

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

мікроелектронних та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

другий (магістрський)
(рівень вищої освіти)

на тему: Аналіз систем дозвезту сонячних модулів від впливу зовнішніх факторів

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1719

спеціальності 171 Електроніка
(код і назва спеціальності)

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроніка
(назва освітньої програми)

В. М. Назарук
(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н. проф Кривосько Т. В
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Шершов С. А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2020

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	д.т.н. проф. Кригська Г.В.		Налец
2	д.т.н. проф. Кригська Г.В.		Налец
3	д.т.н. проф. Кригська Г.В.		Налец
4	д.т.н. проф. Кригська Г.В.		Налец
5	д.т.н. проф. Кригська Г.В.		Налец

7 Дата видачі завдання 7.05.20

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Вступ	23.09	
	1 розділ	10.10	
	2 - розділ	19.10	
	3. розділ	05.11	
	4. розділ	18.11	
	5 розділ	21.11	
	задієзна зодичка	28.11	

Студент Налец (підпис) В.М. Назорук (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) (підпис) Кригська Г.В. (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер (підпис) Туриська К.О. (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект: 85 стор., 42 рис., 8 табл., 37 джерел

Об'єкт дослідження: сонячні модулі.

Предмет дослідження: фактори впливу на виход з ладу сонячних модулів.

Мета роботи: дослідження зовнішніх факторів впливу на роботу сонячних модулів та розробка етапів по відповідному захисту.

У даній роботі проведено дослідження потенціалу використання сонячних модулів. Показано переваги модулів залежно від матеріалу та проведено аналіз зовнішнього впливу гроз та перевантаження по напрузі.

Проведено математичне моделювання сонячного модуля з отриманням вольт-амперних характеристик в залежності від освітлення.

ФОТОВОЛЬТАІКА, СОНЯЧНА БАТАРЕЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ
ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ, ГРОЗА, ПЕРЕНАПРУГА, ФАКТОР, ЗАХИСТ

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Загальні відомості про сонячну енергетику	7
1.1 Переваги сонячної енергії	7
1.2 Сонячна енергетика	8
1.3 Переваги і недоліки сонячної енергетики	10
1.4 Перспективи сонячної енергетики в Україні	13
2 Фізичні основи та матеріали для сонячних модулів	15
2.1 Загальні положення	15
2.2 Фотоелемент на напівпровідниковому переході	16
2.3 Матеріали сонячних елементів, їхні види і конструкція	20
2.3.1 Умови ефективної роботи сонячних елементів	20
2.3.2 Види сонячних елементів	21
2.3.3 Кремнієві монокристалічні сонячні елементи	23
2.3.4 Кремнієві полікристалічні сонячні елементи	24
2.3.5 Сонячні елементи з аморфного кремнію	28
2.3.6 Плівкові сонячні елементи на основі телуриду кадмію	29
2.3.7 Плівкові сонячні елементи на основі селеніду міді-індію	30
2.3.8 Плівкові полімерні сонячні панелі	31
2.3.9 Тонкоплівкові фотовольтажні модулі	32
2.3.10 Арсенід-галієві фотовольтажні модулі	33
3 Аналіз систем захисту та моделювання сонячних модулів	35
3.1 Аналіз факторів ризику	35
3.2 Захист від перенапруг	40
3.3 Розробка математичної моделі сонячного модуля	42
3.3.1 Обґрунтування вибору програмного	

забезпечення для моделювання	42
3.3.2 Математична модель сонячного елемента	44
4 Конструкторсько-технологічна частина	51
4.1 Конструкція і розташування сонячних батарей	51
4.2 Заходи з охорони праці	55
4.3 Заходи з поліпшення умов праці	58
4.4 Виробнича санітарія	60
4.5 Електробезпека	64
4.6 Пожежна та техногенна безпека	65
4.7. Інженерні рішення з охорони праці	67
4.7.1 Розрахунок захисного заземлення	67
4.7.2 Розрахунок блискавкозахисту будинку обслуговування сонячних модулів	70
5 Техніко-економічне обґрунтування	73
5.1 Визначення стадій розробки	73
5.2 Розрахунок заробітної плати	75
5.3 Розрахунок кошторису витрат	76
Висновки	78
Список використаних джерел	79
Додаток А	83

ВСТУП

Сонячна енергетика - напрямок альтернативної енергетики, засноване на безпосередньому використанні сонячного випромінювання для отримання енергії в будь-якому вигляді. Сонячна енергетика використовує відновлювані джерела енергії і є «екологічно чистою», тобто не виробляє шкідливих відходів під час активної фази використання.

Фотоелектричне перетворення сонячної енергії наразі є одним із пріоритетних напрямів використання сонячної енергії, що обумовлюється:

- можливістю отримання електроенергії практично будь-де;
- екологічною чистотою перетворення енергії;
- значним терміном експлуатації;
- незначними затратами на обслуговування;
- ефективністю перетворення сонячної енергії незалежно від

встановленої потужності [1].

Надзвичайний сплеск інвестицій в сонячну енергетику показує, як змінюється карта глобальної енергетики і, що більш важливо, економічні вигоди від такого переходу», - пише глава UNEP Ерік Сольхайм у прес-релізі ООН до цієї доповіді та додає, що ці зміни створюють нові робочі місця з новою якістю роботи.

Сонячна енергетика (геліоенергетика, фотовольтаїка) встановила рекорд зростання встановленої потужності в 2017 році і додала 38 % до показників 2016 року. «Сонце» домінувало за темпами розвитку не тільки в контексті відновлювальних джерел енергії, але й з погляду всіх джерел генерації. Введення нових потужностей сонячних станцій (+98 ГВт) в 2017 році набагато перевершує нові 58 ГВт від вітру і 70 ГВт від усіх технологій використання викопного палива [2].

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СОНЯЧНУ ЕНЕРГЕТИКУ

1.1 Переваги сонячної енергії

Структура джерел енергії протягом останніх десятиліть істотно зміцнюється: зростає значення нафти, вугілля й газу, зменшується - деревини; певного значення набуває атомна енергія. Робляться спроби повнішого використання енергії вітру, морських припливів, сонячного тепла.

Проте досі найбільший внесок у загальний енергетичний фонд, використовуваний людиною, належить речовинам, нагромадженим внаслідок фотосинтетичного процесу. Із часом цей енергетичний фонд - вугілля, нафта - наближається до виснаження, і тільки Сонце залишається стабільним джерелом енергії. Фотосинтез - єдиний процес, здатний постійно відновлювати енергетичні ресурси планети. Тому є підстави вважати його основою відновлювальних джерел енергетичних засобів. Сонце випромінює таку кількість енергії, якої вистачило б на задоволення не лише сучасних, але й майбутніх потреб людства, коли б існувала можливість утилізувати повністю всю енергію, що досягає поверхні Землі [3].

У багатьох місцях земної кулі загальна енергія випромінювання становить 7 208 Дж-м на рік (2 000 кВт-год/м² на рік). Кількість сонячної енергії, що надходить на Землю, у 10 000 разів перевищує сучасний рівень енергоспоживання [4].

Сонце є основним джерелом енергії, що забезпечує існування життя на Землі. Унаслідок реакцій ядерного синтезу в його активному ядрі досягаються температури до 10 К. При цьому поверхня Сонця має температуру близько 6 000 К. Електромагнітним випромінюванням сонячна енергія передається в космічному просторі і досягає поверхні Землі, з потужністю близько 1,2-10¹⁷ Вт. Одержання такої енергії на протязі однієї години достатньо, щоб задовольнити енергетичні потреби всього населення Земної кулі протягом року. Максимальна щільність потоку сонячного випромінювання, що приходить на Землю, складає приблизно 1 кВт/м².

Залежно від місця, часу доби і погоди потоки сонячної енергії змінюються від 3 МДж/м до 30 МДж/м у день (для різних населених районів).

Одній людині для створення комфортних умов життя, у середньому, потрібно приблизно 2 кВт на добу, або приблизно 170 МДж енергії. Якщо прийняти ефективність перетворення сонячної енергії в зручну для споживання форму 10 % та потік сонячної енергії 17 Мдж/м у день, то необхідну для однієї людини енергію можна одержати з 100 м площі земної поверхні. За середньої щільності населення в містах 500 чоловік на 1 км², на одну людину припадає близько 2 000 м² земної поверхні. Тобто, досить всього 5 % цієї площі, щоб завдяки сонячній енергії, що знімається з неї, задовольнити енергетичні потреби людини [5].

Отримання електроенергії завдяки сонячній радіації можливе через непряме перетворення, наприклад, нагріванням води до пароподібного стану дзеркальними концентраторами з подальшою подачею пари в турбіну. Проте система непрацездатна у темну пору доби.

Найбільш оптимальним зараз є пряме перетворення сонячної енергії в електричну за рахунок використання фотоелектричного ефекту - фотоефекту. Хоча воно й потребує значних площ для розміщення фотоелементів і акумуляторів для запасання електричної енергії для темної пори доби.

1.2 Сонячна енергетика

Сонячна енергетика - використання сонячної енергії для отримання енергії в будь-якому зручному для її використання вигляді. Вона використовує поновлюване джерело енергії і в перспективі може стати екологічно чистою, тобто такою, що не виробляє шкідливих відходів.

На сьогодні сонячна енергетика широко застосовується у випадках, коли малодоступність інших джерел енергії в сукупності з достатньою кількістю сонячного випромінювання виправдовує її економічно [6].

На рисунку 1.1 наведено вигляд сонячної електростанції.



Рисунок 1.1 - Сонячна електростанція у Харківській області [7].

Сонце – джерело життя і жорстокий вбивця, що дає можливість народитися і вирости кожному живому організму на Землі вже протягом кількох мільярдів років. Всерйоз про технологічне «приручення» сонячного світла людина почала замислюватися тільки в минулому столітті.

У далекому 1839 р. Олександр Едмон Беккерель відкрив фотогальванічний ефект.

Через 44 роки Чарльзу Фрітцу вдалося сконструювати перший модуль з використанням сонячної енергії, а основою для нього став селен, покритий тонким шаром золота. Вчений встановив, що таке поєднання елементів дозволяє, хоч і в мінімальному обсязі (близько 1 %), перетворювати енергію сонця в електрику.

Саме 1883 р. прийнято вважати роком народження ери сонячної енергетики. Однак так думають не всі. У науковому світі існує думка, що «батьком» епохи сонячної енергії є не хто інший, як сам Альберт Ейнштейн. У 1921 році Ейнштейн був удостоєний Нобелівської премії за пояснення законів зовнішнього фотоефекту.

Протягом ста років галузь переживала то різкі, стимульовані вченими, інвестиціями приватних і державних структур, підйоми, то гіркі падіння. І в результаті суспільство забуло про «сонячні технології» на роки [8].

1.3 Переваги і недоліки сонячної енергетики

В отриманні сонячної енергії є як позитивні, так і негативні сторони.

До переваг сонячної енергії потрібно зарахувати:

1. Відновлюваність.

