потужності, Вт:	0...+5
Максимальна напруга у системі, В:	1000
ККД фотомодуля, %:	18.5
Температурний коефіцієнт потужності, %/°C:	-0.39
Температурний коефіцієнт напруги, %/°C:	-0.29
Температурний коефіцієнт струму, %/°C:	0.05
Робоча температура, °C:	-40...+85
Кількість фотоелементів, шт:	72 (6x12)
Габарити, Д*Ш*Т, мм:	1950×992×40
Вага, кг:	26
Ступінь захисту фотомодуля:	IP67
Гарантійний термін, років:	25
Гарантія на 90% вихідної потужності, років:	10
Гарантія на 80% вихідної потужності, років:	25

2.3.2 Підбір інвертора

Враховуючи особливості побудови СЕС, а саме обмеження обумовлене концепцією прокладання панелей в площині залізничної колії підбираємо мережевий інвертор на параметри струму та напруги розраховані для відгалуження інвертора U1 за електричною принциповою схемою МРМА 23.00.00.000 ЕЗ (рисунок 2.6).

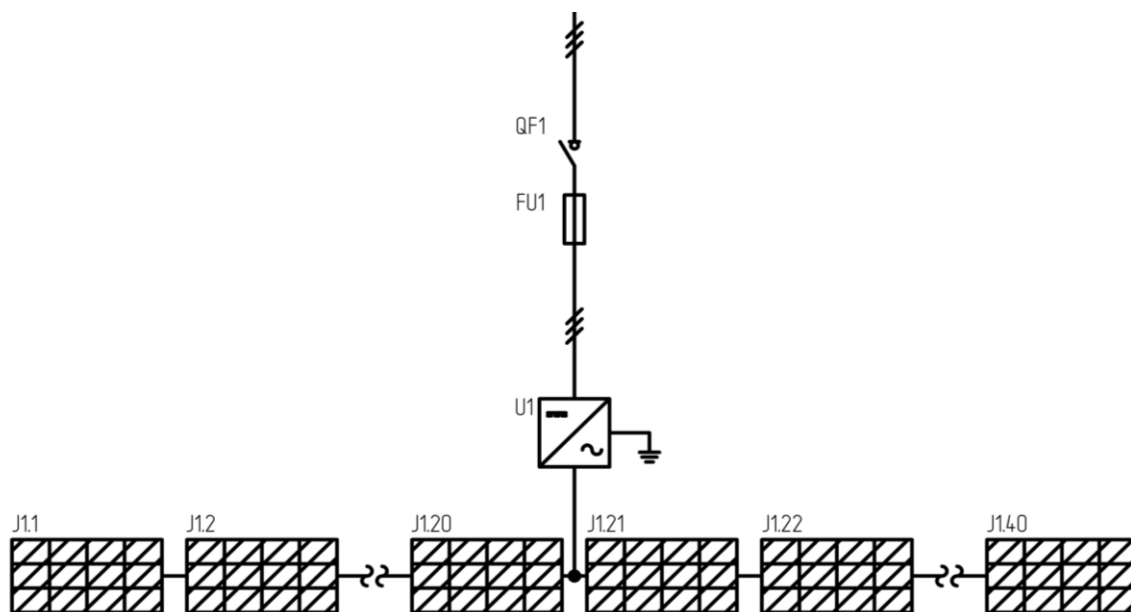


Рисунок 2.6 – Відгалуження інвертора U1 за електричною принциповою схемою МРМА 23.00.00.000 ЕЗ

Для підбору інвертора розраховуємо основні вхідні величини. Вхідний струм розраховуємо для умов роботи панелей при короткому замиканні (КЗ) за формулою (2.5).

$$I_{\text{сум}U1} = I_{J1.1-J1.20} + I_{J1.21-J1.40} \quad (2.5)$$

де $I_{\text{сум}U1}$ - сумарний струм на ділянці інвертора U1, А;

$I_{J1.1-J1.20}$ - струм який генерується сонячними панелями J1.1, J1.2 ... J1.20 та визначається за формулою $I_{J1.1-J1.20} = I_{J1.1} = I_{J1.2} \dots I_{J1.20}$, А;

$I_{J1.21-J1.40}$ - струм який генерується сонячними панелями J1.21, J1.22 ... J1.40 та визначається за формулою $I_{J1.21-J1.40} = I_{J1.21} = I_{J1.22} \dots I_{J1.40}$, А.

Підставивши значення в формулу (2.5) отримуємо:

$$I_{\text{сум}U1} = 9,79 + 9,79 = 19,58 \text{ А.}$$

Для визначення значення вхідної напруги для інвертора на ділянці U1 використовуємо формулу (2.6).

$$U_{\text{сум}U1} = U_{J1.1} + U_{J1.2} + \dots + U_{J1.20} = U_{J1.21} + U_{J1.22} + \dots + U_{J1.40} \quad (2.6)$$

за умови, що всі сонячні панелі мають однакову напругу холостого ходу (2.6), маємо:

$$U_{\text{сум}U1} = U_{J1.1} \cdot 20 = U_{J1.21} \cdot 20 \quad (2.7)$$

де $U_{\text{сум}U1}$ - сумарний струм на ділянці інвертора U1, В;

$U_{J1.1}, U_{J1.2} \dots U_{J1.40}$ - напруги хх. відповідних сонячних панелей J1.1, J1.2 ... J1.40, В.

Підставивши значення в формулу (2.7) отримуємо параметри вхідної напруги для мережевого інвертора на ділянці U1:

$$U_{\text{сум}U1} = 47,2 \cdot 20 = 944 \text{ В.}$$

Потужність для мережевого інвертора U1 розраховуємо за формулою (2.8).

$$P_{U1} = U_{\text{сум}U1} \cdot I_{\text{сум}U1} \quad (2.8)$$

Підставивши значення в формулу (2.8) отримуємо:

$$P_{U1} = 944 \cdot 19,58 = 18483 \text{ Вт.}$$

Отже необхідний, мережевий інвертор повинен мати вхідні характеристики:

- вхідний максимальний струм – 19,58 А;
- вхідна максимальна напруга – 944 В;

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- вхідна максимальна потужність - 18483 Вт.

Провівши аналіз ринку нами було прийнято рішення про використання мережевого інвертора Solis S5-GR3P13K. Даний інвертор відповідає вище перерахованим вимогам та має запас по вхідній максимальній потужності, струму та напрузі та задовольняє умови використання коефіцієнта запасу - 1,1. Використання даного інвертора також дозволяє зменшити капітальні затрати на систему захисту інших елементів мережі та самих сонячних панелей від виникнення перенапруг спричинених коротким замиканням зі сторони сонячних панелей, зворотньої полярності постійного струму та від впливу підвищеного струму. Високий рівень захисту від вологи та пилу дозволяє встановлювати інвертор без захисних приміщень, що в свою чергу значно зменшує капітальні витрати на допоміжне обладнання та захисні споруди при побудові СЕС. Зовнішній вигляд обраного нами інвертора показано на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Мережевий інвертор Solis S5-GR3P13K

Опис технічних параметрів інвертора наведено в таблиці 2.3.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики інвертора Solis S5-GR3P13K

Характеристика	Значення
Вхід постійного струму	
Рекомендована максимальна вхідна потужність	19,5 кВт
Максимальна вхідна напруга	1100 В
Номінальна напруга	600 В
Пускова напруга	180 В
Діапазон напруги МРРТ	160 – 1000 В
Макс. вхідний струм	32 А/32 А
Макс. струм короткого замикання	50 А/50 А
Кількість МРРТ / Макс. число входів на МРРТ	2/4
Вихідний змінний струм	
Номінальна вихідна потужність	13 кВт
Макс. повна вихідна потужність	14,3 кВА
Макс. Вихідна потужність	14,3 кВт
Номінальна напруга мережі	3/N/PE, 220 В / 380 В, 230 В / 400 В
Номінальна частота мережі	50 Гц/60 Гц
Номінальний вихідний струм мережі	19,8 А/18,8 А
Макс. вихідний струм	20,8 А
Коефіцієнт потужності	>0,99 (від -0,8 до +0,8)
THDi	<2%
ККД	
Максимальний ККД	98,6%
Європейський ККД	98,0%
Захист	

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ

Арк.

36

Продовження таблиці 2.3

Характеристика	Значення
Захист IP	IP66
Тип охолодження	Вентилятор
Максимальна висота встановлення	4000 м
Стандарт безпеки / EMC	IEC/EN 62109-1/-2, IEC/EN 61000-6-1/-2/-3/-4
Функції	
Підключення постійного струму	Роз'єм MC4
Підключення змінного струму	Конектор швидкого підключення
Екран	LCD
Зв'язок	RS485, Опціонально: Wi-Fi, GPRS
(1) Потрібна активація.	

2.3.3 Підбір силового трансформатора

Проводимо підбір силового трансформатора. Для цього розраховуємо вихідну потужність на ділянці електричної принципової схеми U1-U50 при умові роботи інверторів U1-U50 при номінальних режимах роботи (див. МРМА 23.00.00.000 Е3) за формулою (2.9).

$$S_{номU1-U127} = S_{max.пто} \cdot n_{инв} \quad (2.9)$$

де $S_{max.пто}$ - повна потужність одного інвертора, кВА;

$n_{инв}$ - кількість інверторів, які знаходяться на вітті підключення трансформатора, шт. Для трансформатора Т1 за схемою на аркуші МРМА 23.00.00.000 Е7 $n_{инв} = 50$ шт.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Підставивши значення в формулу (2.9) отримуємо:

$$S_{номU1-U127} = 14,3 \cdot 50 = 715 \text{ кВА.}$$

Провівши аналіз ринку силових трансформаторів нами було обрано трансформатор силовий масляний з номінальною потужністю $S_n=1000$ кВА ТМ 400/10 1000/2 У Δ/Y ЕСО1 [20]. Дані обраного трансформатора наведено в таблиці 2.4.

На рисунку 2.8 показано загальний вигляд трансформатора силового масляного ТМ 400/10 1000/2 У Δ/Y ЕСО1.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд обраного трансформатора

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики трансформатора

Тип трансформатора	Номінальна потужність S_n , кВА	Номінальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ, %	Струм ХХ, %
		ВН	НН	ХХ P_{xx}	КЗ $P_{кз}$		
ТМ – 400/10	1000	10	0,4	0,77	10,5	6	2,2

2.3.4 Вибір перерізу жил проводів і кабелів до 1 кВ

Обираємо кабелі (проводи) розподільчої мережі в наступному порядку.

Враховуючи те, що лінії генерації віток трансформаторів Т1, Т2...Т28 однакові, то для підбору кабельної продукції для всієї енергетичної мережі достатньо провести розрахунок значень лише для однієї вітки Т1 [МРМА 23.00.00.000 Е3].

Відповідно до наведеної в МРМА 23.00.00.000 Е3 схеми СЕС інвертори U1 та U50 мають однакову схему підключення сонячних панелей, тож доцільно провести підбір перерізу провідника, відповідно, лише для одного типового відгалуження. Для розрахунків нами було обрано відгалуження інвертора U1.

Визначаємо струми які протікають в провідниках під'єднання сонячних панелей з J1.1 по J1.20 та з J1.21 по J1.40 до інвертора U1:

$$I_{н.сум} = I_{J1.1} = I_{J1.2} + \dots = I_{J1.20} = I_{J1.21} = I_{J1.22} = \dots = I_{J1.40}, \quad (2.10)$$

де I_{Ji} - номінальний струм i -тої сонячної панелі.

Площу перерізу жили провідникової продукції перелічуємо в таблиці 2.5 (стовпчик 1), вказуємо номінальну потужність вітки (стовпчик 2). Номінальний струм (стовпчик 3) обраховуємо наступним чином:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi}, \quad (2.11)$$

або, за умови сумування номінальних показників генеруючих панелей та інверторів.