Насамперед, сонячна енергія є поновлюваним джерелом енергії, на відміну від викопних видів палива - вугілля, нафти, газу.

2. Достатність.

Потенціал сонячної енергії величезний - поверхня Землі опромінюється 120 тис. тераваттами сонячного світла. А це у 10 тисяч разів перевищує теперішню загальносвітову потребу в ній.

3. Постійність.

Солярна енергія невичерпна і постійна. Тривалість існування Сонця оцінюється у 6,5 млрд років, а отже сонячну енергію неможливо перевитратити в процесі задоволення потреб людства в енергоносіях.

4. Доступність.

Сонячна енергія доступна в кожній точці світу.

5. Значний термін експлуатації.

Виробники сонячних панелей гарантують їхню працездатність протягом 30-50 років.

6. Екологічна чистота.

У світлі останніх тенденцій в боротьбі за екологічну чистоту Землі, сонячна енергетика є найбільш перспективною галуззю, що частково замінює енергію, одержувану від невідновлюваних паливних ресурсів і, тим самим, виступає важливим етапом на шляху захисту клімату від глобального

потепління. Виробництво, транспортування, монтаж і використання сонячних електростанцій практично не супроводжується шкідливими викидами в атмосферу. Навіть якщо вони і присутні в незначній мірі, то в порівнянні з традиційними джерелами енергії, їхній вплив на навколишнє середовище можна вважати майже відсутнім.

7. Безшумність.

У системах на сонячному ресурсі немає ніяких рухомих вузлів, як, наприклад, в турбогенераторах. Вироблення електроенергії відбувається безшумно.

8. Економічність.

Використання сонячних батарей як автономного джерела енергії забезпечує власникам приватних будинків відчутну економію.

9. Низькі експлуатаційні витрати.

Обслуговування систем енергопостачання на сонячних батареях полягає у тому, що лише кілька разів на рік необхідно чистити сонячні елементи від забруднення.

10. Широкі межі застосування.

Це і вироблення електроенергії в регіонах, де відсутнє підключення до централізованої системи електропостачання, і опріснення води в Африці, і постачання енергією супутників на навколосемній орбіті та ін.

11. Застосування інноваційних технологій.

Із кожним роком технології виробництва сонячних батарей стають все більш досконалішими. Сучасні досягнення у сфері нанотехнологій і квантової фізики дозволяють говорити про можливе збільшення у найближчий час потужності сонячних панелей у 3 рази.

Проте сонячна енергетика має і недоліки:

1. Висока вартість.

Сонячна енергія належить до розряду дорогого ресурсу. Через те, що, наприклад, облаштування будинку сонячними елементами обходиться чимало на початковому етапі, багато держав заохочують використання цього

екологічно чистого джерела енергії видачею кредитів і оформленням так званого зеленого тарифу. Окупність сонячної енергетичної установки може сягати 15 років.

2. Мінливість.

Оскільки сонячне світло відсутнє в нічний час, а також у похмурі та дощові дні, сонячна енергія не може бути основним джерелом електроенергії. Проте, порівняно, наприклад, із вітрогенераторами, це все-таки більш стабільний варіант.

3. Висока вартість акумулювання енергії.

Акумуляторні батареї, що дозволяють накопичувати енергію і згладжувати нестабільність надходження сонячної енергії, наразі високо вартують.

4. Деяке забруднення навколишнього середовища.

Незважаючи на те, що в порівнянні з виробництвом і переробкою інших видів енергоресурсів сонячна енергія найбільш дружня до природного середовища, деякі технологічні процеси виготовлення сонячних панелей супроводжуються викидом парникових газів, трифторида азоту і гексафториду сірки [9].

Сучасні технології виробництва акумуляторних батарей також достатньо енергозатратні. Через це, наприклад, викиди CO₂ при виробництві акумуляторної батареї для електромобіля на 11-28 % перевищує викиди дизельного автомобільного двигуна за пробіг, відповідний термін експлуатації батареї [10].

5. Застосування дорогих і рідкісних компонентів.

При виробництві сонячних панелей застосовують, наприклад, телурид кадмію (CdTe) або селенід міді-індію галію (CIGS), які є рідкісними і дорогими речовинами, що тягне за собою подорожчання системи альтернативного енергопостачання загалом.

6. Мала щільність потужності.

Одним із важливих параметрів джерела електроенергії є середня щільність потужності, яка вимірюється в $\text{Вт}/\text{м}^2$ і характеризує кількість енергії, яку можна отримати з одиниці площі енергоносія. Для сонячного випромінювання цей показник становить $170 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Це більше, ніж у інших поновлюваних природних ресурсів, але нижче, ніж у нафти, газу, вугілля і в атомній енергетиці. Через це для вироблення електроенергії з сонячного тепла потрібна значна площа сонячних парків. Кожен 1 МВт потужності сонячної електростанції потребує відведення щонайменше $1,5 \text{ га}$ землі [9].

1.4 Перспективи сонячної енергетики в Україні

Сумарне річне надходження сонячної радіації на територію України оцінюється на рівні $720\text{-}1012 \text{ кВт}\cdot\text{год}$, що є еквівалентним $88,4 \text{ млрд}$ тонн умовного палива.

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні є еквівалентним 6 млн тонн умовного палива, а його використання дозволяє заощадити близько 5 млрд м^3 природного газу.

Карту середньорічних показників сонячного потенціалу України наведено на рисунку 1.2 [11].

Різниця в надходженні середньомісячної сумарної сонячної радіації за поступової зміни географічної широти по всій території України незначна, а різниця, яку слід враховувати при впровадженні геліотехнічного обладнання, спостерігається переважно між даними щодо надходження сумарної сонячної радіації в самих північних та самих південних регіонах України в літні місяці.

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що надходить на 1 м^2 поверхні, знаходиться в межах від $1070 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ у північній частині України до $1400 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ в Автономній Республіці Крим. По всій території України спостерігається рівномірний розподіл у межах цього діапазону з поступовим збільшенням у напрямку південних широт [1].



Росподіл питомої сумарної сонячної радіації на території України протягом року

Рисунок 1.2 - Карта середньорічних показників сонячного потенціалу України

В умовах нашого клімату сонячні системи, хоча і зі змінною ефективністю, можуть працювати впродовж усього року. З іншого боку фактори зовнішнього впливу такі як грози розподіляються, як показано на рис. 1.3. Грози є найбільш уразливим фактором для сонячних елементів.

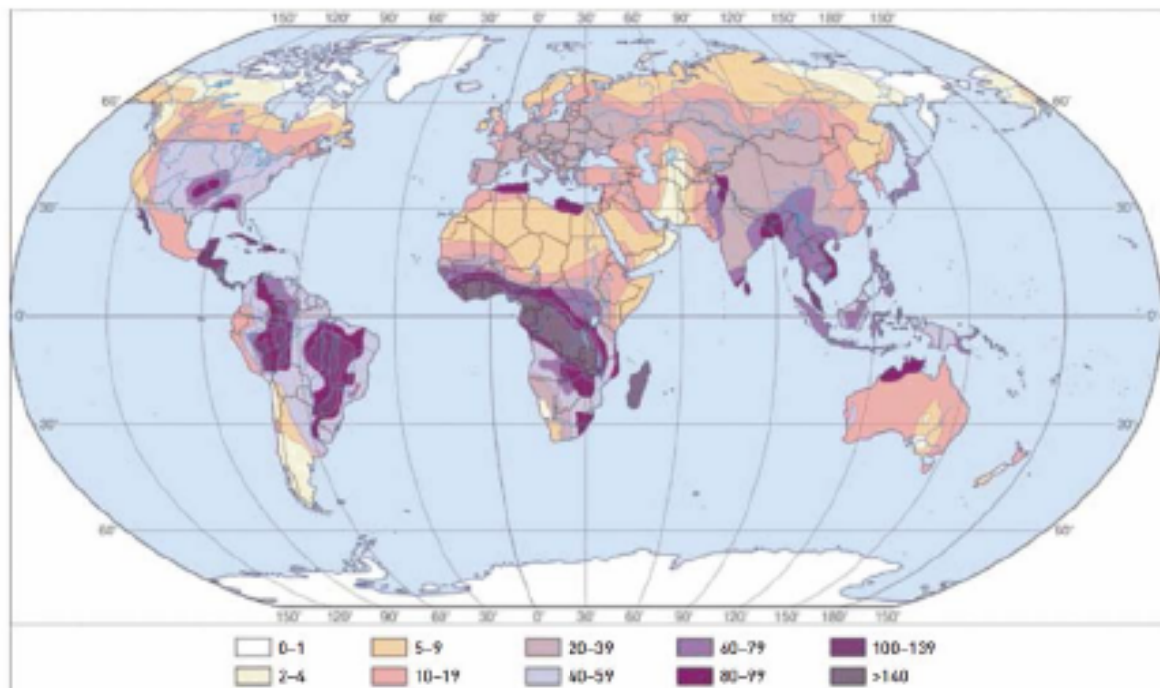


Рисунок 1.3 - Районування земної кулі по частоті гроз

2 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ

2.1 Загальні положення

Для того щоб провести аналіз систем захисту сонячних модулів треба розглянути фізичні основи фотоефекту та причини деградації модулів.

Процес перетворення сонячного світла (електромагнітного випромінювання) в електрику відрізняється від інших способів отримання електрики. Фотоелектричний (фотовольтаїчний) метод отримання електрики є повністю статичним - відсутні механічні переміщення деталей конструкції. Його фізичною основою є фотоефект, за якого вільні носії електричного заряду утворюються в результаті взаємодії напівпровідника зі світлом та всередині матеріалу виникає електричне поле.

Існує три види фотоефекту:

- 1) зовнішній, за якого електрони вириваються з поверхні тіл під дією світла;
- 2) внутрішній, за якого відбувається зміна електропровідності напівпровідників і діелектриків під дією світла;
- 3) фотоефект замикаючого шару (фотоефект на р-переході або вентильний фотоефект), за якого електрорушійна сила виникає на межі провідника і світлочутливого напівпровідника.

Для перетворення енергії світла в електрику практично може бути застосовано тільки фотоефект на р-переході.

Як світлочутлива зона фотоелементів використовуються селен (Se), кристалічний кремній (Si), аморфний кремній (SiGe) тощо.

Фотоефект утворюється, коли фотон (світловий промінь) падає на елемент із двох матеріалів із різним типом електричної провідності (діркової та електронної). Потрапивши в такий матеріал, фотон вибиває електрон з ковалентного зв'язку, утворюючи (генеруючи) два вільних заряди - від'ємний (власне, електрон) і позитивно заряджену дірку (незадіяний ковалентний зв'язок). У результаті рівновага р-переходу порушується, і в колі виникає

електричний струм. Спрощену конструкцію такого напівпровідникового приладу - фотоелемента - показано на рисунку 2.1 [12].

2.2 Фотоелемент на напівпровідниковому переході

Розглянемо процеси, що відбуваються в напівпровідниковому переході за його використання як фотоелемента (сонячного елемента) за його освітлення.

Отже, у фотоелементі під дією падаючого сонячного випромінювання відбувається просторовий перерозподіл зарядів і виникає е.р.с. Сьогодні переважна більшість фотоелементів є кремнієвими напівпровідниковими діодами [13].

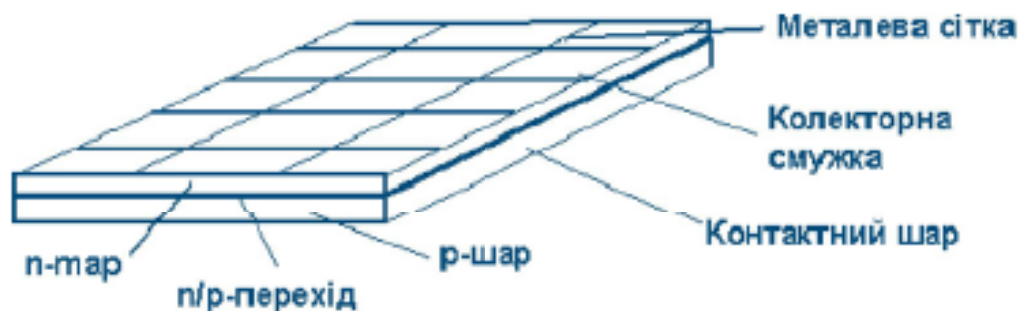


Рисунок 2.1 - Спрощена конструкція напівпровідникового фотоелемента

Схему вмикання напівпровідникового фотоелемента показано на рисунку 2.2.

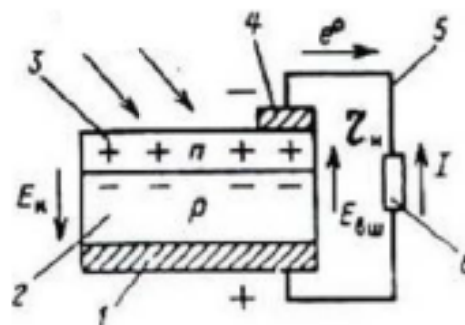


Рисунок 2.2 - Схема вмикання напівпровідникового фотоелемента

На металевий електрод (1) наноситься кристалічна кремнієва основа. Ця основа легована шляхом дифузії або іонного бомбардування в своїй

нижній частині домішковими (акцепторними) атомами бору або алюмінію, а у верхній, більш тонкій частині - донорними атомами фосфору або миш'яку. У результаті цього легування утворюється шар (2) напівпровідника р-типу з основними носіями зарядів позитивного типу (дірками) і тонкий шар (3) напівпровідника n-типу з основними носіями зарядів негативного знаку (вільними електронами). На лицьову сторону кристала кремнію наноситься лицьовий контакт - електрод (4). До електродів (1) і (4) приєднуються провідники (5), що утворюють зовнішній ланцюг із навантаженням (6) (або іншими фотоелементами, що з'єднуються паралельно у батарею).

При потраплянні світла на фотоелемент в шарах (2) і (3) відбувається просторова поява неосновних носіїв зарядів зі знаками, протилежними знакам основних носіїв в n- і р- областях - (відповідно зі знаком «+» і «-»). Під впливом отриманого електростатичного притягання вільні основні носії зарядів обох знаків дифундують через кордон контакту областей (2) і (3) та утворюють поблизу неї р-n-гетероперехід з напруженістю електричного поля E_k контактною різницею потенціалів $U_k = SE_k$ (де S- ширина прикордонного шару) і потенціальним енергетичним бар'єром $V_k = e - U_k$ для основних носіїв, що мають заряд електрона e. Напруженість наведеного електричного поля E_k перешкоджає дифузії електронів за межі прикордонного шару шириною S. Відповідно, контактна різниця потенціалів U_k може бути знайдена за формулою:

$$U_k = \frac{kT}{e^0} \ln \left(\frac{P_p}{P_n} \right) = \frac{kT}{e^0} \ln \left(\frac{n_n}{n_p} \right), \quad (2.1)$$

де k- постійна Больцмана; $k = (1,380\ 622 \pm 0,000\ 044)10^{-23}$ Дж /К; $e^0 = 1,602\ 189\ 2 \cdot 10^{-19}$ Кулонів - заряд електрона;

P_p і P_n - концентрація дірок і електронів в р- і n- областях.

При цьому n-область набуває негативного, а р-область позитивного заряду. Це еквівалентно прикладенню до р-n-переходу зовнішнього електричного поля з напруженістю $E_{вн}$, зустрічного з E_k . Поле напруженістю

$E_{\text{вн}}$ є запираючим для неосновних і рушійним для основних носіїв зарядів. Динамічна рівновага потоку носіїв через р-перехід веде до встановлення на електродах (1) і (4) різниці потенціалів U_0 - е.р.с. холостого ходу фотоелемента. Це явище в принципі може відбуватися і за відсутності потрапляння сонячного випромінення на фотоелемент. Якщо ж він опромінюється потоком фотонів (світлом), то фотони стикаються зі зв'язаними (валентними) електронами кристалу, що мають деякі енергетичні рівні E_p . Якщо енергія фотонів, що потрапляють на фотоелемент більша за E_p , то електрон кристалу покидає свій рівень і залишає «дірку» в кристалі. Пари електрон-дірка поділяються, р-перехід і е.р.с. U_0 збільшується. Енергія фотона E_f за формулою

$$E_f = h \nu, (2.2)$$

де ν , с^{-1} - частота хвилі опромінення,

h - постійна Планка (одна з основних фізики - вона відображає специфіку закономірностей в мікросвіті і відіграє фундаментальну роль в квантовій механіці; величина $h = (6,626\ 176 \pm 0,000\ 044) \cdot 10^{-34}$ Дж-с).

Якщо енергія фотонів менша за E_p , то наявність опромінення призводить тільки до нагрівання матеріалу фотоелемента. Крім того, для кожного напівпровідника існує і гранична енергія фотонів, коли подальше збільшення E_f не спричиняє більше зростання віддачі фотоелемента. У цьому випадку надмірна енергія фотонів, що перевищує так звану смугу поглинання, також іде лише на нагрівання фотоелемента. Зазначена смуга поглинання залежить від основного матеріалу фотоелемента, кількості і товщини шарів напівпровідника, їхнього розташування стосовно до падаючого світла, легуючих матеріалів тощо.

Як приклад на рисунку 2.3 представлено залежність максимальної очікуваної ефективності у відсотках одношарових фотоелементів із

різних матеріалів (Ge- германій; Si- кремній; GaAs- арсенід галію; CdTe- кадмій- телур; CdS- кадмій-селен), а також її залежність від температури.

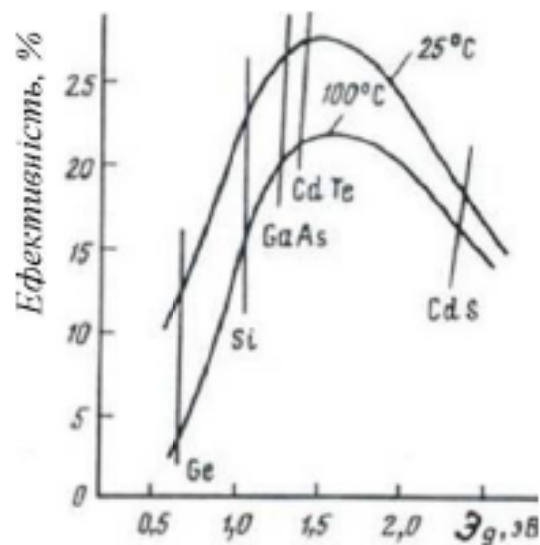


Рисунок 2.3 - Ефективність фотоелемента залежно від температури матеріалу

Видно, що при підвищенні температури ефективність будь-якого фотоелемента знижується. Разом з тим із найбільш поширених сьогодні матеріалів фотоелементів найкращі термічні характеристики має арсенід галію. На цьому ж рисунку показано і граничні значення E_f - забороненої зони для різних матеріалів напівпровідників.

Якщо в зовнішнє коло фотоелемента ввести деяке навантаження з опором $r_{\text{н}}$, то потече струм I , напрямом якого зустрічний рух електронів. Дірки ж переміщуються тільки в самому напівпровіднику.

Чим більша потужність опромінення, тим більший струм у зовнішньому ланцюгу. Однак його значення не може бути більшим за деяке граничне струму фотоелемента, який визначається переведенням усіх валентних електронів у вільний стан.

Загалом залежність струму фотоелемента I від його напруги U при заданому значенні потужності опромінення P (Вт/м^2), називається вольтамперною характеристикою (ВАХ) фотоелемента. Типову ВАХ подано на рисунку 2.4. Для неї можна виділити дві характерні точки - точка

холостого ходу (Х.Х.) (r_H ; $U_H = U_{H \max} = U_{KH}$; $I = 0$) і точка короткого замикання (К.З.), коли $\Gamma_H = 0$; $I = I^{\max} = I_{KЗ}$; $U = 0$.

Очевидно, що корисна потужність фотоелемента буде дорівнювати добутку $U_H I$, або $N_{CE} = U_H I$ і в точках Х.Х. і К.З. вона дорівнює нулю і досягає максимуму за деяких проміжних значень U_H та I . Чим у більшому діапазоні зберігається постійним значення $U_H I$, тим вище якість фотоелемента [14, 15].

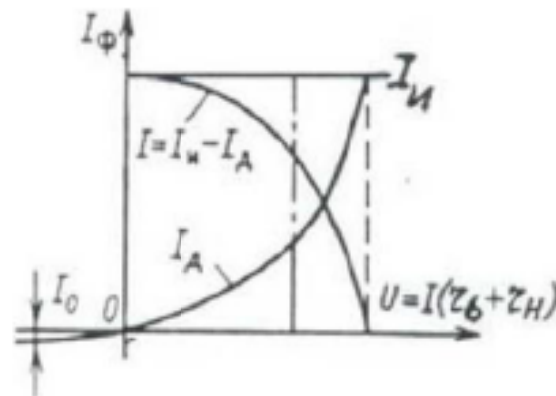


Рисунок 2.4 – ВАХ:

$I_H(U)$ – джерела струму; $I_A(U)$ – діода; I – фотоелемента за $R = const$

2.3 Матеріали сонячних елементів, їхні види і конструкція

2.3.1 Умови ефективної роботи сонячних елементів

Безпосереднє перетворення сонячної енергії в електричну забезпечують пристрої, що називаються фотоперетворювачами. Перетворення сонячного світла в електроенергію відбувається в напівпровідникових сонячних елементах, виготовлених, наприклад, із кремнію. З'єднуючи ці елементи в батареї, можна будувати великі фотоелектричні електростанції.