Для кожної лінії обирається кабель (провід) зі стандартним допустимим струмом $I_{дон}$ найближчим більшим до I_n . Вибір проводимо згідні таблиці [22, с.247, табл. М.10].

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Розраховується допустимий тривалий струм $I'_{дон}$ з врахуванням умов прокладання:

$$I'_{дон} = K_{сер} \cdot K_{пр} \cdot I_n, \quad (2.12)$$

де $K_{пр}$ - поправковий коефіцієнт на кількість працюючих кабелів, що лежать поруч [22, с.243, табл. М5];

$K_{сер}$ - поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища, обчислюється за формулою:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{T_{ж.н} - T_{сер}}{T_{ж.н} - T_{сер.н}}}, \quad (2.13)$$

причому $T_{ж.н}$ - нормована тривалодопустима температура жил, обирається згідно [22, с.90 табл. 4,1];

$T_{сер}$ - фактична температура навколишнього середовища. Приймаємо рівну середній температурі найтеплішого місяця року. Найтепліший місяць року в Хмельницькій та Тернопільській областях - Липень, з середньою температурою в Хмельницькому - 24,0°C та в Тернополі - 24,0°C;

$T_{сер.н} = 25$ °C – нормована температура середовища.

При виконанні умови:

$$I'_{дон} \geq I_n, \quad (2.14)$$

обраний попередньо кабель (провід) приймається за умовою нагрівання.

Після вибору кабелю (проводу) його параметри заносено до таблиці 2.5 значення $I_{дон}$ (стовпчик 4), $I'_{дон}$, (стовпчик 5), переріз жили S (стовпчик 6), тип кабелю (стовпчик 7), довжину кабелю $l_{кб}$, (стовпчик 8), питомі активний r_n (стовпчик 9)

										Арк.
										41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ					

Опір джерела живлення визначається за формулою:

$$Z_c = X_c = \frac{U_{c.n}}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}}, \quad (2.16)$$

де $U_{c.n}$ - середня напруга ступеня мережі, де відбулося КЗ; $I_{кз}$ - струм трифазного КЗ з боку ВН ЦТН, для розрахунку нами було прийнято характерний для даного рівня напруг обраного нами трансформатора струм КЗ в 10 кА, що виникає в якості комутаційних перенапруг при КЗ ліній ЛЕП на стороні ВН.

Початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ, визначається наступним чином:

$$I_{n(0)} = \frac{U_{c.n}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}}, \quad (2.17)$$

де $U_{c.n} = 400$ В; R_Σ , X_Σ - сумарні активні та індуктивні опори прямої послідовності усіх елементів мережі, через які проходить струм КЗ.

Для визначення R_Σ і X_Σ складаємо однолінійну схему СЕС. При складанні схеми враховуємо подібність усіх віток розподілу електричної енергії в системі, що дозволяє спростити її побудову. Спрощена однолінійна схема для визначення сумарних опорів і-тої ділянки мережі показана на рисунку 2.9.

Ударний струм КЗ дорівнює:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{n(0)}, \quad (2.18)$$

де k_y - ударний коефіцієнт, який залежить від R_Σ / X_Σ та визначається за кривими [28, п. 5.1, рис. 1].

При виконанні розрахунків нехтуємо опорами УВН, РУНН, РШ і ЕП – це пояснюється малими опорами елементів і очікуваними зонами КЗ.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

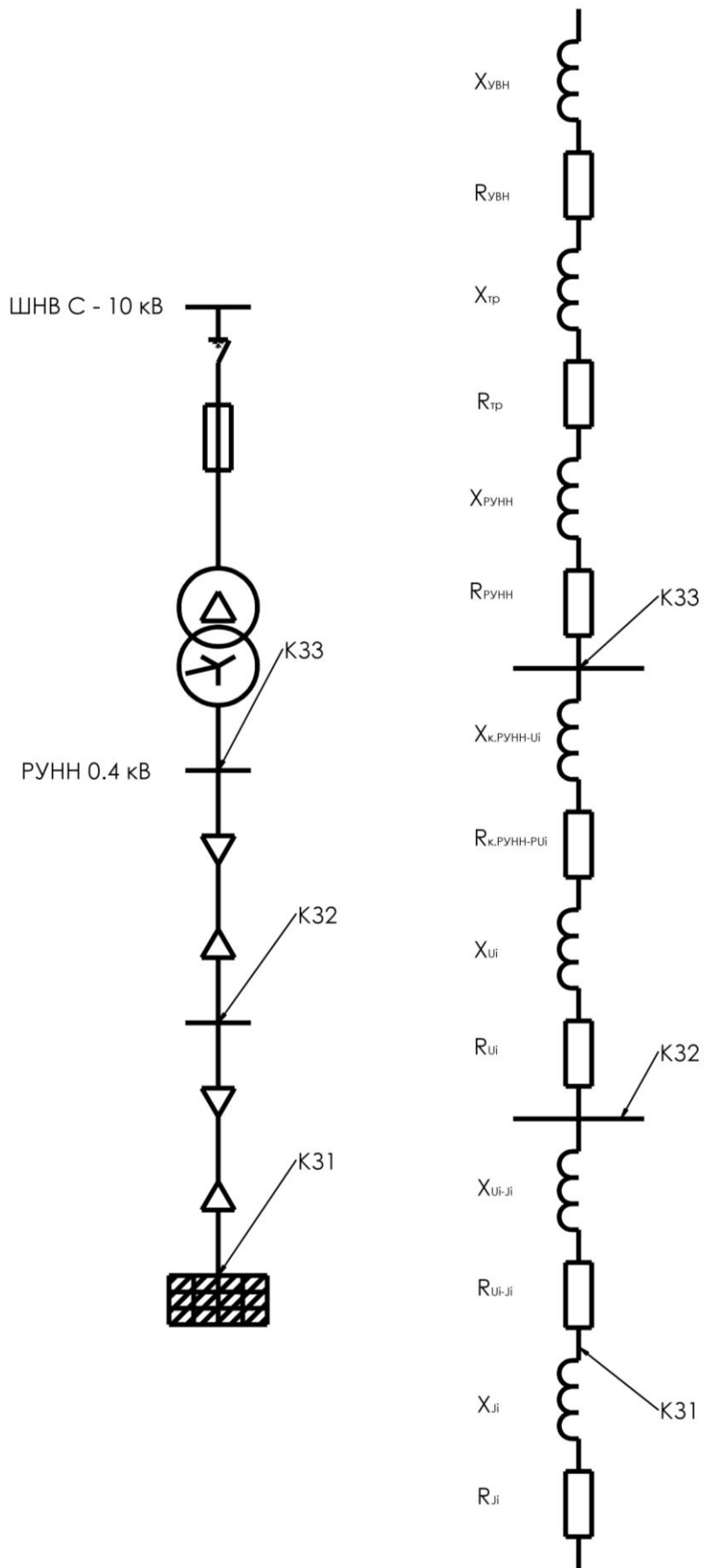


Рисунок 2.9 – Розрахункова однолінійна схема

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ

Арк.
44

На рисунку 2.9: X_{yBH} , R_{yBH} - реактивний і активний опори пристрою вводу з боку ВН; X_{TP} , R_{TP} - реактивний і активний опори трансформатора; X_{pYHH} , R_{pYHH} - реактивний і активний опори пристрою вводу з боку НН; $X_{к.РУНН-U_i}$, $R_{к.РУНН-U_i}$ - реактивний і активний опори і-того кабелю розподільчої мережі від РУНН до і-того інвертора U_i ; X_{U_i} , R_{U_i} - реактивний і активний опори і-тої розподільчої шафи; $X_{U_i-J_i}$, $R_{U_i-J_i}$ - реактивний і активний опори і-того кабелю розподільчої мережі від і-того інвертора U_i до і-тої сонячної панелі J_i ; X_{J_i} , R_{J_i} - реактивний і активний опори і-тої J_i .

Розрахунки:

$$Z_c = X_c = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,577, \text{ Ом.}$$

Розраховані значення початкових і ударних струмів к. з. занесено до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахункові значення струмів к. з.

Лінія	$\sum R, \text{ Ом}$	$\sum X, \text{ Ом}$	$i_{n(0)}, \text{ А}$	$\frac{\sum R}{\sum X}$	$\frac{\sum X}{\sum R}$	k_y	$i_y, \text{ А}$
1	2	3	4	5	6	7	8
T1-U1...U12	1	0,739	185,73	1,353	0,739	1,1	288,93
T1-U13...U25	0,793	0,66	223,84	1,20	0,83	1,1	348,21
T1-U26...U38	0,793	0,66	223,84	1,20	0,83	1,1	348,21
T1-U39...U50	1	0,739	185,73	1,353	0,739	1,1	288,93
U1-J1.1	1,577	1,316	158,457	1,198	0,83	1,1	246,5
U13-J13.1	1,37	1,237	161,87	1,107	0,90	1,1	251,81
U26-J26.1	1,37	1,237	161,87	1,107	0,90	1,1	251,81
U39-J39.1	1,577	1,316	158,457	1,198	0,83	1,1	246,5

3.3.6 Вибір електричних апаратів до 1 кВ і вище 1 кВ

Вибір силових шаф низької напруги трансформаторної підстанції.

Комплектність розподільних пристроїв низької напруги вибираємо за даними каталогу ТОВ «Укрелектроапарат». Ввідну шафу вибираємо за умови мож-

						МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

ливої її роботи при перенавантаженнях. Для цього визначаємо максимальний розрахунковий струм на стороні НН за умови роботи трансформатора при перенавантаженні.

Максимальний розрахунковий струм:

$$I_{p.\max} = \frac{1,4S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (2.19)$$

де S_n - номінальна потужність трансформатора; U_n - номінальна напруга мережі НН.

Розподільні шафи вибираються за кількістю приєднань і розрахунковому струму. Обрані шафи перевіряються за напругою та стійкістю до дії ударних струмів КЗ згідно умов:

$$U_n \leq U_{н.ш}; \quad i_y \leq i_{ст.дин}, \quad (2.20)$$

де $U_{н.ш}$ - номінальна напруга шафи; $i_{ст.дин}$ - струм електродинамічної стійкості шафи.

Розрахунок максимального розрахункового струму:

$$I_{p.\max} = \frac{1,4 \cdot 1}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2020,7 \text{ А.}$$

В таблицю 2.7 занесено технічні характеристики підібраної ТП

Таблиця 2.7 - Технічні данні ТП.

Найменування параметру	ТП
Потужність силового трансформатора, кВА	1000
Частота змінного струму, Гц	50
Номінальна напруга на стороні високої напруги, кВ	10
Номінальна напруга на стороні низької напруги, кВ	0,4

Продовження таблиці 2.7

Найменування параметру	ТП
Номинальний струм збірних шин, кА:	0,4
- пристрою вводу з боку високої напруги	
- пристрою розподільчого з боку низької напруги	0,91
Струм термічної стійкості протягом 1 с, А:	400
- УВН	
- РУНН	1445
Струм електродинамічної стійкості, кА:	51
- УВН	
- РУНН	50
Опір ізоляції мереж, МОм, не менше:	1000
- УВН	
- РУНН	1
Втрати КТП (сумарні втрати силового трансформатора), кВт, не більше	11,37

Відповідно до умов (2.20) $0,348 \leq 51$, $400 \leq 400$ - шафи підбрано правильно.

В якості ввідної шафи обрано шафу ШВВ-2Р. ШВВ-2Р – шафа з вимикачем навантаження типу ВНПР і запобіжниками ПКТ. Вимикач ВНПР пружинно-важільний привод, простіше і надійніше пружинного приводу.

Для захисту електричних мереж напругою до 1 кВ застосовують автоматичні повітряні вимикачі і плавкі запобіжники. ПУЕ регламентує в електроустановках напругою до 1 кВ за режимом кз. перевіряти лише розподільчі щити, струмопроводи і розподільчі шафи. Струмообмежувальні запобіжники й автомати, а також автомати, у яких струм вимикання перевищує найбільше можливе значення струму кз. (на електродинамічну стійкість).

Типи автоматів і запобіжників не вибирають, бо вони є елементами шаф розподільного пристрою НН, ЦТП, СР, РЩ, силових пунктів та збірок, тому для автоматичних вимикачів вибирають номінальний струм автомата та розчеплювачів,

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2. 9

Характеристика	Значення
ВхШхГ, мм	381x240x148
Ступінь захисту IP	54

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики плавких вставок

Характеристика	Значення
Номінальний струм, А	100
Типорозмір	0
Номінальна напруга змінного струму, В	400, 500, 600
Номінальна частота, Гц	50
Класифікаційна група	gG*
Номінальна роз'єднувальна здатність, кА	50 при 660 В, 120 кА при 500 В
Діапазон робочих температур, °С	-45...+60
Ступінь захисту IP	00
Робоче положення	вертикальне чи горизонтальне
Індикатор спрацювання	висувний шток
Матеріал контактів	мідь з гальванічним покриттям сплаву олово-вісмут
Стандарти	ГОСТ Р50339.0-92, ГОСТ Р 50339.2-92
* «g» - захист з роз'єднувальною здатністю від перенавантаження і короткого замикання. «G» - запобіжник загального застосування.	

Зовнішній вигляд вимикача-роз'єднувача з плавкими вставками показано на рисунку 2.10.

						МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			



Рисунок 2.10 - Зовнішній вигляд вимикача-роз'єднувача ЯПР 100А 36 IP54 УХЛЗ з плавкими вставками ППНИ-33 г 0 50А ІЕК (DPP20-050)

Після підбору всіх електричних компонентів системи розподілу електричної енергії було складено робочу специфікацію до побудованої однолінійної принципової схеми СЕС. Принципова однолінійна схема системи об'єкта наведена в графічній частині [МРМА 23.00.00.000 ЕЗ].

2.4 Розробка кріплення для сонячних панелей

Встановлення сонячних панелей в умовах просторових та конструктивних обмежень вимагає пошуку шляхів для реалізації фіксації панелей з мінімальними капітальними затратами, на кріпильну арматуру, людський та часовий ресурс. Також виникає потреба швидкого та надійного монтажу, оскільки, зупинка роботи цілої ділянки залізничного сполучення на період встановлення панелей економічно не вигідна для АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ» та інших зацікавлених сторін. Запропоноване нами рішення дозволяє швидко та надійно закріплювати панелі без надмірних витрат на кріпильну арматуру.

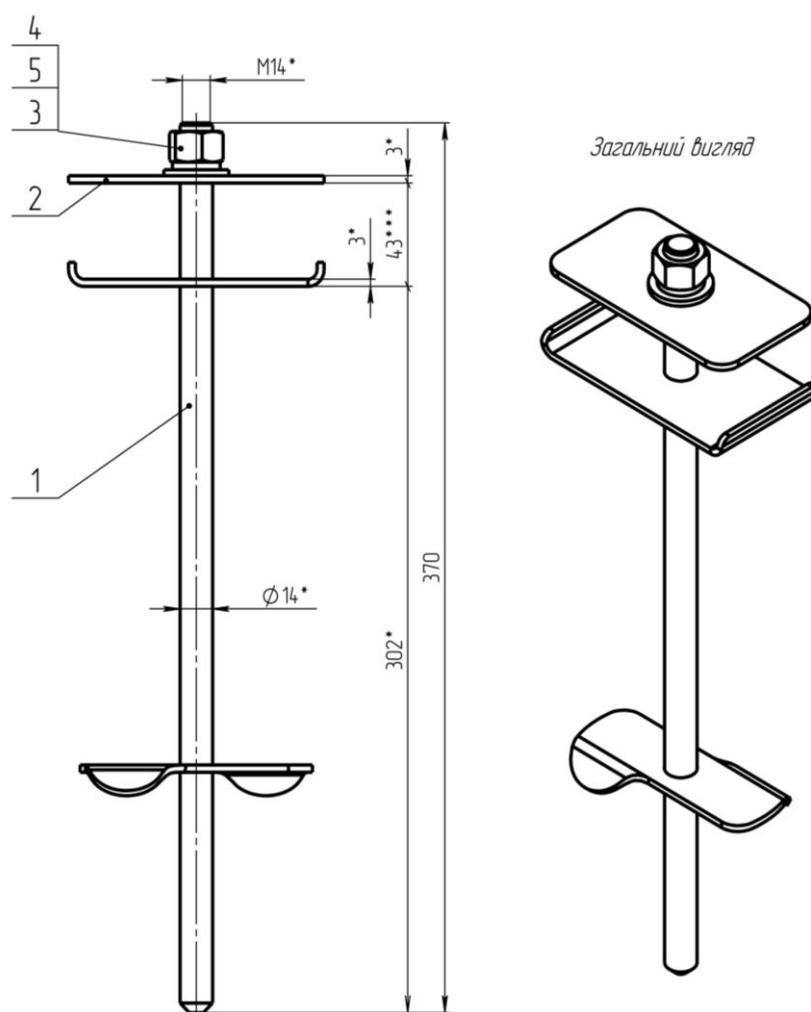
Прокладання сонячних панелей на залізничній колії суттєво здорожує капітальні затрати на їх кріплення за класичним методом фіксації. При великій протя-

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

жності станції виникає потреба прокладання монтажних рейок вздовж усієї довжини СЕС, що не є економічно доцільним.

Нами запропоновано спосіб точкової фіксації панелей на залізничному полотні за рахунок використання розробленого нами кріплення з можливістю безпосереднього з'єднання панелей між собою.

На рисунку 2.11 показано зовнішній вигляд монтажного кронштейна. Більш детальну інформацію наведено в додатках на складальному кресленні МРМА 23.01.00.000 СК – Кронштейн в зборі.



*розміри для довідки; ***розмір змінюється в залежності від товщини сонячної панелі.

1 – кронштейн; 2 – прижимна пластина; 3, 4, 5 – Гайка М14-6 DIN 934, Шайба плоска 15-300HV DIN 125, Шайба пружинна 14-FSt DIN 7980

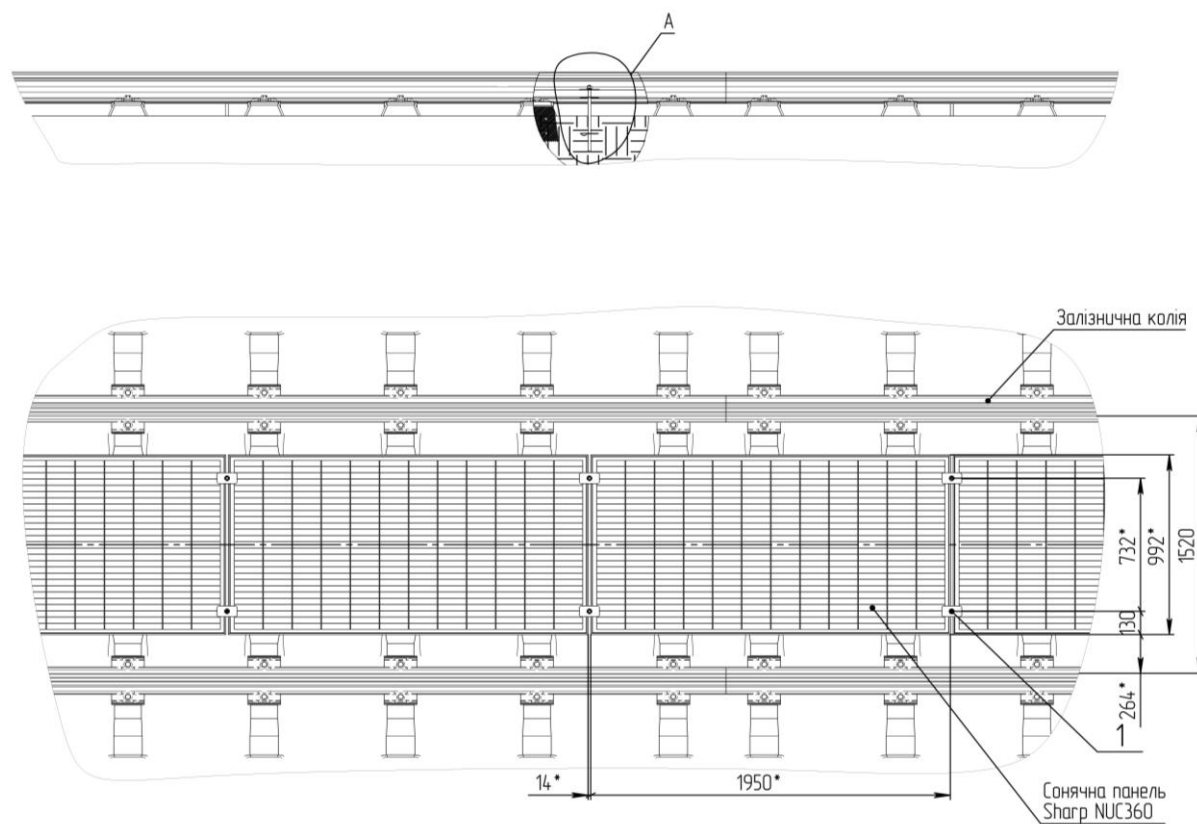
Рисунок 2.11 – Монтажний кронштейн

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ

Арк.
51

На рисунку 2.12 показано схему монтажу з довідковими та габаритними розмірами конструктивних елементів. Додаткову інформацію по монтажу наведено в монтажному креслені МРМА 23.01.00.000 МК.



1 – кронштейн; 2 – прижимна пластина; 3, 4, 5 – Гайка М14-6 DIN 934, Шайба плоска 15-300HV DIN 125, Шайба пружинна 14-FSt DIN 7980

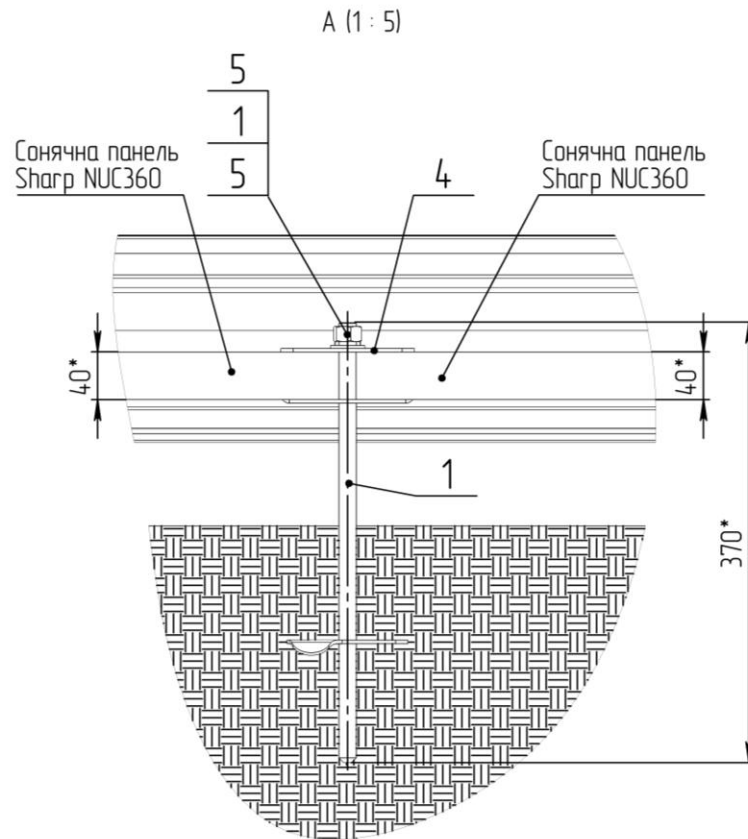
Рисунок 2.12 – Монтажний кронштейн

Деталізований вигляд монтажу сонячних панелей (вигляд А) з рисунку 2.12 показано на рисунку 2.13.