Ефективну роботу сонячних елементів забезпечує дотримання низки умов:

- оптичний коефіцієнт поглинання активного шару напівпровідника має бути достатньо великим, щоб забезпечити поглинання значної частини енергії сонячного світла в межах товщини шару;

- електрони і дірки, що генеруються за опромінення, мають ефективно збиратися на контактних електродах з обох сторін активного шару;
- сонячний елемент повинен мати значний потенціальний енергетичний бар'єр у р-ппереході;
- опір, увімкнений послідовно з сонячним елементом (виключаючи опір навантаження), має бути малим, щоб зменшити втрати потужності в процесі роботи;
- структура тонкої плівки має бути однорідною по всій активній області сонячного елемента, щоб виключити закорочування і вплив шпунтуючих опорів на характеристики елемента [16].

2.3.2 Види сонячних елементів

За матеріалом і технологією виробництва сонячні елементи можна поділити на такі види:

1) кремнієві:

- монокристалічні;
- полікристалічні;
- аморфні;

2) плівкові:

- на основі телуриду кадмію;
- на основі селеніду міді-індію;
- полімерні.

2.3.3 Кремнієві монокристалічні сонячні елементи

Більшість сонячних елементів роблять з кремнієвих підкладок, які можуть бути або монокристалічними, або мульткристалічними. Зазвичай монокристалічні підкладки мають кращі характеристики, але і більш високу вартість. Кристалічний кремній має впорядковану кристалічну структуру, в якій кожен атом знаходиться в точно визначеному місці. Поведінка

кристалічного кремнію добре передбачувано, однак, через повільність і складності процесу виробництва він є найдорожчим видом кремнію.

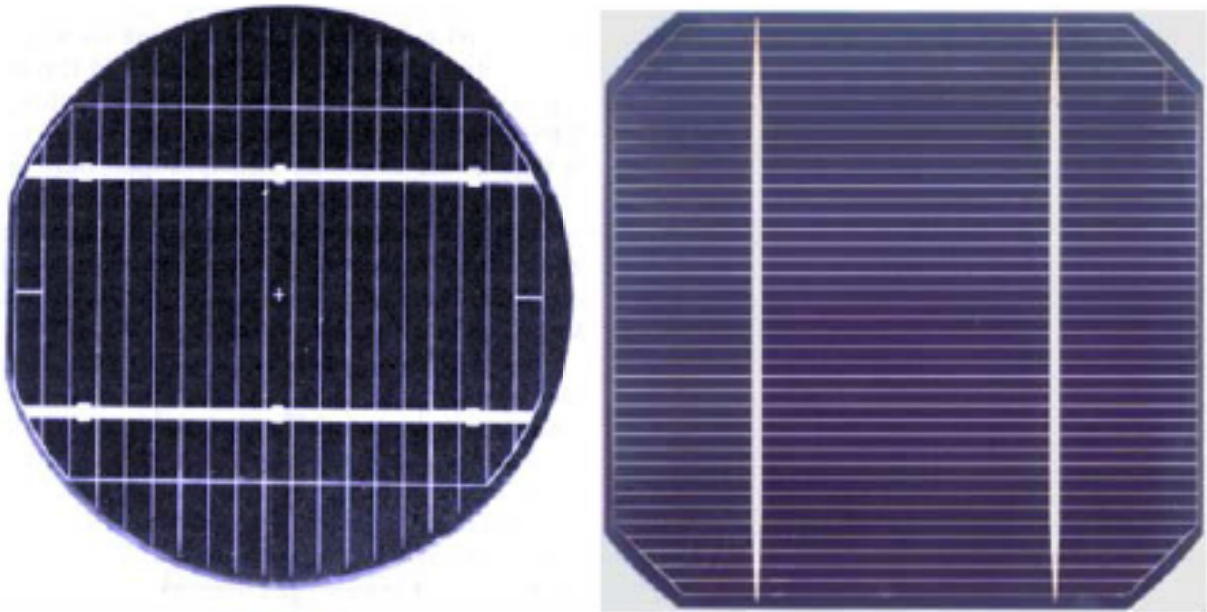


Рисунок 2.5 — Зразки сонячних комірок з монокристалічного Si

Монокристалічний кремній зазвичай вирощують у вигляді великих циліндричних зливок методом Чохральського, з яких роблять круглі або псевдовідратні сонячні елементи. Для виробництва монокристалічних кремнієвих сонячних елементів використовують очищений кремній. Після того як очищений монокристал твердне, його поділяють на супер тонкі пластини, товщина до 200-300 мкм. [17]

Готові пластини з'єднують тонкою сіткою з електродів у батареї. Такі батареї мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД) - до 20 %. Процес їхнього виготовлення технологічно складний і дорогий [18].

Середня площа, що її займає система у 1 кВт на базі монокристалічних панелей, становить 7 м². Сфери застосування найрізноманітніші, від міні котеджів і туристичних комплектів до мегаватних станцій. Найчастіше застосовується в проектах зі встановленою потужністю до 10 кВт.

Монокристал кремнію вирощують з рплаву, який образується після розплавлення навантаження кристалічного кремнію заданого складу. Отримані в результаті циліндричні стрижні нарізаються на диски товщиною

200±20 мкм. Потім диски піддаються ряду виробничих операцій, які перетворюють їх у власне монокристалічні фотоелементи:

- обточування, очищення і шліфування;
- захисні покриття;
- металізація.



Рисунок 2.6 — Зливкок, що вирощено за методом Чохральського

Традиційно монокристалічні модулі вставлені в алюмінієву рамку і закриті протиударним склом. Колір монокристалічних фото-елементів темно-синій або чорний [19]. Вигляд такої панелі показано на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 — Сонячний модуль з монокристалічного Si

Основний недолік монокристалічних фотоелементів - це висока вартість, $\sim 50\%$ якої становить ціна самого кремнію, обумовлена високою енергоємністю його отримання. Зниження потужності при затіненні або сильну хмарність - ще один істотний мінус цих фотоелементів.

2.3.4 Кремнієві полікристалічні сонячні елементи

Полікристалічні сонячні елементи виробляються на основі полікристалічного кремнію, отриманого методом повільного охолодження - спрямованої кристалізації і розпиляного на пластини. Середня площа, займана системою в 1 кВт на базі полікристалічних панелей становить $8,3 \text{ м}^2$ [19].

В цьому випадку для виробництва СБ використовується дешевший кремній, вироблений за методом спрямованої кристалізації в тиглі (block-cast). Зростання полікристалічних злитків досить простий процес, де кремній плавиться і охолоджується в тиглі. Спочатку тигель заповнюється твердими шматочками чистого кремнію, потім тигель нагрівають поки кремній не починати плавитися. Після повного плавлення кремнію, тигель повільно охолоджують, при цьому відбувається поступове зростання великих зерен.

Отриманий зливок видаляється з тигля і розрізається на менші блоки, які потім розрізають на пластини.

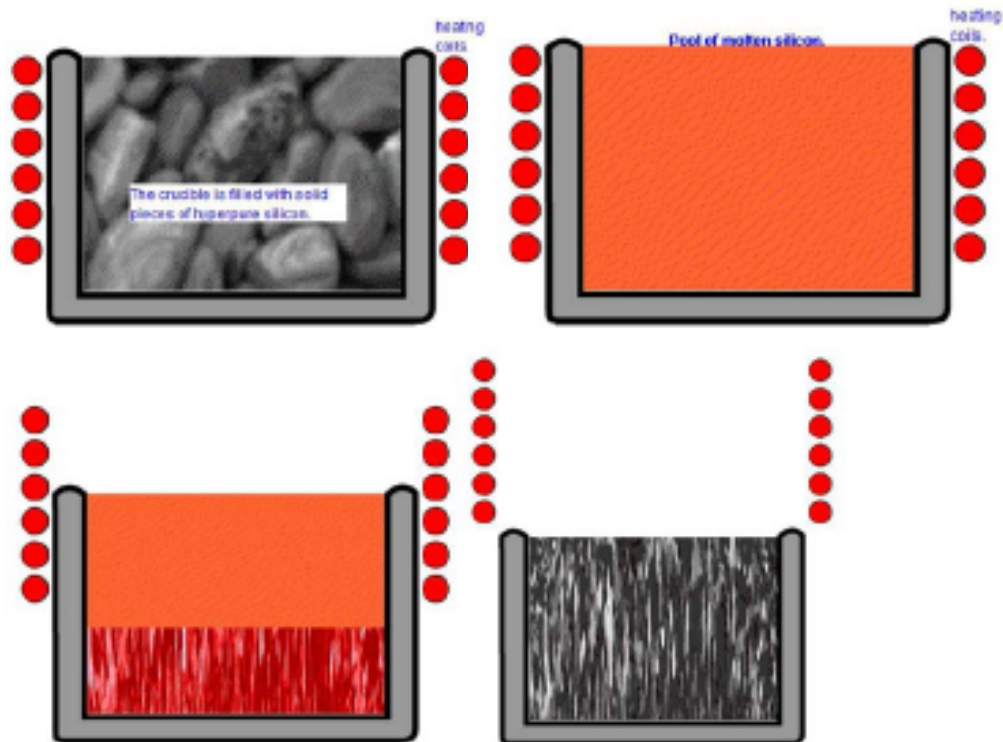


Рисунок 2.8— Схема метода направленої кристалізації кремнію

Отримані в результаті кремнієві пластини складаються з безлічі дрібних різноспрямованих кристалитів (типові розміри 1-10мм²) розділених кордонами зерен. Межі зерен створюють додаткові дефектні рівні в об'ємі напівпровідника, будучи локальними центрами з високою швидкістю рекомбінації, що призводить до зменшення загального часу життя неосновних носіїв. Крім того, межі зерен зменшують продуктивність виробу енергії, перешкоджаючи току носіїв і створюючи шунтуючі шляхи для струму, що тече через р-п перехід. Подібні неідеальній кристалічній структури (дефекти) призводять до зниження ефективності і меншого терміну експлуатації - до 10 років, однак і вартість їх нижче за рахунок меншої витрати енергії при виготовленні. До того ж, потужність полікристалічних фотоелементів залежить від затінення в меншій мірі, ніж монокристалічних.



Рисунок 2.9 — Вирощений зливok мультікристалічного кремнію

Щоб уникнути занадто великих рекомбінаційних втрат на межах зерен, розмір зерен повинен бути як мінімум кілька міліметрів. Ця умова також означає, що розміри одного зерна будуть більше, ніж товщина сонячного елемента, що зменшить опір току носіїв і загальну протяжність прикордонних областей в сонячному елементі. Такий полікристалічний кремній широко використовується в комерційних сонячних елементах.



Рисунок 2.10 — Решітка полікристалічного Si

На кордоні між двома кристалічними зернами існує напруга між зв'язками, які погіршують електронні властивості.