Запропонований нами спосіб кріплення панелей відбувається наступним чином: кронштейн 1 загвинчують між шпалами в насипну кремнієву подушку залізничної колії відміряючи відстані від внутрішніх стінок залізничних рейс та вкладають на них сонячні панелі при цьому центруючи їх за довідковими розмірами з монтажного креслення МРМА 23.01.00.000 МК. Далі одягають на кронштейн прижимну пластину 2 та відповідно фіксують її за допомогою метизів 3, 4 та 5. За потреби кронштейн можна фіксувати за допомогою бетонних грузил. Надійність

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 52
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

фіксації кронштейна повинна враховувати пориви вітру спричинені рухом поїздів вздовж колій та парусність сонячних панелей.



1 – кронштейн; 2 – прижимна пластина; 3, 4, 5 – Гайка М14-6 DIN 934, Шайба плоска 15-300HV DIN 125, Шайба пружинна 14-FSt DIN 7980

Рисунок 2.13 – Монтажный кронштейн

2.5 Розробка пасивної очисної щітки для сонячних панелей

Для забезпечення оптимальної роботи СЕС необхідно забезпечити, відповідно, чистоту поверхонь сонячних панелей. Нами запропоновано забезпечувати очищення поверхонь панелей під-час руху поїздів по коліях за допомогою пасивної щітки, яка закріплена на тяговому вагоні потяга. Окрім того, даний спосіб забезпечує регулярне очищення та мінімізацію витрат людських, фінансово-технічних та часових ресурсів, які необхідно виділяти для очищення поверхонь сонячних панелей класичних СЕС. Запропонована нами конструкція пасивної очисної

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

щітки показано на рисунку 2.14.

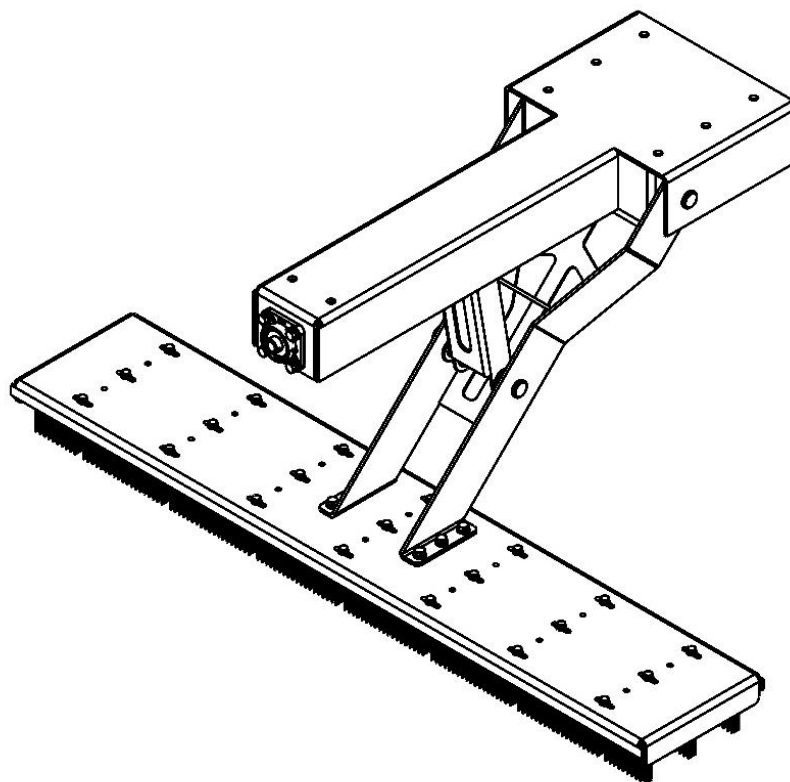
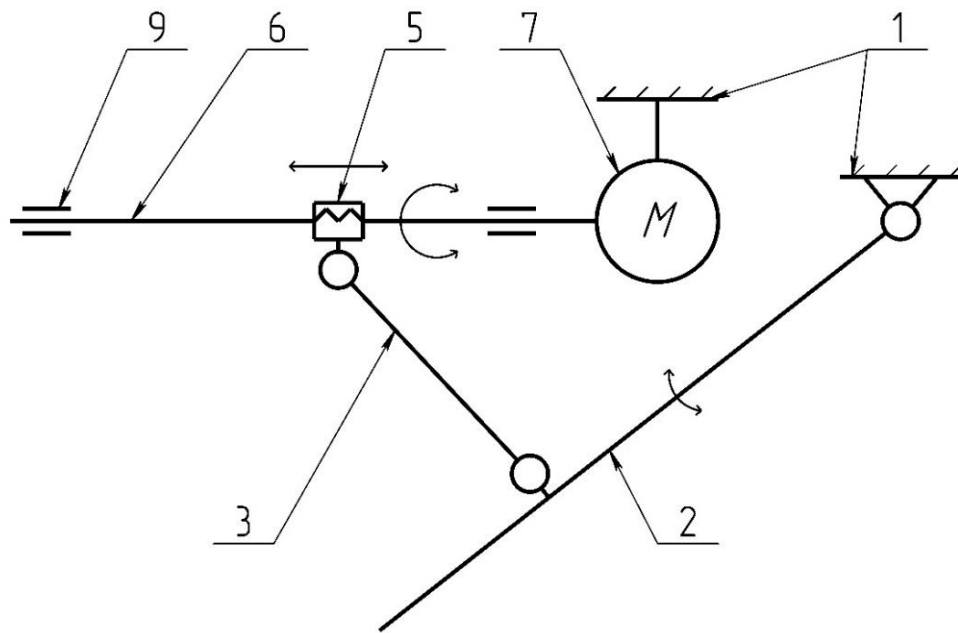


Рисунок 2.14 – Пасивна очисна щітка

Функціонує очисна щітка за наступним принципом. Під час руху потяга на ділянці колії без сонячних панелей очисна щітка знаходиться в складеному положенні (рис. 2.16), при наближенні до ділянки траси з прокладеними сонячними панелями очисна щітка переходить в розкладене положення (рис. 2.17).

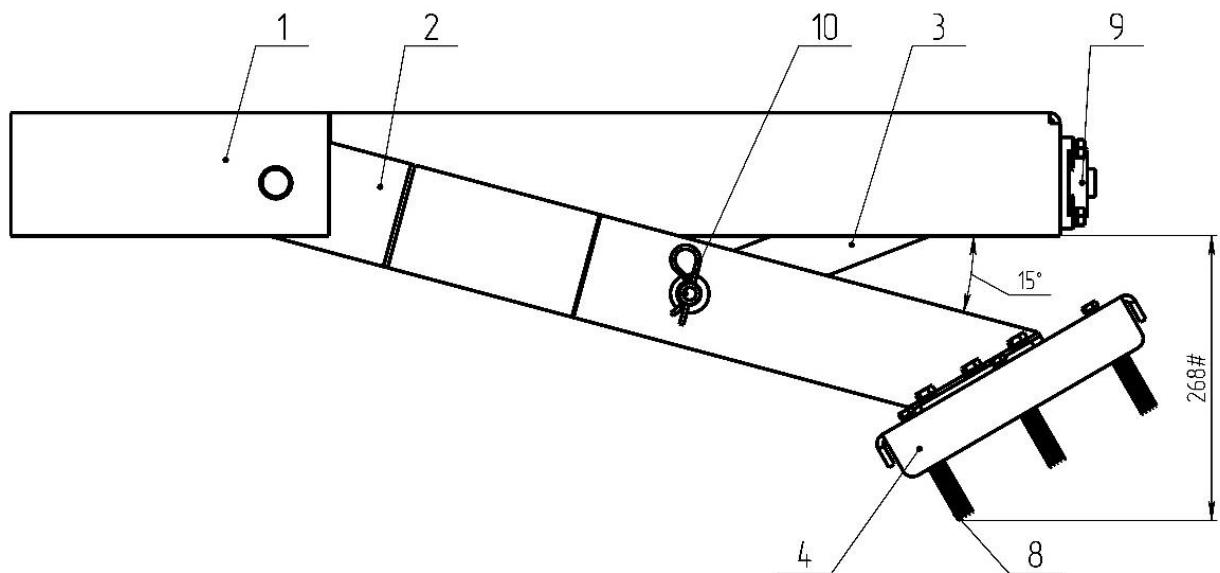
Серводвигун 7, який жорстко закріплений в корпусі 1, приводить в рух гвинтову передачу, що складається з гвинта 6 та привідної гайки 5. При переміщенні гайки 5, вісь 3 змінює своє положення вздовж осі гвинта 6 спричиняючи зміну кута нахилу вилки 2, яка за допомогою шарнірного з'єднання закріплена на корпусі 1. Відповідно, відбувається переміщення монтажної поверхні для нейлонових щіток 4 та самих нейлонових щіток 8. Також, на монтажній поверхні 4 передбачено перфорацію для встановлення рідинних форсунок низького тиску, які використовуються в процесі миття сонячних панелей.

Кінематичну схему пасивної очисної щітки показано на рисунку 2.15.



1 – корпус; 2 – вилка; 3 – тяга; 5 – гайка привідна; 6 – гвинт; 7 – серводвигун з гальмом; 9 – корпусний підшипник.

Рисунок 2.15 – Кінематична схема пасивної очисної щітки



#розмір змінюється в залежності від положення пасивної очисної щітки.

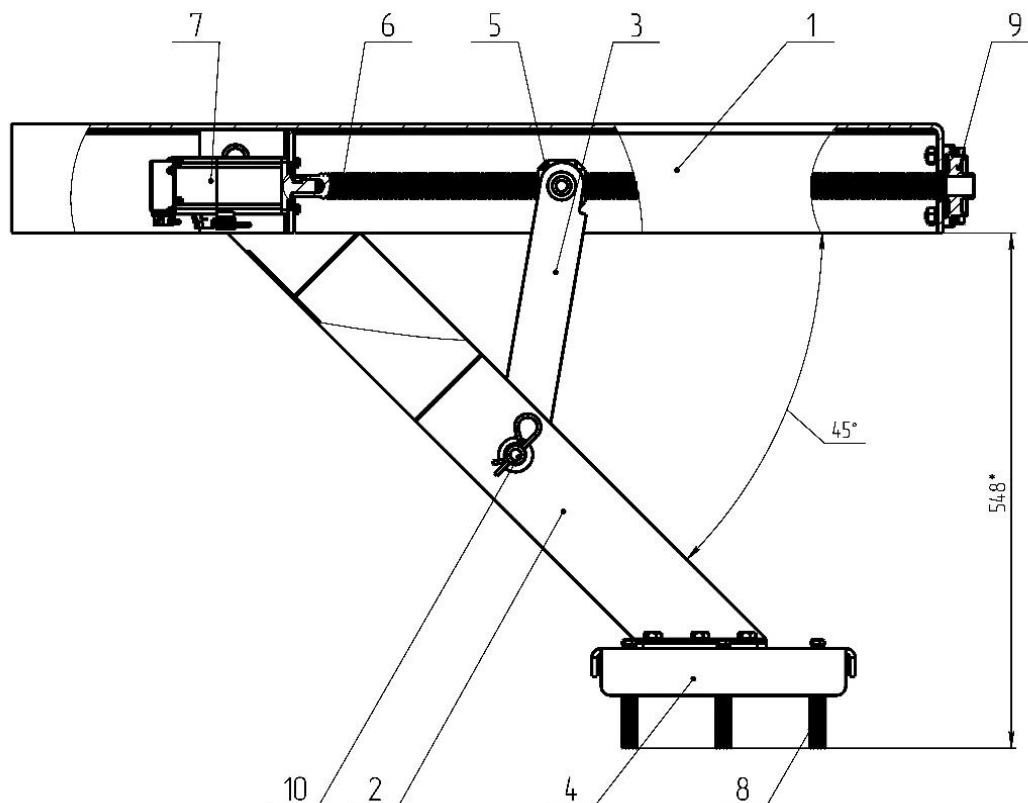
1 – корпус; 2 – вилка; 3 – тяга; 4 – монтажна поверхня для нейлонових щіток; 8 – нейлонова щітка; 9 – корпусний підшипник.

Рисунок 2.16 – Пасивна очисна щітка в складеному положенні

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ

Арк.
55



#розмір змінюється в залежності від положення пасивної очисної щітки.

1 – корпус; 2 – вилка; 3 – тяга; 4 – монтажна поверхня для нейлонових щіток; 5 – гайка привідна; 6 – гвинт; 7 – серводвигун з гальмом; 8 – нейлонова щітка; 9 – корпусний підшипник; 10 – палець.

Рисунок 2.17 – Пасивна очисна щітка в розкладеному (робочому) положенні

Загальний вигляд пасивної очисної щітки на потязі показано на рисунку 2.18.

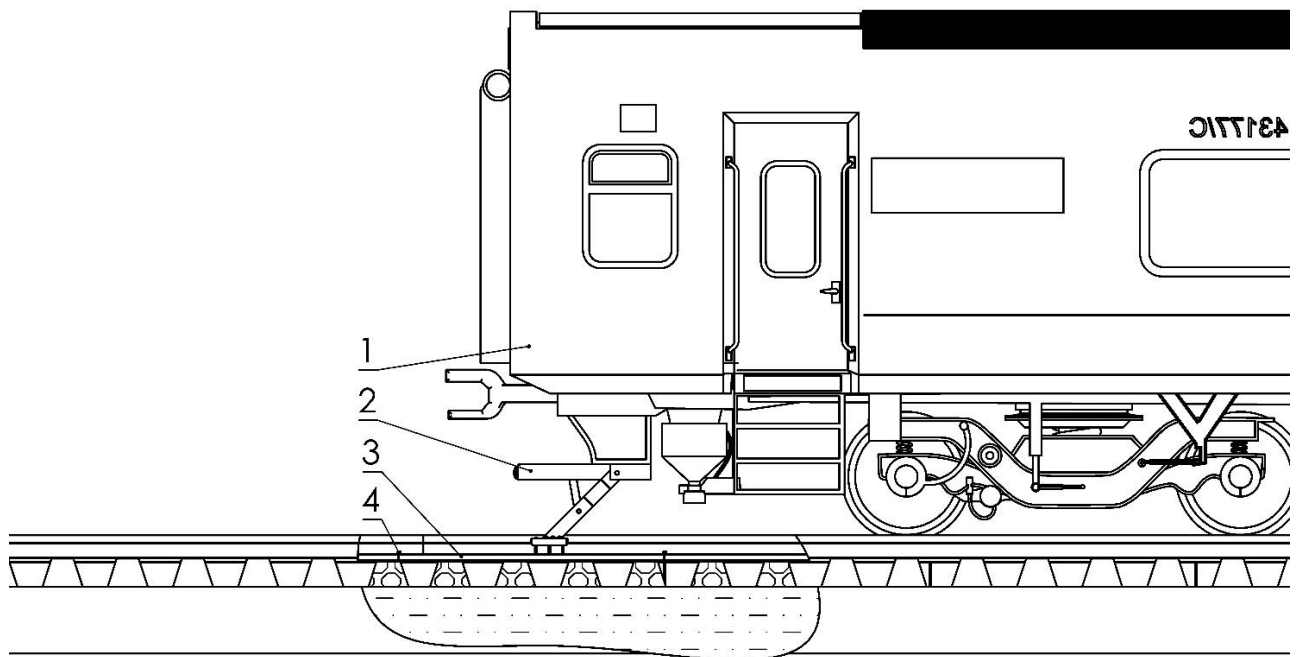
Для покращення очисних можливостей щітки нами запропоновано додатково використовувати спосіб очистки панелей який передбачає подачу рідини під тиском на поверхню сонячних панелей. У відповідності до схеми, форсунки які омивають поверхню панелей монтується на монтажній поверхні 8 (рис.2.16 та 2.17) та під'єднуються до колектора за допомогою гнучких гідравлічних патрубків. Детальну гідравлічну принципову схему системи миття сонячних панелей показано на рисунку 2.19.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ

Арк.
56

Функціонує системи миття таким чином: перед початком роботи пасивної очисної щітки оператор потяга повинен відкрити запірний кран 2, який з'єднує резервуар з рідиною 1 та рідинний насос 3. Перед входом на ділянку траси на якій необхідно використати систему миття оператор за допомогою пульта керування відкриває електромагнітний клапан подачі рідини 4 та приводить в дію насос 3 який вмикається автоматично при відкритті клапана 4. Після чого насос подає рідину на колектор 5 з якого відбувається розподіл рідини на форсунки 6, з яких відбувається миття панелей за рахунок тиску струменю рідини. Пасивна очисна щітка в процесі переміщення над поверхнею панелей знімає шар рідини який залишається після процесу миття. Після виходу потяга із зони миття панелей оператор відключає систему подачі рідини та виводить щітку в транспортне положення.



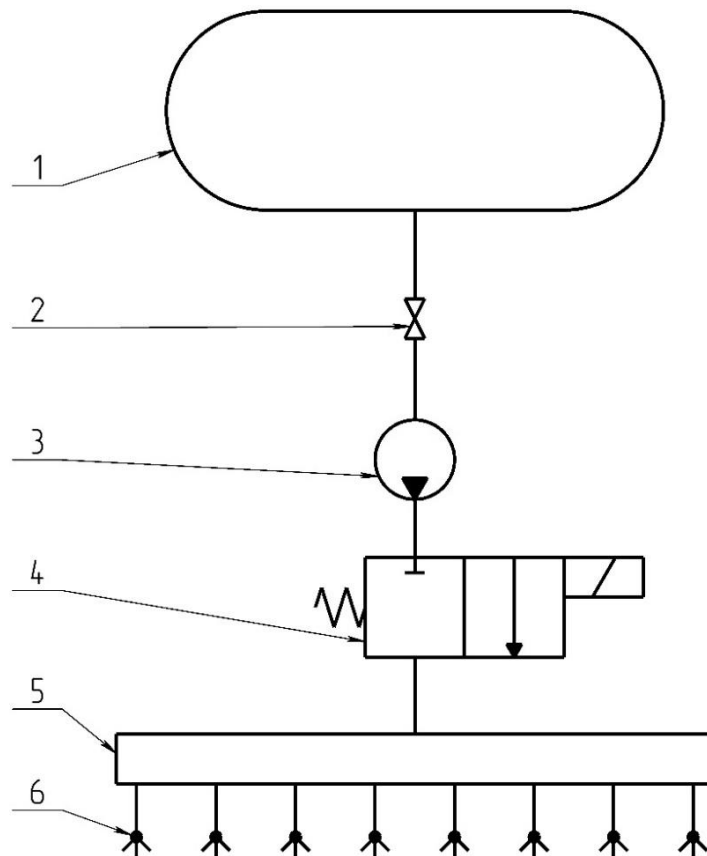
1 – вагон; 2 – пасивна очисна щітка; 3 – сонячна панель; 4 – кріплення сонячної панелі.

Рисунок 2.18 – Загальний вигляд пасивної очисної щітки на потязі

Пульт керування для розробленої нами пасивної очисної щітки не передбачено, оскільки система управління положенням щітки та системою омивання поверхні панелей може бути здійснене з диспетчерської кабіни комплектним пультом

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

керування, а під'єднання сигнальних та силових кабелів щітки до пульта керування потяга не потребує додаткових засобів.



1 – резервуар з рідиною; 2 – запірний кран; 3 – рідинний насос; 4 – клапан подачі рідини; 5 – колектор на 8 виходів; 6 – розпилюючі форсунки.

Рисунок 2.19 – Система подачі рідини на поверхню сонячної панелі

Складальне креслення пасивної очисної щітки наведено на аркуші МРМА 23.02.00.000 СК. Пакет конструкторської документації з кінематичною та гідравлічною схемами та кресленням деталей виробу додається.

Висновки до другого розділу

На основі аналізу нормативно технічної документації АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ», нами було розроблено концепцію побудови СЕС за методом ефективного

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

використання площі міжміських структур в енергетиці. Дана концепція дала змогу спроектувати електростанцію загальною площею 11,006 га, що в свою чергу дозволило зекономити корисні території придатні для сільськогосподарської діяльності та забудов. Заощаджена територія дозволяє захистити заповідні території та водойми, позитивно впливаючи на екологію.

Також, в ході виконання другого розділу дипломної роботи було проведено розрахунок основних технічних характеристик СЕС, на основі яких було побудовано електричну принципову схему.

Розроблено монтажну схему сонячних панелей та спроектовано дешеве та ефективне кріплення для панелей, яке дозволяє суттєво знизити капітальні затрати при побудові електричної станції.

Додатковим завданням розділу, було забезпечення оптимальної роботи СЕС при економічно вигідних експлуатаційних показниках. Дане завдання було виконане за рахунок розробки пасивної очисної щітки, яка забезпечує функцію очистки панелей від пилу, бруду та інших органічних та не органічних забруднювачів.

					MPMA 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНОК ПРОГНОЗОВАНОЇ КІЛЬКОСТІ ВИРОБЛЕНОЇ ЕНЕРГІЇ

Для розрахунку прогнозованої кількості енергії яку може виробити нами спроектована СЕС необхідно визначити потужність установки, прогнозований потік сонячної радіації на поверхню сонячних панелей.

Визначаємо рівень інсоляції на поверхні сонячних панелей та будуємо її графіки на широті в якій розміщується електростанція за допомогою міжнародної бази даних «PVGIS_SARAH2», яка розміщена на відкритій платформі – «Photovoltaic Geographical Information System» [21] (розділ 3.1).

Опираючись на принципову електричну схему на креслені МРМА 23.00.00.000 ЕЗ проводимо розрахунок потужності установки в розділі 3.2.

Проводимо розрахунок та побудову графіків генерування енергії в розділі 3.3.

Також, у розділі 3.4 нами розраховано площу СЕС для демонстрації ефективності використання даного смарт-методу побудови електростанцій.

3.1 Побудова графіків інсоляції поверхні Землі

Для побудови графіка генерування електричної енергії впродовж доби використовуємо метод розрахунку рівня інсоляції на одиницю площі поверхні землі, тому, для визначення прогнозованої кількості виробництва електричної енергії необхідно визначити кількість сонячної радіації яка потраплятиме на поверхню сонячних колекторів впродовж певного розрахункового часу, та провести експериментальні дослідження чинників які впливають на дослідні дані. Виконання даного дослідження є не доцільним, оскільки для коректної оцінки впливу чинників які впливатимуть на систему необхідно провести дослід який триватиме не один десяток років.