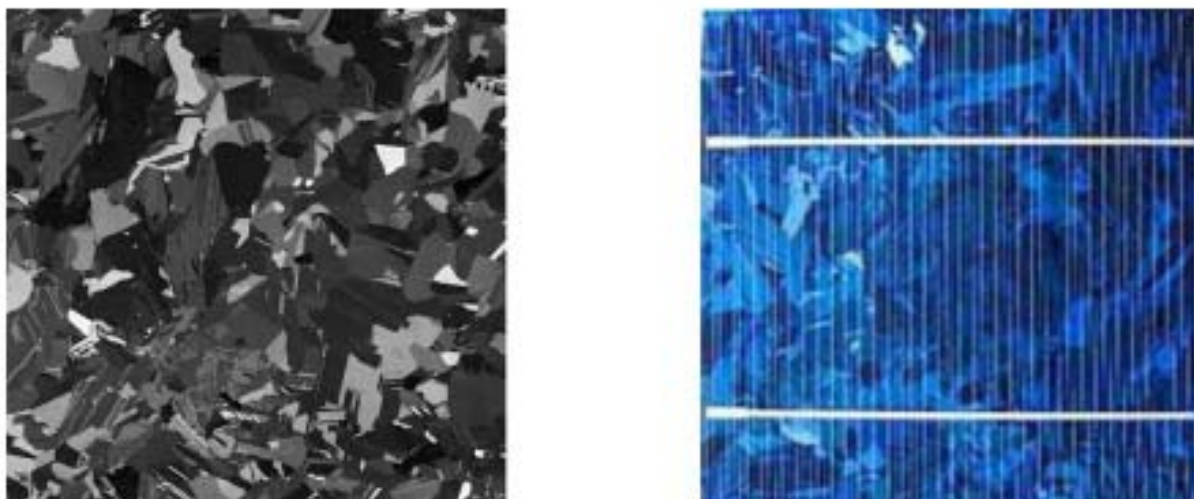


Рисунок 2.11 — Мультикристалічні пластина і сонячна комірка

Сонячні панелі з моно- і мультикристалічного кремнію на даний момент є найбільш затребуваними на ринку відновлюваної енергетики в порівнянні з іншими типами фотоперетворювачів.

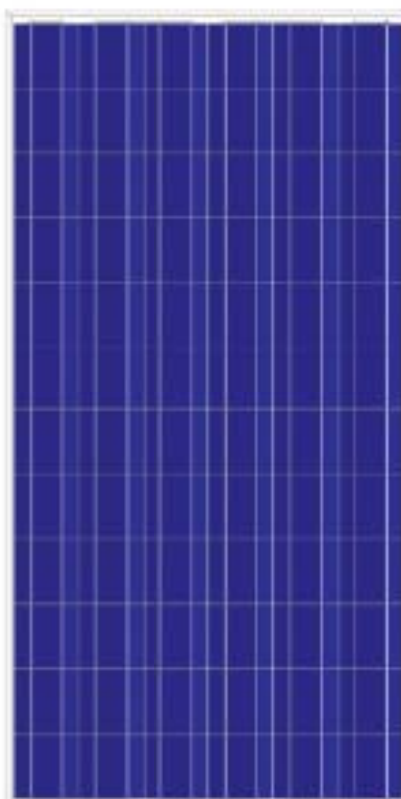
Головним постачальником сонячних панелей є Китай, де функціонують компанії, що пропонують сонячні панелі з оптимальним співвідношенням ціна/якість. У кліматичних умовах Білорусі популяризували панелі з полікристалічного кремнію, що пов'язано з досить високими показниками продуктивності в умовах похмурої погоди (розсіяного світла). Як правило, використовуються панелі номінальною потужністю 250-255 Вт для покрівельних станцій і 300-310 Вт для наземних станцій.

На наступному рис.2.12 представлена сонячна панель торгової марки «LEGINE» китайської компанії ZHEJIANG LIANGJING NEW ENERGY.

Сонячні панелі, що випускаються промислово для продажу, повинні мати сертифікат якості згідно міжнародної системи (ISO), сертифікати підтвердження якості (PЕ, TUV), що додаються до них протоколами випробувань.



А)



Б)

Рисунок 2.12 – Сонячна панель LEGINE

2.3.5 Сонячні елементи з аморфного кремнію

Цей вид сонячних елементів можна віднести як до кремнієвих (матеріал виготовлення - кремній), так і до плівкових, оскільки виготовлені вони за принципом виробництва плівкових батарей, але все ж відмінності є.

Тут використовуються не кристали кремнію, а так званий силан SiH_4 . Його наносять на підкладку в середині батарей. ККД таких сонячних батарей набагато нижчий від розглянутих вище і складає 5-12 % (теоретичний поріг - 16 %).

Проте є і переваги, серед яких:

- набагато краще оптичне поглинання (у 20 разів);
- краща робота за відсутності прямого сонячного опромінення (коли похмуро);
- еластичність панелей.

Вигляд сонячного елемента і панелі з аморфного кремнію наведено на рисунках 2.13 і 2.14 відповідно.

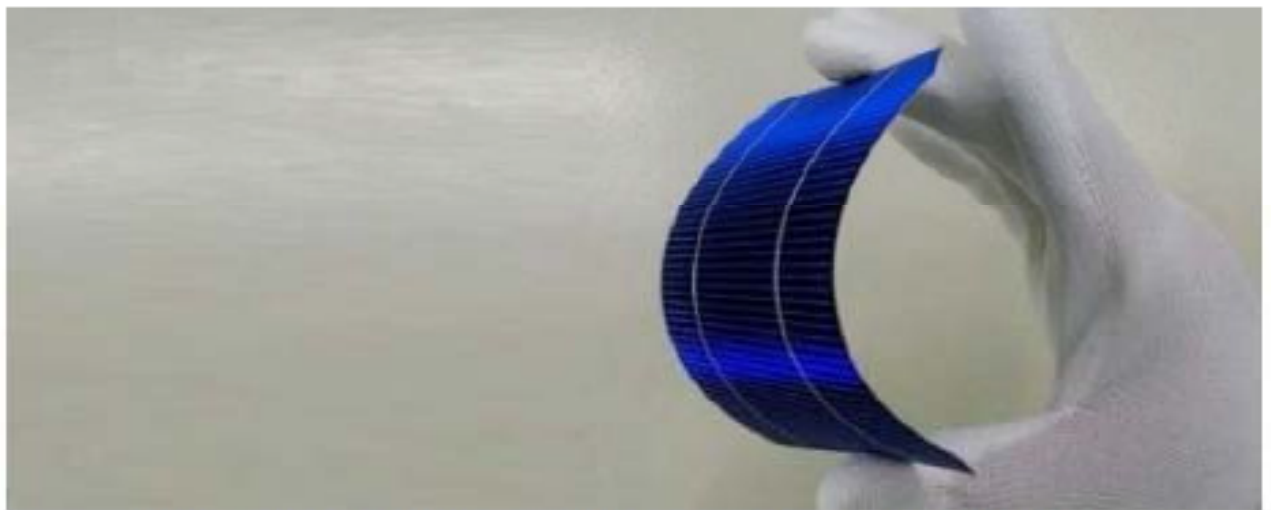


Рисунок 2.13 - Сонячний елемент з аморфного кремнію [23]

Бувають також поєднання моно- і полікристалічних панелей з аморфними. Таке поєднання дозволяє з'єднати переваги двох різних типів. Наприклад, батареї краще працюють, коли сонця недостатньо для звичайних кристалічних батарей [18].

2.3.6 Плівкові сонячні елементи на основі телуриду кадмію

Плівкові панелі є наступним кроком у розвитку джерел живлення на сонячній енергії. Крок, який продиктований насамперед необхідністю

зниження цін на виробництво батарей і прагненням до підвищення їхньої енергоефективності.



Рисунок 2.14 - Сонячна панель з аморфного кремнію [24]

Кадмій - це матеріал, що має високий рівень світлопоглинання. Як матеріал для сонячних батарей космічної галузі був відкритий в 70-х роках минулого століття. На сьогоднішній день він застосовується вже не тільки в космосі, а й активно використовується в сонячних панелях звичайного, домашнього користування.

Найголовнішою проблемою у використанні кадмію є його отруйність. Однак дослідження говорять про те, що рівень забруднення, що йде в атмосферу, занадто малий, щоб завдавати шкоди здоров'ю людини.

Незважаючи на низький ККД близько 10 %, вартість одиниці потужності в таких батареях менша, ніж у аналогів [18].

2.3.7 Плівкові сонячні елементи на основі селеніду міді-індію

У таких сонячних елементах використовують селенід, мідь, індій. Деякі з компаній замінюють невелику кількість елементів індію галієм. Причиною

такого підходу є застосування його у виробництві плоских моніторів. Галій має схожі властивості, однак ККД панелі менший.

Сонячна батарея на основі селеніду міді-індію здатна перетворити 15-20 % падаючого на неї сонячного випромінювання в електричну енергію. За ККД цей вид мало відстає від монокристалічної кремнієвої батареї. Основним недоліком цього виду панелей є велика вартість, що зумовлена використанням міді та індію [25].

2.3.8 Плівкові полімерні сонячні панелі

Полімерні сонячні батареї - новітні установки створенні для перетворення світлової енергії в електричну. На відміну від традиційних варіантів панелей вони не використовують в своєму складі кремнію, а створені на основі спеціальної плівки, полімерів і електродів з алюмінію.

Особливості полімерної сонячної батареї:

1) дешевизна: ціна на полімерні сонячні батареї приблизно в два рази менша, аніж на кристалічні варіанти;

2) зручність: полімерні сонячні панелі можна легко гнути, різати ножем чи клеїти на будь-які поверхні, що дозволяє використовувати такі установки в будь-яких похідних умовах, підвищити їхню мобільність і навіть заряджати пристрої на ходу;

3) екологічне виробництво: виготовлення полімерних панелей повністю безпечно для навколишнього середовища - за дослідженнями вчених, викиди від виготовлення таких установок на 3/4 менше, ніж від кремнієвих варіантів;

4) не надто високий коефіцієнт корисної дії: поки що максимум, чого вдалося досягти вченим - лише 5-6 %. Це менше, аніж у кремнієвих аналогів, але прогрес не стоїть на місці і полімерні сонячні батареї постійно розвиваються, що дозволяє стверджувати про створення в найближчому майбутньому моделей потужніших за кремнієві аналоги.

Вигляд полімерних сонячних панелей наведено на рисунку 2.15.



Рисунок 2.15 - Полімерні сонячні панелі [27]

2.3.9 Тонкоплівкові фотовольтажні модулі

Тонкоплівкові фотовольтажні модулі фірми Thin Film Technology є найпродуктивнішими сонячними батареями з доступних в Україні. Їхній ККД близький до 25 %.

Виготовляються вони за передовою американською технологією всього на декількох заводах у світі.

Одною з головних переваг цих панелей є вироблення енергії за розсіяного сонячного світла і в похмуру погоду. Обмеженням є площа, яку вони займають, оскільки 1 кВт встановленої потужності займе 18,3 м².

Значною перевагою також є те, що ці панелі працюють при 3,6 А і 70 В відповідно. Тоді як традиційні сонячні фотомодулі використовують значення струму 8 А і напруги 30 В.

Отже, ці модулі має сенс встановлювати на об'єктах, де сумарна встановлена потужність повинна перевищувати 10 кВт. Фактична продуктивність 10 кВт системи в годину становить 2,5 кВт електричної

енергії. Тому основним призначенням цих модулів є генерація енергії в промислових обсягах.

Цей фактор впливає також на те, що вони нагріваються приблизно в чотири рази менше.

Також панелі довговічні, не мають металевих частин - важать в 2 рази менше, ніж традиційні фотомодулі.

Вигляд тонкоплівкового сонячного елемента наведено на рисунку 2.16.

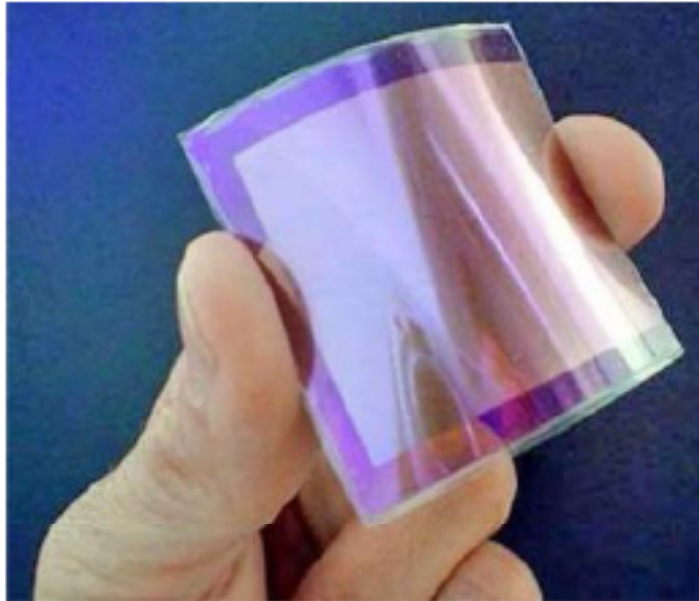


Рисунок 2.16 - Тонкоплівковий фотовольтажний модуль [28]

Побудова сонячних станцій на базі тонкоплівкових фотовольтажних модулів дозволяє досягти максимального ефекту за мінімальних інвестицій. Продуктивність станції, побудованої на основі Thin Film Technology, збільшується на 30 % порівняно з монокристалічними Si панелями і на 50 % порівняно з полікристалічними [19].

2.3.10 Арсенід-галієві фотовольтажні модулі

Фотоелектричні перетворювачі на основі сполуки миш'яку з галієм (GaAs), як відомо, мають більш високий теоретичний ККД, ніж кремнієві. Це забезпечується за рахунок більшої ширини спектру поглинання сонячного випромінювання.

Такі перетворювачі мають значно меншу порівняно з кремнієм товщину. Принципово досить мати товщину 5-6 мкм для отримання ККД порядку не менше 20 %, тоді як товщина кремнієвих елементів не може бути меншою за 50-100 мкм без помітного зниження їхнього ККД. Це дозволяє розраховувати на створення легких плівкових фотоперетворювачів, для виробництва яких потрібно порівняно мало вихідного матеріалу.

Експериментальні залежності ККД від температури говорять про те, що підвищення температури останніх до 150-180 °С не призводить до істотного зниження їхнього ККД і оптимальної питомої потужності. У той же час для кремнієвих елементів підвищення температури вище 60-70 °С є майже критичним - їхній ККД падає вдвічі.

Проте, на відміну від кремнію, галій є вельми дефіцитним матеріалом, технологія одержання GaAs вельми доріжча в порівнянні з кремнієвою, що обмежує можливості виробництва фотоелектричних перетворювачів на основі GaAs в кількостях, необхідних для широкого впровадження. Широко їх застосовують у космічній галузі де, зрозуміло, ефективність і маса устаткування мають вирішальне значення.

3 АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ

3.1 Аналіз факторів ризику

Установка сонячних панелей (фотоелектричної системи) є одним з найбільш популярних методів автономної (або додаткової) електрифікації об'єктів.

У зв'язку з настільки стрімким розвитком сонячної енергетики, особливо актуальним стає питання про захист даної системи від різних негативних впливів.

Оскільки сонячні панелі найчастіше встановлюються на даху будівлі або на іншій відкритій ділянці простору, необхідно в першу чергу забезпечити їх захист від блискавки і захист від імпульсних перенапруг.

При виборі захисних заходів потрібно в першу чергу пам'ятати, що тільки комплексний підхід до організації як зовнішнього, так і внутрішнього блискавкозахисту може забезпечити збереження дорогого обладнання фотоелектричної системи від наслідків грозової діяльності.

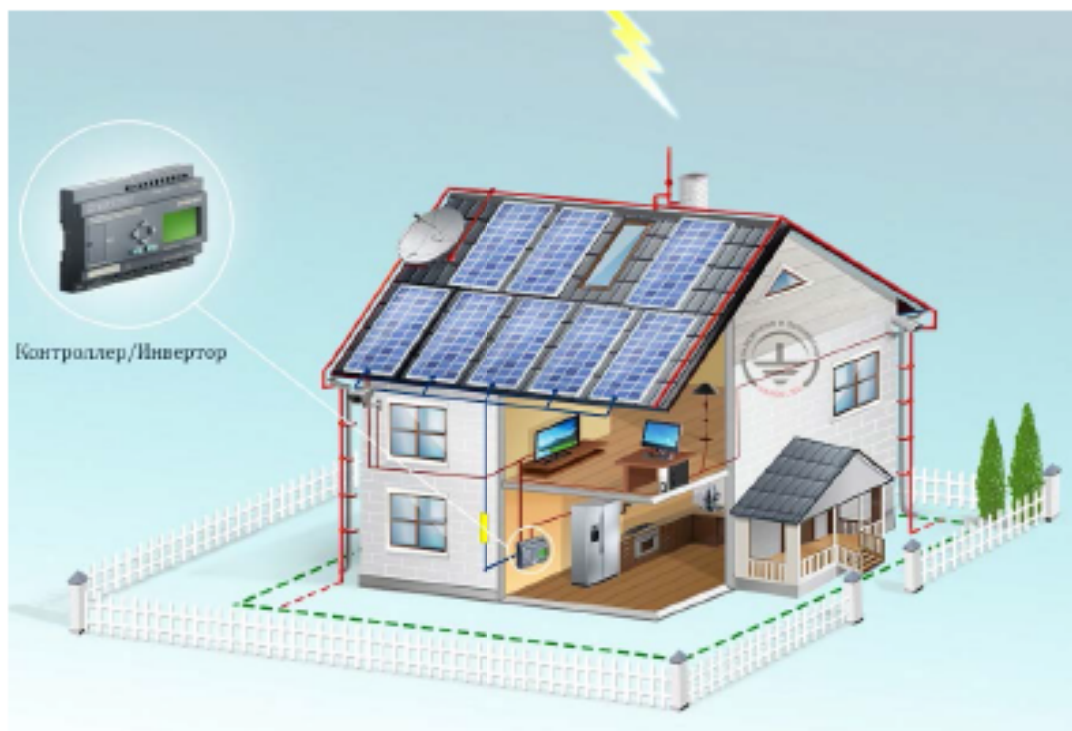


Рисунок 3.1 – Приклад захисту від блискавки

В першу чергу необхідно організувати систему зовнішнього блискавкозахисту, що забезпечує потрапляння всієї зовнішньої частини фотоелектричної системи в захисну зону.

Крім того, необхідно врахувати деякі специфічні особливості об'єкта, що оснащено фотоелектричною системою. Блископриймальні стрижні повинні бути віддалені від сонячних панелей таким чином, щоб запобігти впливу струмів блискавки на систему. Мінімальна рекомендована відстань між цими елементами - 0,5м (див. рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Приклад проведення заземлення

Якщо неможливо витримати рекомендовану відстань, необхідно виконати пряме електричне з'єднання між системою зовнішнього блискавкозахисту і рамою сонячних панелей. Це необхідно, щоб запобігти протікання струмів через рамну конструкцію панелей. Отже, електричне з'єднання повинно бути виконано тільки з одного боку, переважно якомога ближче до струмовідводів.

Установка на відкритій місцевості, часто значної площі, - типове рішення для розміщення фотоелектричних станцій (сонячних електростанцій). І це зовсім не дивно, адже сонячні панелі, чи стосується це домашнього господарства або великої промислової станції, завжди повинні

бути розташовані так, щоб приймати максимум сонячного випромінювання на свою поверхню [27].

А як ще цього домогтися, якщо не розташуванням панелей відповідно до робочої площі їх модулів? Ось і виходить що для розміщення панелей підходять лише такі місця як покрівлю будівлі, дах будинку або відкрите поле. В таких умовах, зрозуміло, існує високий ризик потрапляння в станцію блискавки, що може миттєво привести до пошкодження дорогого обладнання.



Рисунок 3.3 – Ураження блискавкою сонячної батареї

У зв'язку з цим сонячні електростанції необхідно обладнати захистом від блискавки, принцип побудови якої схожий з захистом від блискавки будь-якого іншого об'єкта. Перш ніж зводити блискавкозахист для панелей, визначають клас блискавкозахисту самого об'єкта, на якому дані панелі встановлені.

Якщо ж панелі розташовуються не на будівлі, а в поле або на майданчику, то їх відносять до категорії II або III блискавкозахисту, в залежності від конкретної конструкції і її призначення.

Взагалі II категорія відноситься до виробничих об'єктів на місцевості, де блискавка має середню тривалість 10 і більше годин на рік, а III категорія -

до тих, які розташовуються на місцевості, де середня тривалість впливу грози 20 і більше годин на рік. Далі для розрахунку зони захисту звертаються до нормативних документів СО-34.21.122-2003 та РД 34.21.122-87.

Найбільше ризику ураження блискавками схильні сонячні панелі, розташовані на відкритій місцевості. Таким станціям потрібні тросові або стрижневі молнієприймники, здатні перекрити належну зону захисту і попередити таким чином пряме попадання блискавки в обладнання.

Якщо ж станція розташовується на даху будівлі або взагалі на покрівлі якогось об'єкту, який також необхідно оснастити захистом від блискавки, то блискавкозахист споруди просто зводиться з урахуванням розташування на ньому сонячних панелей.



Рисунок 3.4 - Розташування блискавкозахисту сонячних панелей

Великі і потужні сонячні електростанції суттєвої площі, що зводяться зазвичай в полях або на спеціальних майданчиках, як правило мають на своїй території окремо розташовані будівлі, в яких встановлено інвертори, контролери, стабілізатори та інше важливе для роботи станції обладнання,

яке складає леву частку вартості всієї системи.

Безумовно, самі панелі теж потребують захисту від прямого попадання розряду блискавки. Тут необхідно прийняти до уваги аналіз грозової активності на місцевості. Оскільки панелей зазвичай багато, то на такій станції обов'язково роблять і систему зрівнювання потенціалів.