Для аналізу рівня інсоляції та побудови відповідних графіків нами запропоновано використати середні показники за спостереженнями NASA за останні 22

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

роки. Дані спостережень наведені в таблиці 3.1.

Також для побудови графіків інсоляції нами було використано світову базу даних рівнів сонячної активності на планеті Земля - «PVGIS_SARAH2». База даних знаходиться у відкритому доступі та є імплементованою в систему «Photovoltaic Geographical Information System» [21], що знаходиться на сайті European Commission.

Таблиця 3.1 Середній показник за спостереженнями NASA за останні 22 роки, кВт·год/м²/день

Область	Місяць												Сер.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,30	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,90	3,11
Дніпропетровськ	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Запоріжжя	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Івано-Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Кропивницький	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівне	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01

Продовження таблиці 3.1

Область	Місяць												Сер.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Сімферопіль	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	3,58
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,90	3,26
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернігів	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,45	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівці	1,19	1,93	2,48	3,96	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

Проаналізувавши данні таблиці 3.1 та географічне розташування СЕС ми дійшли висновку, що залізнична колія лежить в одній географічній широті та має протяжність з заходу на схід, отже і рівні інсоляції на обох кінцях дороги «Гречани-Тернопіль» майже однакові. Тому для спрощення математичної моделі розрахунку ми використали географічну локацію яка знаходиться на середині ділянки залізничної дороги.

На рисунку 3.1 показано географічну локацію для якої проводиться розрахунок рівня інсоляції за допомогою платформи Photovoltaic Geographical Information System [21] Географічна широта – 49,531, довжина – 26,221.

Для запропонованої нами моделі, повна інтенсивність опромінення сонячною енергією поверхні панелі визначається за наступною формулою:

$$I = I_t + I_i + I_d, \quad (3.1)$$

де I - повна інтенсивність випромінювання на площину, Вт/м²;

I_t - інтенсивність розсіяного (дифузного) випромінювання, Вт/м²;

I_d - інтенсивність відбитого випромінювання, Вт/м².

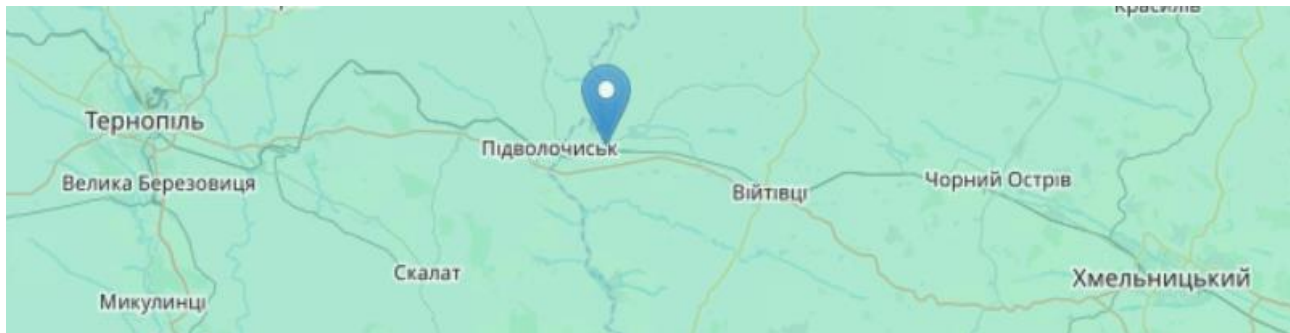


Рисунок 3.1 – Обрана локація для проведення розрахунку рівня інсоляції

Враховуючи те, що СЕС передбачає роботу без перерви впродовж цілого року будуюмо річний графік рівня інсоляції. Побудову графіка виконуємо з урахуванням того, що сонячна панель розміщена паралельно поверхні землі.

Річний графік рівня інсоляції показано на рисунку 3.2.

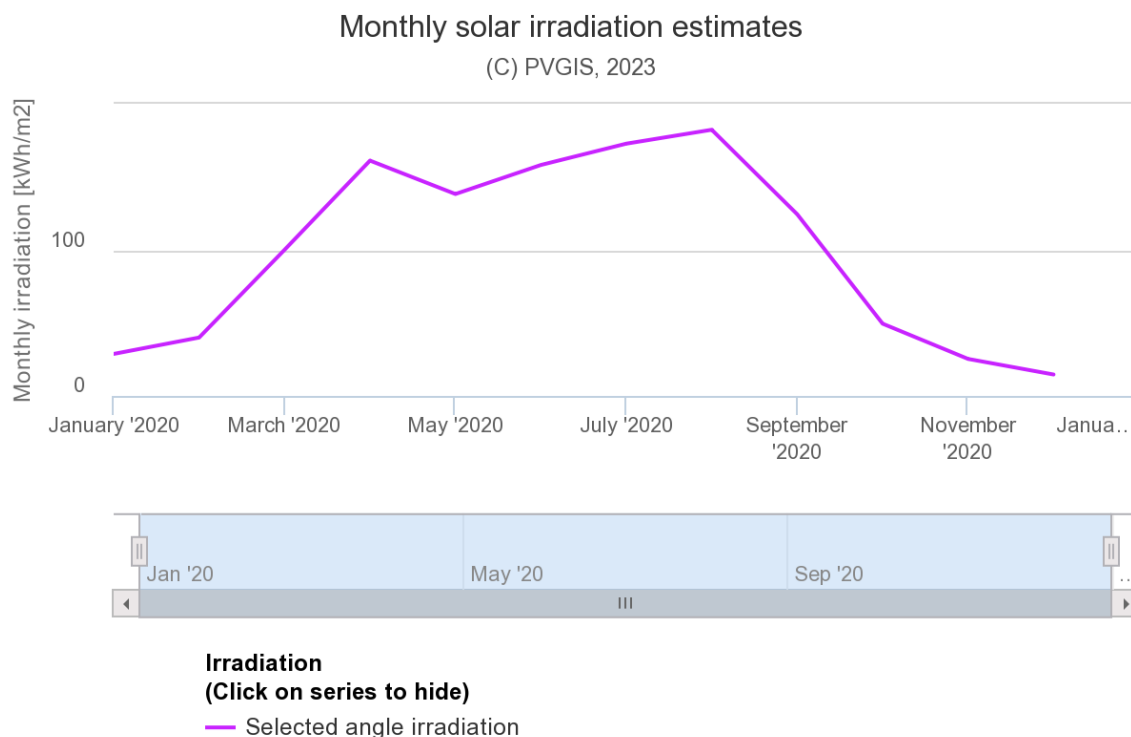


Рисунок 3.2 – Середньостатистичний рівень інсоляції впродовж року

Провівши аналіз графіка інсоляції можна дійти висновків: про те, що розроблена нами СЕС буде найбільш ефективною в літній період року та прийняте нами рішення, щодо проведення розрахунків для підбору кабельної продукції в підрозділі 2.3.4 вірне.

Побудований графік на 2023 рік є актуальними оскільки статистичні данні оновлюються регулярно завдяки глобальній мережі сонячних електростанцій та метеостінцій. Для побудови графіка було використано дані за 2020 р.

3.2 Розрахунок потужності СЕС

У відповідності до розробленої принципової електричної схеми [МРМА 23.00.00.000 ЕЗ] проводимо розрахунок загальної потужності електричної станції. Для визначення загальної потужності СЕС визначаємо сумарну потужність фотоелектричних модулів та загальні втрати при транспортуванні та перетворенні електричного струму. Для цього виконуємо розрахунок кількості сонячних панелей за електричною принциповою схемою [МРМА 23.00.00.000 ЕЗ] за формулою (3.2):

$$n_J = n_{n.в.б} \cdot n_U \cdot n_T, \quad (3.2)$$

де n_J - загальна кількість сонячних панелей J, шт;

$n_{n.в.б}$ - кількість сонячних панелей в одній батареї що під'єднується до одного мережевого інвертора U, шт;

n_U - кількість інверторів в масиві одного трансформатора T_i , шт.

n_T - кількість трансформаторів T в СЕС, шт.

Далі визначаємо загальну потужність СЕС з врахуванням втрат на транспортування та перетворення електричного струму в елементах електричної станції. Проводимо розрахунок за формулою (3.3):

$$P_{сес.заг} = (n_J \cdot P_J - S_{n.n. J-U}) \cdot \eta_U - S_{n.n. U-T} - S_T, \quad (3.3)$$

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де P_j - потужність однієї сонячної панелі, Вт;

$S_{n.n. J-U}$ - втрати в провідниках які з'єднують сонячні панелі J_i з інверторами U_i , ВА;

η_U - ККД інвертора U , %;

$S_{n.n. U-T}$ - втрати в провідниках які з'єднують інвертори U_i з трансформаторами T_i , ВА;

S_T - втрати в трансформаторах, ВА.

Відповідно до регламентованої законодавством методики визначення втрат в електричних мережах [32], втратами потужності в лініях електропередач, які коротші за 1 км нехтуємо, тобто, втратами на ділянках J_i-U_i . Тому, визначаємо втрати потужності лише для ділянок U_i-T_i , втрати потужності в провідниках $S_{n.n. U-T}$ обраховуємо за формулою [31, 32]:

$$S_{n.n. U-T} = n_T \cdot (S_{n.n. T_i-U_1 \dots U_{12}} + S_{n.n. T_i-U_{13} \dots U_{25}} + S_{n.n. T_i-U_{26} \dots U_{38}} + S_{n.n. T_i-U_{39} \dots U_{50}}), \quad (3.4)$$

де

$$S_{T_i-U_1 \dots U_{12}} = S_{T_i-U_{39} \dots U_{50}} = \sqrt{P_{T_i-U_1 \dots U_{12}}^2 + Q_{T_i-U_1 \dots U_{12}}^2} = \sqrt{P_{T_i-U_{39} \dots U_{50}}^2 + Q_{T_i-U_{39} \dots U_{50}}^2}, \quad (3.5)$$

$$S_{T_i-U_{13} \dots U_{25}} = S_{T_i-U_{26} \dots U_{38}} = \sqrt{P_{T_i-U_{13} \dots U_{25}}^2 + Q_{T_i-U_{13} \dots U_{25}}^2} = \sqrt{P_{T_i-U_{26} \dots U_{38}}^2 + Q_{T_i-U_{26} \dots U_{38}}^2}, \quad (3.6)$$

повні потужності на ділянках $T_i-U_1 \dots U_{12}$, $T_i-U_{13} \dots U_{25}$, $T_i-U_{26} \dots U_{38}$ та $T_i-U_{39} \dots U_{50}$, відповідно.

P_i^2 - сумарні активні втрати в провідниках які з'єднують інвертори U_i з трансформатором T , Вт. Розраховуються за формулою:

$$P_{T_i-U_1 \dots U_{12}} = P_{T_i-U_{39} \dots U_{50}} = I_{n. T_i-U_1 \dots U_{12}}^2 \cdot R_{кб. T_i-U_1 \dots U_{12}} = I_{n. T_i-U_{39} \dots U_{50}}^2 \cdot R_{кб. T_i-U_{39} \dots U_{50}}, \quad (3.7)$$

$$P_{T_i-U_{13} \dots U_{25}} = P_{T_i-U_{26} \dots U_{38}} = I_{n. T_i-U_{13} \dots U_{25}}^2 \cdot R_{кб. T_i-U_{13} \dots U_{25}} = I_{n. T_i-U_{26} \dots U_{38}}^2 \cdot R_{кб. T_i-U_{26} \dots U_{38}}, \quad (3.8)$$

$I_{n.i}$ - номінальний сумарний струм, що підводиться до одного трансформатора T_i від групи інверторів U_i під'єднаних до трансформатора. Відповідно до розробле-

ної нами однолінійної принципової схеми [МРМА 00.00.000 ЕЗ], для Т1-У1...У12 та Т1-У39...У50 - $I_{н,i} = n_U \cdot I_{н,U} = 12 \cdot 19,8 = 237,6$ А, для Т1-У13...У25 та Т1-У26...У38 - $I_{н,i} = n_U \cdot I_{н,U} = 12 \cdot 19,8 = 257,4$ де $I_{н,U}$ - номінальний струм інвертора;

$R_{кб}$ - визначається як активний опір у відповідності до таблиці 3.5 (кабельний журнал) та однолінійної принципової схеми [МРМА 00.00.000 ЕЗ];

Q_i^2 - сумарні реактивні втрати в провідниках які з'єднують інвертори U_i з трансформатором Т, ВАр. Розраховуються за формулою:

$$Q_{Ti-U1...U12} = Q_{Ti-U39...U50} = I_{н,Ti-U1...U12}^2 \cdot X_{кб,Ti-U1...U12} = I_{н,Ti-U39...U50}^2 \cdot X_{кб,Ti-U39...U50}, \quad (3.9)$$

$$Q_{Ti-U13...U25} = Q_{Ti-U26...U38} = I_{н,Ti-U13...U25}^2 \cdot X_{кб,Ti-U13...U25} = I_{н,Ti-U26...U38}^2 \cdot X_{кб,Ti-U26...U38}, \quad (3.10)$$

$X_{кб}$ - визначається як реактивних опорів у відповідності до таблиці 2.5 (кабельний журнал) та однолінійної принципової схеми [МРМА 00.00.000 ЕЗ].

Підставивши значення в формули (3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 та 3.10), отримуємо:

$$n_j = 40 \cdot 50 \cdot 28 = 56000 \text{ шт};$$

$$P_{Ti-U1...U12} = P_{Ti-U39...U50} = 237,6^2 \cdot 0,422 = 23823,5 \text{ Вт};$$

$$P_{Ti-U13...U25} = P_{Ti-U26...U38} = 257,4^2 \cdot 0,216 = 14311 \text{ Вт};$$

$$Q_{Ti-U1...U12} = Q_{Ti-U39...U50} = 237,6^2 \cdot 0,162 = 9145,5 \text{ ВАр};$$

$$Q_{Ti-U13...U25} = Q_{Ti-U26...U38} = 257,4^2 \cdot 0,084 = 5499,1 \text{ ВАр};$$

$$S_{Ti-U1...U12} = S_{Ti-U39...U50} = \sqrt{23823,5^2 + 9145,5^2} = 25518,6 \text{ ВА};$$

$$S_{Ti-U13...U25} = S_{Ti-U26...U38} = \sqrt{14311^2 + 5499,1^2} = 15331,2 \text{ ВА};$$

$$S_{н.н.U-T} = 28 \cdot (25518,6 + 15331,2 + 15331,2 + 25518,6) = 2287588,8 \text{ ВА};$$

$$P_{сес.заг} = (56000 \cdot 360 - 0) \cdot 0,98 - 2287588,8 - (11,37 \cdot 28) = 17468892,84 \text{ Вт}.$$

Отже, загальна потужність СЕС складає – 17,469 МВт.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3.3 Побудова графіків генерування електричної енергії впродовж року

Для побудови графіків генерування енергії розраховуємо загальну потужність СЕС без врахування втрат енергії на проміжних етапах її перетворення за формулою:

$$P_{cec} = n_J \cdot P_J, \text{ Вт.} \quad (3.11)$$

Підставивши значення у формулу (3.11) отримуємо:

$$P_{cec} = 56000 \cdot 360 = 20160000 \text{ Вт, або } 20,16 \text{ МВт.}$$

Отримане значення вносимо в систему « Photovoltaic Geographical Information System» [21] та будуємо графіки генерування електричної енергії впродовж року (рисунок 3.3).

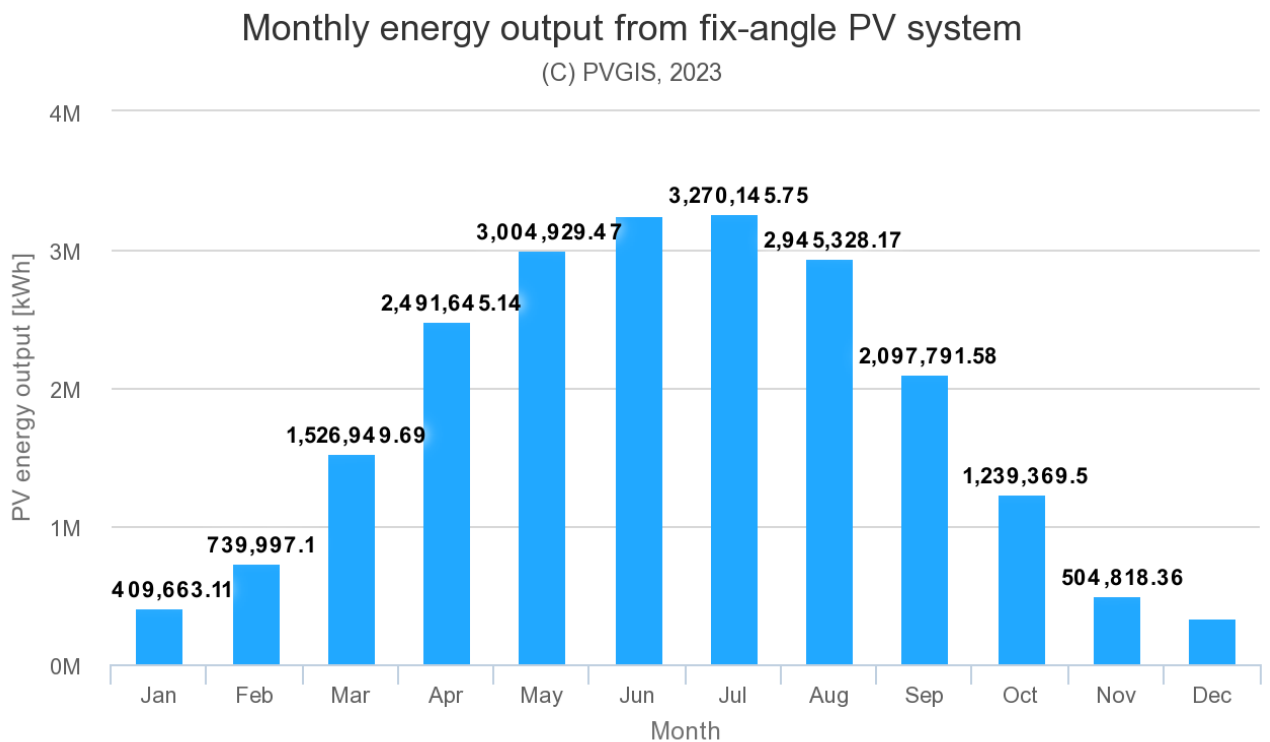


Рисунок 3.3 – Графік генерування електричної енергії впродовж року

Враховуючи особливості СЕС та розрахунок фактичного значення її потуж-

ності з врахуванням всіх форм втрат проводимо коригування графіків генерування енергії та будуємо новий графік з врахуванням розрахунків підпункту 3.2. На рисунку 3.4 показано скорегований графік річного генерування енергії.

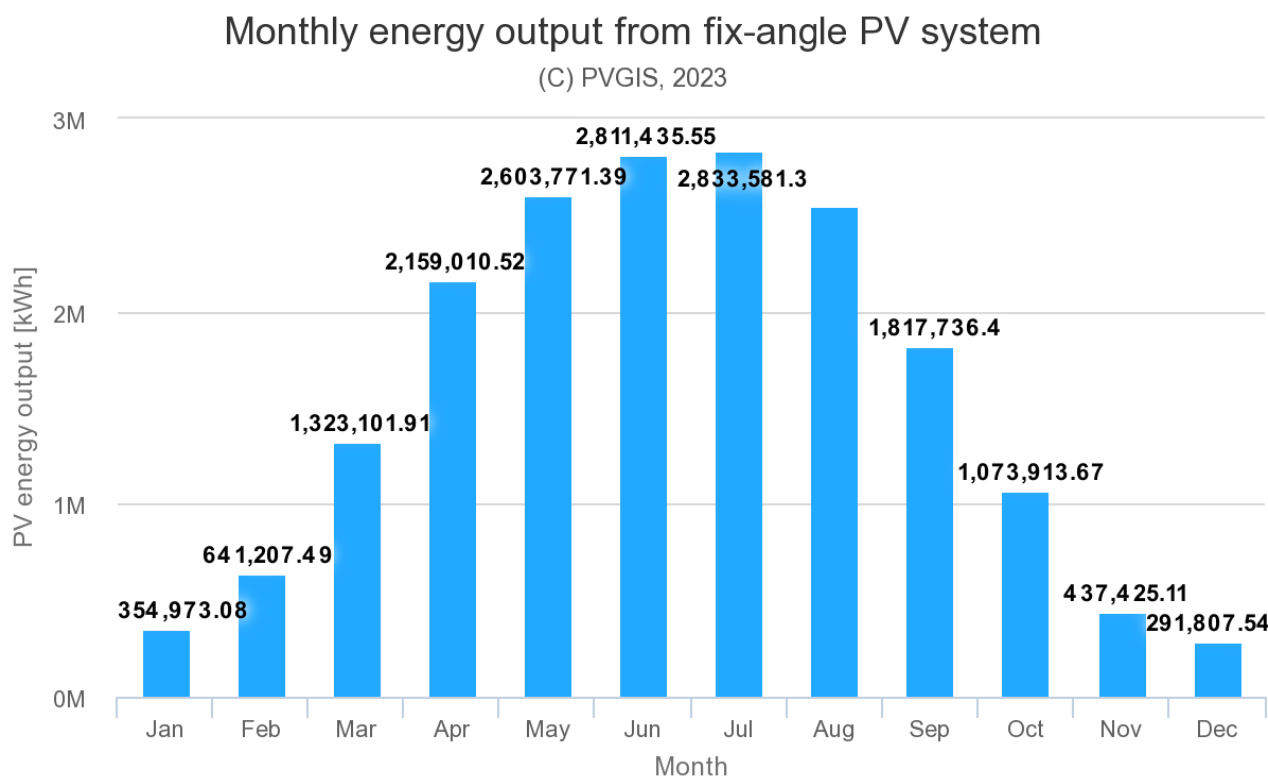


Рисунок 3.4 – Скорегований графік генерування електричної енергії впродовж року

Провівши аналіз графіків на рисунках 3.3 та 3.4 можна констатувати факт, що перетворюючі установки СЕС зменшують її ефективність до 86,65%. Тобто, на перетворенні та транспортуванні енергії в системі втрачається 13,35% від усієї згенерованої електричної енергії.

3.4 Розрахунок площі електростанції

Для визначення довжини залізничної дороги на вибраній ділянці Гречани – Тернопіль використовуємо «Ілюстрований путівник Південно-Західними Державними залізницями» [11]. Згідно путівника довжина обраної ділянки дороги складає 112 км, тобто, 112 000 м.

Визначення максимально-допустимої кількості сонячних панелей, що може бути розміщено на даній ділянці залізничної дороги проводимо за формулою (3.12):

$$n_{пан} = \frac{L_{дiл}}{(a + d)}, \text{ шт} \quad (3.12)$$

де $L_{дiл}$ - довжина ділянки залізничної дороги м. Для траси Гречани – Тернопіль

$$L_{дiл} = 112000 \text{ м};$$

a - довжина сонячної панелі отримана з її технічних характеристик, м. Для обраної сонячної панелі $a = 1,950$ м;

d - габаритний розмір кріплення який обумовлює виникнення зазору між сонячними панелями. Для запропонованого нами варіанту кріплення d становить 0,014 м.