Рисунок 3.5 - Сонячні панелі на даху будівлі з захістним заземленням

Система зовнішнього блискавкозахисту сонячної станції - найважливіша частина захисної конструкції. Вона покликана захистити станцію зовні, сформувавши захисну зону. Її розрахунок проводиться за згаданими вище нормативним документам.

Далі важливо врахувати специфіку всього об'єкту. Так, блискавкоуловлюючі стрижні встановлюють на віддалі від панелей, - на мінімальній відстані в 0,5 метра, - щоб струм блискавки (в разі її потрапляння в стрижень) не зміг би надати згубного впливу на систему [28].

Якщо ж мінімальну відстань в силу конструктивних особливостей витримати неможливо, то влаштовують пряме електричне з'єднання зовнішнього блискавкозахисту і рами сонячних панелей. З'єднання робиться з одного боку і як можна ближче до струмовідводів, щоб уникнути протікання прирівнюють струмів через рами панелей.

3.2 Захист від перенапруг

Найбільш уразливими і найбільш дорогими елементами фотоелектричної системи є контролер та інвертор, тому в першу чергу необхідно забезпечити їх захист по стороні постійного струму.

Слід звернути увагу, що номінальна напруга ПЗП має бути на 20% більше напружень розімкнутого ланцюга (холостого ходу U_{oc} чи U_{xx}) сонячної батареї. Ця напруга вважається як сум кожної панелі (при послідовному їх з'єднанні). U_{oc} має бути зазначено виробником сонячних модулів в технічних характеристиках.

Місце установки ПЗП - перед контролером або перед інвертором, якщо він включає в себе функції контролера.

Для застосування в мережах постійного струму пропонується кілька серій ПЗП, розрахованих на номінальну напругу від 48 до 1000 В.

ПЗП:

EnerPro48V/100A-Tr	48 В
EnerPro CV 2P 65V/63A-LED	65 В
EnerPro CV 2P 100V/63A-LED	100 В
СТ PV-T2/2-0/600	600 В
СТ PV-T2/2-0/1000	1000 В

На цей час в якості захисних елементів також використовуються варистори.

Переваги варисторів:

- Кращий рівень захисту протягом всього часу незалежно від амплітуд і крутизни завдяки високій динаміці поведінки варисторів.
- Варистори працюють швидше, ніж газовий розрядник і захищають також більш низькі амплітуди і крутизну імпульсу.

Аргументація DC УЗІП:

- Y-з'єднання являє собою симетричний ланцюг і має захист лінії між лінією (DC +) до лінії (DC) і лінією (DC +/-) до землі завдяки варистором.
- Струм витoku дуже малий, $I_{PE} \leq 20 \text{ мкА}$, цей струм тече тільки через ємність і не представляє енергоспоживання (тільки реактивна потужність).
- Захист від перенапруги завдяки постійному часу, не залежному від амплітуди і крутизни імпульсу, завдяки високій динаміці поведінку варистора. (Варистор швидше ніж газовий розрядник і захищає нижчі амплітуди і крутизну).



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд та схема Y-з'єднання.

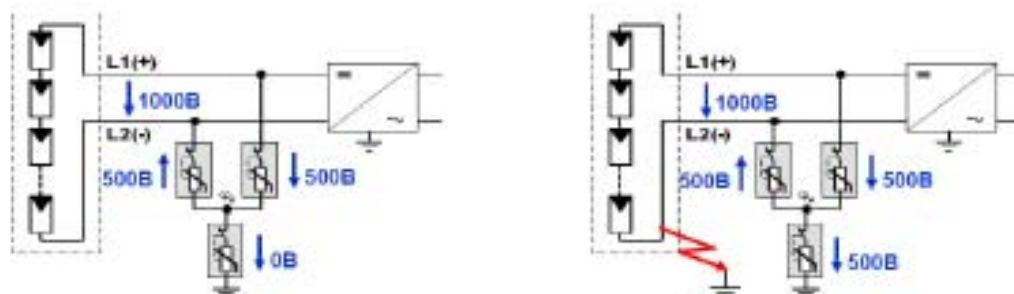


Рисунок 3.7 – Розподіл напруг при Y-з'єднанні.

Для організації комплексного захисту необхідно так само встановити ПЗП класу 2 на виході інвертора (по стороні змінного струму). Для цих цілей рекомендується використовувати, наприклад, такий пристрій:

EL-T2 / 4 + 0-275

EL-T2 / 4 + 0-275

LE-388-109

Небезпечний імпульс перенапруги може потрапити в устаткування і з боку джерела змінного струму, тому в головний розподільний щит рекомендовано встановити комбінований ПЗП PowerPro BCD класу 1 + 2 + 3. Одного такого пристрою досить, щоб захистити обладнання в будинку.

3.3 Розробка математичної моделі сонячного модуля

Ураження блискавкою лише один з зовнішніх факторів впливу на сонячні батареї. Другий з найбільш критичних факторів це захист від пилу, який покриває поверхню модулів та приводить до зменшення виработки енергії. Останній фактор неможливо повністю виключити, тому проведемо розробку математичної моделі за допомогою якої можна спрогнозувати втрати енергії залежно від долі світла. Це дозволить спрогнозувати з якою періодичністю та в який час треба приймати заходи щодо очищення сонячних модулів.

3.3.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для моделювання

Оскільки натурні експериментальні дослідження, по-перше, збільшують фінансові витрати і терміни розробки, і, по-друге, не дозволяють провести всеосяжні дослідження, а традиційні методи проектування та дослідження в ряді випадків не ефективні, найбільш доцільним видається використання математичного моделювання в програмі Matlab [29].

Одним з найважливіших і гідно оцінених якостей системи Matlab є можливість її модифікації з метою вирішення нових науково-технічних завдань, які у досталь з'являються завдяки прогресу в науці, техніці та освіті. Перш за все, це досягається створенням цілого ряду пакетів розширення системи, які охоплюють багато нові й практично корисні напрямки комп'ютерної математики. У системі Matlab число цих пакетів становить вже багато десятків, а документація по ним налічує десятки тисяч сторінок.

Серйозними перевагами середовища Matlab є її відкритість і розширюваність. Більшість команд і функцій системи реалізовані у вигляді текстових m-файлів (файлів з розширенням .m) і файлів на мові Сі, причому всі файли доступні для модифікації. Це дозволяє користувачеві створювати свої бібліотеки файлів, формуючи, таким чином, власне предметно-орієнтоване середовище моделювання.

Пакет Simulink є ядром інтерактивного програмного комплексу, призначеного для математичного моделювання лінійних і нелінійних динамічних систем і пристроїв, представлених своєю функціональною блок-схемою, іменованої S-моделлю, або просто моделлю. При цьому можливі різні варіанти моделювання: у часовій області, в частотній області, з подієвим управлінням, на основі спектральних перетворень Фур'є, з використанням методу Монте-Карло (реакція на впливу випадкового характеру) і т. і.

Simulink автоматизує наступний, найбільш трудомісткий етап моделювання: він складає і вирішує складні системи алгебраїчних і диференціальних рівнянь, що описують задану функціональну схему (модель), забезпечуючи зручний і наочний візуальний контроль за поведінкою створеного користувачем віртуального пристрою. Користувачу достатньо уточнити (якщо потрібно) вид аналізу і запустити Simulink в режимі симуляції (звідки і назва пакета - Simulink) створеної моделі системи або пристрою. Також користувач має змогу вибрати спосіб зміни модельного часу (з фіксованим або змінним кроком), що дозволяє проводити

моделювання для широкого кола систем, що включають безперервні, дискретні і гібридні системи будь-якої розмірності.

Засоби візуалізації дають можливість стежити за процесами, що відбуваються в системі. Для цього використовуються спеціальні пристрої спостереження, що входять до складу бібліотеки Simulink. Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді графіків або таблиць. Базова бібліотека Simulink містить більше 200 блоків, що найчастіше зустрічаються при моделюванні різних систем. Бібліотеки блоків MATLAB/Simulink можуть поповнюватися за рахунок підпрограм, написаних як на мові середовища MATLAB, так і на мовах C, C++, Fortran і Ada [29].

Модель сонячного модуля, що створюються за допомогою пакету Simulink, є ієрархічна система, яка може формуватися в процесі їхньої розробки як у висхідному за рівнем ієрархії, так і в спадному порядку. При розгляді існуючої Simulink-моделі на вищому рівні, подвійним клацанням миші по будь-якому з вхідних в неї складових блоків можна перейти на більш низький ієрархічний рівень і розглядати блок-схему відповідної підсистеми. Це зручно при корегуванні параметрами блоків за для отримання необхідних вихідних характеристик.

Подібний підхід повністю відповідає ідеології компонентного та структурного моделювання і дозволяє виключно наочно уявити функціональну структуру модельованої системи, уникнути помилок і підвищити надійність комп'ютерної моделі.

3.3.2 Математична модель сонячного елемента

Фотоелектрична (PV) модель генератора зазвичай заснована на електричних характеристиках, тобто, поточне відношення напруги, осередки під різними рівнями випромінювання і при різній температурі осередку. Найпростіша еквівалентна схема сонячної батареї – джерело струму паралельно з діодом. Вивод джерела струму прямо пропорційний до світла, що падає на фототок осередку. Під час темряви сонячна батарея не активна;

вона працює як діод, тобто р-п переходом. Це не робить ні струму, ні напруги. Таким чином математична модель фотоелектричного генератора заснована на еквівалентній схемі одного діода, показаного на рис. 3.8.

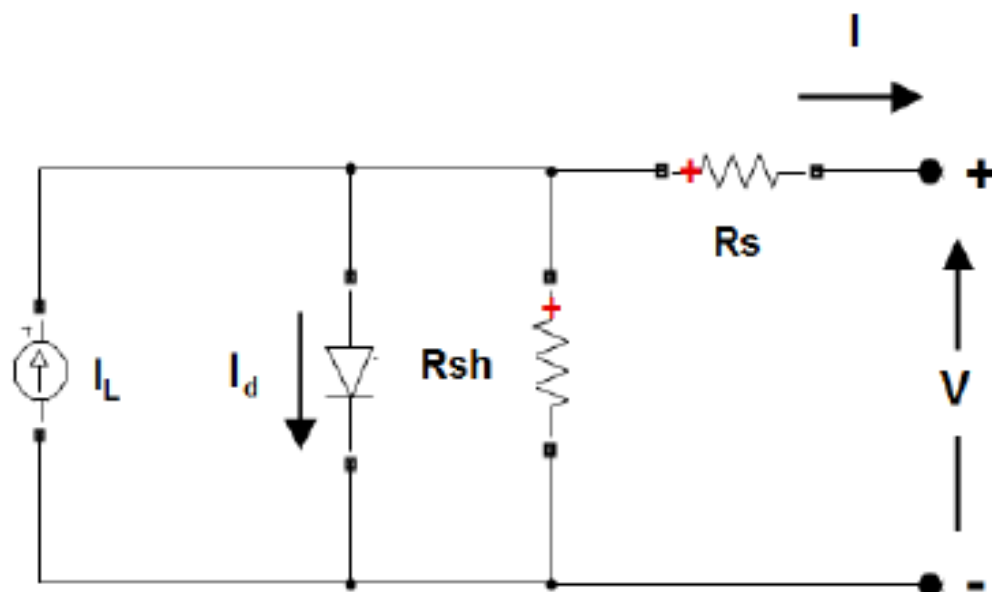


Рисунок 3.8 - Математична модель сонячного елемента.