Підставивши значення в формулу 3.1 отримуємо:

$$n_{пан} = \frac{112000}{(1,950 + 0,014)} = 57026 \text{ шт.}$$

Для розрахунку загальної площі електростанції використовуємо формулу:

$$S_{CEC} = n_{пан} \cdot S_{пан}, \text{ м}^2 \quad (3.13)$$

де $n_{пан}$ - розрахункова кількість сонячних панелей;

$S_{пан}$ - розрахункова площа однієї сонячної панелі, що обчислюється за формулою:

$$S_{пан} = a \cdot b, \text{ м}^2 \quad (3.14)$$

де a - довжина сонячної панелі, м;

b - ширина сонячної панелі, м.

Підставивши значення в формули 3.13 та 3.14 отримуємо:

$$S_{пан} = 1,950 \cdot 0,992 = 1,93 \text{ м}^2,$$

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$S_{CEC} = 57026 \cdot 1,93 = 110060,18 \text{ м}^2.$$

У відповідності до результатів проведених розрахунків, корисна площа СЕС складає 110060,18 м² або 11,006 га.

Висновки до третього розділу

В ході виконання третього розділу магістерської роботи було визначено рівень інсоляції на поверхню сонячних панелей, що встановлені під кутом 0° для географічного району в якому розміщена СЕС. Побудовано річний графік опромінення панелі за допомогою міжнародної бази даних «PVGIS_SARAH2», яка розміщена на відкритій платформі – «Photovoltaic Geographical Information System» [21] та встановлено, що розрахунки на термодинамічну стійкість провідникової продукції, яка використовується в СЕС зроблено правильно.

Проведено розрахунки прогнозованої кількості згенерованої електричної енергії без врахування втрат на передачу та перетворення в системі. За результатами розрахунків СЕС визначено, що встановлена пікова фотоелектрична потужність становить 20160 МВт в період коли система працює в умовах максимальної освітленості.

Опираючись на принципову електричну схему на креслені МРМА 23.00.00.000 ЕЗ було проведено розрахунок потужності установки в підпункті 3.2. Та встановлено, що при врахуванні всіх видів електричних втрат СЕС, зокрема передача та перетворення енергії, максимальна пікова потужність всієї електростанції становить 17,469 МВт. Тобто, можна констатувати факт, що перетворюючі установки СЕС зменшують її ефективність до 86,65%. На перетворенні та транспортуванні енергії в системі втрачається 13,35% від усієї згенерованої електричної енергії, що в свою чергу, є конкурентноспроможним ринковим показником для СЕС за даними «Photovoltaic Geographical Information System» [21].

Також, у розділі 3.4 нами розраховано площу СЕС для демонстрації ефективності використання даного смарт-методу побудови електростанцій. За резуль-

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

татом розрахунку площа покриття сонячними панелями складає 11,006 га. Заощаджена корисна площа яка могла б бути використана для побудови електростанції даної потужності може бути використана для ведення інших видів господарської діяльності та створення заповідних природних зон, із явною користю для загальної екологічної картини.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В ході виконання першого розділу дипломної роботи, на підставі проаналізованих відомостей про існуючі сонячні електростанції ми дійшли висновку, що використання екологічно чистої сонячної енергетики в промисловому масштабі передбачає побудову СЕС, які займають велику площу, що є економічно не вигідним фактором для сучасного господарства та екології в цілому. Тому, на підставі отриманого висновку в розділі 1 нами було запропоноване рішення, щодо ефективного використання площі при побудові об'єктів сонячної енергетики.

В розділі 2 ми розробили електростанцію, яка цілком задовольняє вимоги державних будівельних норм та дає рішення існуючій проблемі описаній у висновках до першого розділу. Підібрані нами конструктивні елементи СЕС та побудована принципова електрична схема надали можливість досягти високого показника енергоефективності установки. Розрахункові втрати енергії, які обумовлені транспортуванням та перетворенням енергії складають 13,35%, що в свою чергу нижче ніж середньоринковий показник в 14% [21]. Потужність спроектованої СЕС складає - 17,469 МВт екологічно чистої енергії на виході установки.

Додатковим завданням другого розділу, була, розробка системи очистки поверхонь сонячних панелей. Було розроблено концепт очисної щітки, яка завдяки своїй конструкції та передбаченому функціоналу забезпечує оптимальні показники чистоти поверхонь сонячних панелей. В підрозділі 2.5 наведено принцип роботи механізму а в графічній частині подано конструкторську документацію, яка необхідна для прототипування пристрою.

За результатом розрахунку площі покриття сонячними панелями в третьому розділі дипломної роботи, корисна площа СЕС складає 11,006 га. Заощаджена площа яка могла б бути використана для побудови електростанції даної потужності може бути використана для ведення інших видів господарської діяльності та створення заповідних природніх зон, із явною користю для загальної екологічної картини.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 72
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Отже, виходячи з приведенного вище аналізу розроблена нами СЕС є екологічно чистою установкою яка відповідає вимогам сучасного ринку електроенергії та принципам ведення господарської діяльності людини.

					MPMA 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Перелік джерел посилань

1. Українська асоціація відновлювальної енергетики. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uare.com.ua/soniachna-enerhetyka/394-dopovidirena-epokha-vidnovlyuvanoji-energetiki.html> (дата звернення: 15.07.2023).
2. Річний звіт АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ» [Електронний ресурс]/Режим доступу: https://portal.uz.gov.ua/wp-content/uploads/2020/12/Book_UZ_19_UA_FIN_web.pdf (дата звернення 07.06.2023).
3. How long has the Sun been shining? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://coolcosmos.ipac.caltech.edu/ask/3-How-long-has-the-Sun-been-shining-> (дата звернення: 15.07.2023).
4. Nuclear fusion in the Sun [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_fusion_in_the_Sun (дата звернення: 15.07.2023).
5. Machovec, G. (2013). Solar Energy Index. The Arizona State University Solar Energy Collection [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/book/9780080238883/solar-energy-index> (дата звернення: 15.07.2023).
6. Bent Sørensen. Renewable Energy (Third Edition)Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects 2004, Pages 29-209.
7. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. залізниці колії 1520 мм. Норми проектування ДБН В.2.3-19:2018.
8. Проектування залізничної колії: Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування. Відповідальний за випуск Фаст Д. А. Редактор Третякова К. А.. Видавець та виготовлювач Український державний університет залізничного транспорту, 61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7. Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.
9. Sharp NUC360 [Електронний ресурс]/Режим доступу: <https://www.solartopstore.com/products/sharp-nusc360> (дата звернення 07.06.2023).

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 74
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

10. Інсоляція: вплив на виробництво електроенергії сонячними панелями. [Електронний ресурс]/Режим доступу: <https://www.solargarden.com.ua/insolyatsiya-vplyv-na-vyrobnytstvo-elektroenergiyi-sonyachnymu-panyamy/?movaUK=UK> (дата звернення 07.06.2023).

11. Андреев П. Н. Иллюстрированный путевник Південно-Західними Державними залізницями. - К.: [Тип. С. В. Кульженко], 1899.

12. Сулейманов В. М., Кацадзе Т. Л. електричні системи та мережі частина 1 матеріали лекцій, 2011р..

13. Solar explained. Solar thermal power plants. [Електронний ресурс]/Режим доступу: <https://www.eia.gov/Energyexplained/solar/solar-thermal-power-plants.php> (дата звернення 07.06.2023).

14. Energy education. Solar thermal power plant. [Електронний ресурс]/Режим доступу: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_thermal_power_plant#cite_note-RE1-2 (дата звернення 07.06.2023).

15. Ultrasonic sensors keep SHAMS solar power plant working at full capacity. [Електронний ресурс]/Режим доступу: <https://www.sick.com/br/es/ultrasonic-sensors-keep-shams-solar-power-plant-working-at-full-capacity/w/blog-shams-solar-power-plant-um30/> (дата звернення 07.06.2023).

16. Правила улаштування електроустановок: [арх. 15 березня 2020] / Мінерговугілля України. — Київ : [б. в.], 2017. — 617 с.

17. Методичні рекомендації до виконання домашньої контрольної роботи кредитного модуля «Основи електроніки» для студ. спец. «Інжиніринг систем забезпечення споживачів електричною енергією» / Уклад. : С. П. Денисюк, Д. Г. Дерев'яно. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 24 с.

18. «Фотоенергетика: практикум». [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; /уклад.: О.Ю. Гаєвський, В.Ю. Іванчук – Електронні текстові дані (1 файл: 2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 30 с.

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 75
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

19. Форкун Я. Б. Сонячна теплоенергетика : конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньої програми – «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії») / Я. Б. Форкун, О. О. Шкурпела ; Харків нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 88 с.

20. Трансформатор силовий масляний [Електронний ресурс]/Режим доступу: https://eg-ltd.com.ua/production/transformer-substations-uk/sylovyj-transformator/?gclid=Cj0KCQjw9fqkBhDSARIsAHlcQYS3tLV3hJiCyoes6EV5lVd8VcW8GKmTMrVMVzsXC57Pc3b-ngv77d2gaApAIEALw_wcB (дата звернення 07.06.2023).

21. Photovoltaic Geographical Information System [Електронний ресурс]/Режим доступу: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (дата звернення 17.09.2023).

22. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. / Рудницький В.Г. - Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. - 280 с

23. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. / Бурбело М.Й. - 2-е вид., перероб. і доп. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. - 148 с.

24. Особливості повітряних ліній електропередачі. [Електронний ресурс]/Режим доступу: <https://europan.ua/news/osoblivosti-povitrjanih-linij-elektropredachi/> (дата звернення 24.09.2023).

25. Кабель силовий АВВГ, вага, характеристики. [Електронний ресурс]/Режим доступу: <https://energoprom.net.ua/ru/production/catalog/silovie/pvh/avvg/> (дата звернення 24.09.2023).

26. ГОСТ 28249-93 Короткі замикання в електроустановках. Методи розрахунку електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ.

27. Силові трансформатори ЕКОДИЗАЙН. [Електронний ресурс]/Режим доступу: <https://uea.com.ua/products/ekodesign-transformers/> (дата звернення 24.09.2023).

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 76
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

28. SOLAR CABLES [Електронний ресурс]/Режим доступу: <https://www.kbe-elektrotechnik.com/uk/solar-cables/kbe-solar-db-en-50618-h1z2z2-k/> (дата звернення 24.09.2023).

29. Fuse link PPNI-33(NH type), size 0, 50A IEK [Електронний ресурс]/ https://iek.global/products/catalog/power_protection_and_switching_equipment/fuses/fuses_and_additional_devices/fuses_ppni_and_additional_devices/fuse_link_ppni_33nh_type_size_0_50a_iek (дата звернення 24.09.2023).

30. Ящик розриву ЯРП-100 IP54 [Електронний ресурс]/ https://amperok.com.ua/jashhyk_rozryvu_jarp-100_komplektovanyj?gclid=Cj0KCQjwvL-oBhCxAARIsAHkOiu1aXpHeSvTaSJ5wU8mP4_IRY-QmK4EStK1bUxaDP7FRyz3w0FwkYJkaAsHDEALw_wcB&utm_source=google&utm_medium=merchant&utm_campaign=GoogleShopping_free_listing (дата звернення 24.09.2023).

31. Косенков В.Д. Теорія електричних та магнітних кіл: навчальний посібник. – Хмельницький, ТУП 2003. - 199 с.

32. Методика по визначенню втрат електроенергії у трансформаторах і лініях електропередач. [Електронний ресурс]/Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/n0001240-98#Text> (дата звернення 24.09.2023).

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 77
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б

					МРМА 23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		