Вольт-амперні характеристики для окремого модуля визначаються рівняннями

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{V}{A \cdot N_s \cdot V_T}\right) - 1 \right]$$

де

$$V_T = k \cdot T_c / q$$

де

I_0 - зворотний струм насичення або витoku діода (А),

$V_{Tc} = 26$ мВ при 300 К для кремнієвого елемента,

T_c - фактична температура елемента (К),

k Постійна Больцмана $1,381 \times 10^{-23}$ Дж / К,

q дорівнює заряд електрона ($1,602 \times 10^{-19}$ С).

Насправді не можна нехтувати послідовним опором R_s і паралельним опором R_p через їх впливу на ефективність фотоелемента і фотоелектричного модуля. При обліку R_s рівняння має мати такий вигляд:

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{V + I \cdot R_s}{a}\right) - 1 \right]$$

3. Визначення параметрів

Число опцій залежить від обраної моделі і припущень, прийнятих дослідниками. Прийнемо умовне позначення I_L як I_{ph} , R_{sh} як R_p . Наприклад, в Beckman і De Soto (2006) вважається, що I_{ph} , I_0 , R_s , R_p і ідеальність фактора - це п'ять параметрів, які залежать від падаючого сонячного випромінювання і температури елемента. У той час як в Bryan (1999) і Townsend (1989) невідомими параметрами є I_{ph} , I_0 , R_s і y , де $y = A \cdot NS$.

У цій роботі необхідно оцінити чотири параметри: I_{ph} , I_0 .

3.3.2.2 Визначення I_{ph}

Згідно рис. 1а, вихідний струм в стандартних умовах випробувань (STC) становить:

$$I_{sc,ref} = I_{ph,ref} - I_{0,ref} \left[\exp\left(\frac{0}{a_{ref}}\right) - 1 \right] = I_{ph,ref} \quad (1)$$

Це рівняння дозволяє кількісно визначити $I_{ph,ref}$, який не можна визначити інакше. При короткому замиканні фотоелемента:

$$I_{sc,ref} = I_{ph,ref} - I_{0,ref} \left[\exp\left(\frac{0}{a_{ref}}\right) - 1 \right] = I_{ph,ref}$$

Але це рівняння справедливе тільки в ідеальному випадку. Значить, рівність невірно. І тоді рівняння (10) має бути записано як:

$$I_{ph,ref} \sim I_{sc,ref}$$

Фотострум залежить як від освітленості, так і від температури:

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} (I_{ph,ref} + \mu_{sc} \cdot \Delta T) \quad (2)$$

де G - енергія випромінювання ($\text{Вт}/\text{м}^2$),

G_{ref} : енергетична освітленість при $\text{STC} = 1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$,

$\Delta T = T_c - T_s$, еталон (Кельвін),

T_s , еталон: температура осередку при $\text{STC} = 25 + 273 = 298 \text{ К}$,

μ_{SC} : коефіцієнт струм короткого замикання ($\text{А}/\text{К}$), наданий виробником,

$I_{\text{ph, ref}}$: Фотострум (А) на STC .

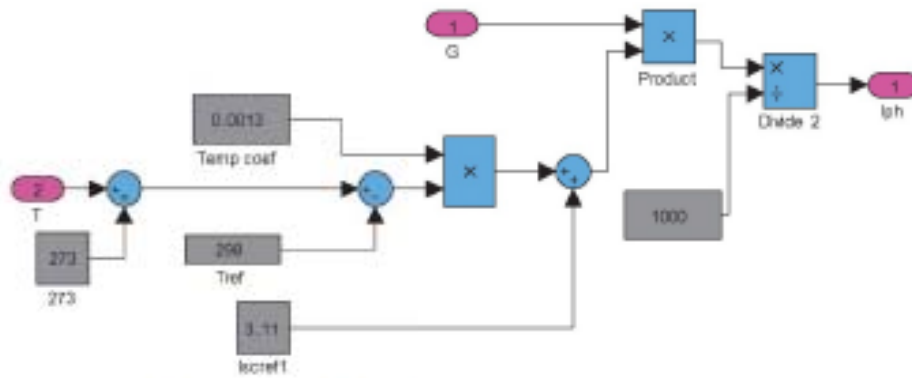
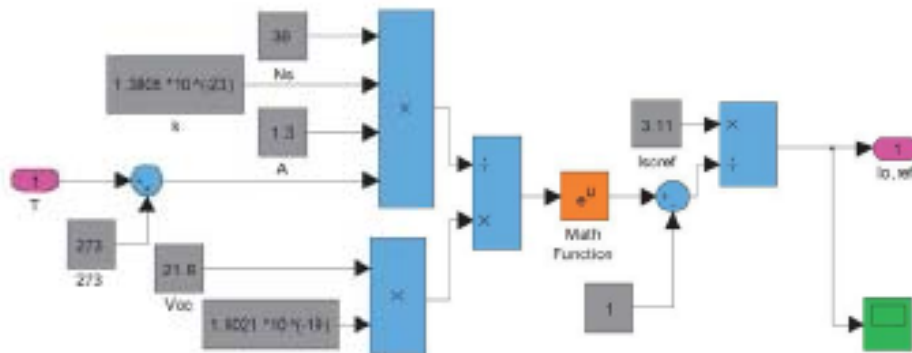
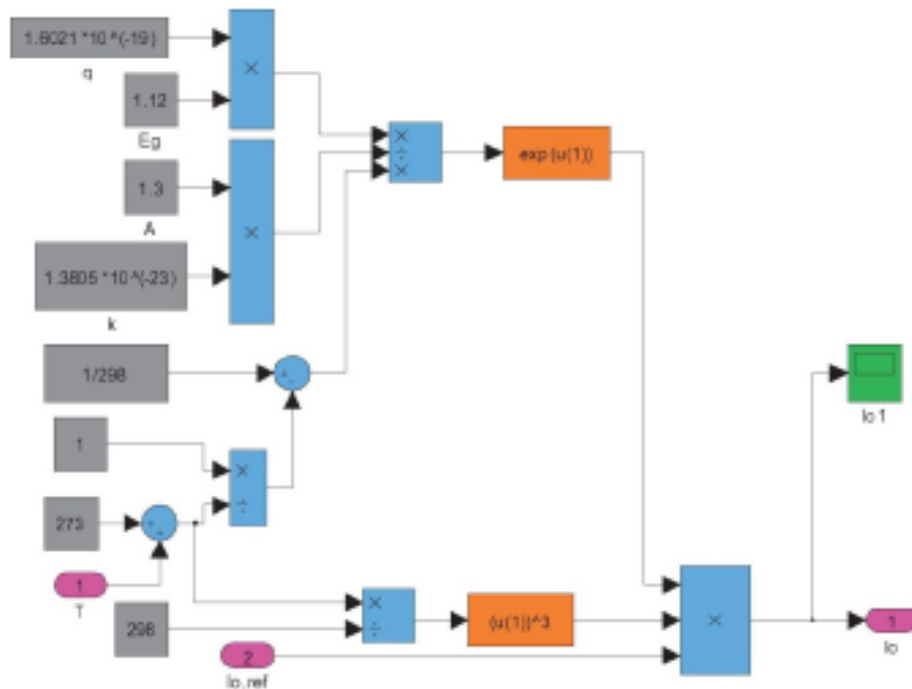
3.3.2.3 Завдання I_0

Шунтуючі опір R_P зазвичай вважається великим, тому останній член співвідношення (1) слід виключити для наступного наближення. Застосовуючи рівняння (1) до трьох найбільш помітним точкам при стандартних умовах випробування: напруга при розімкнутій ланцюзі ($I = 0$, $V = V_{\text{oc, ref}}$), струм при короткому замиканні ($V = 0$, $I = I_{\text{sc, ref}}$) і для напруги ($V_{\text{mp, ref}}$) і струму ($I_{\text{mp, ref}}$) при максимальній потужності можна записати наступні рівняння:

$$\begin{aligned} I_{\text{sc, ref}} &= I_{\text{ph, ref}} - I_{0, \text{ref}} \left[\exp\left(\frac{I_{\text{sc, ref}} \cdot R_s}{a_{\text{ref}}}\right) - 1 \right] \\ 0 &= I_{\text{ph, ref}} - I_{0, \text{ref}} \left[\exp\left(\frac{V_{\text{oc}}}{a_{\text{ref}}}\right) - 1 \right] \\ I_{\text{mp, ref}} &= I_{\text{ph, ref}} - I_{0, \text{ref}} \left[\exp\left(\frac{V_{\text{mp, ref}} + I_{\text{mp, ref}} R_s}{a_{\text{ref}}}\right) - 1 \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Членом (-1) потрібно знехтувати, тому що він набагато менше експоненціального члена. Відповідно до рівняння (2) і підставивши ($I_{\text{ph, ref}}$) в рівняння (3) отримуємо зворотний струм насичення[26]:

$$I_0 = DT_C^3 \exp\left(\frac{-qE_G}{A \cdot k}\right)$$

Рисунок 3.9 - Детальна реалізація I_{ph} .Рисунок 3.10 - Детальна реалізація I_0_{ref} .Рисунок 3.11 - Детальна реалізація I_0 .

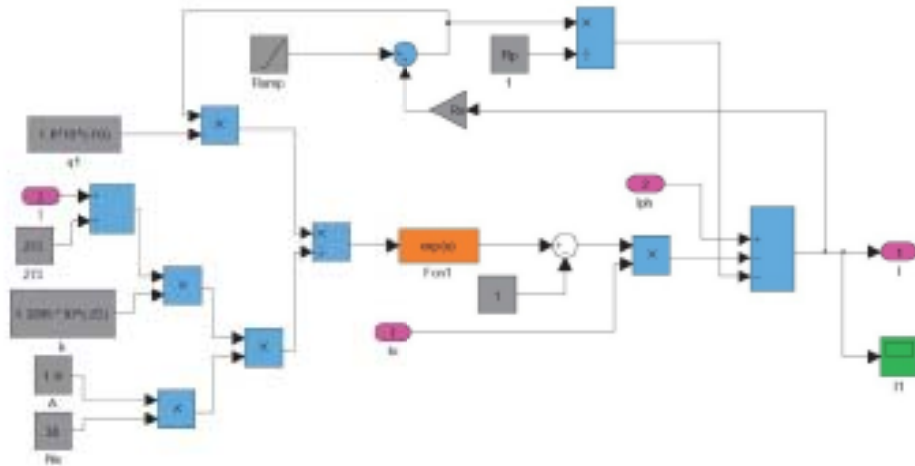


Рисунок 3.12 - Деталізована модель з $R_p \text{ temp}$.

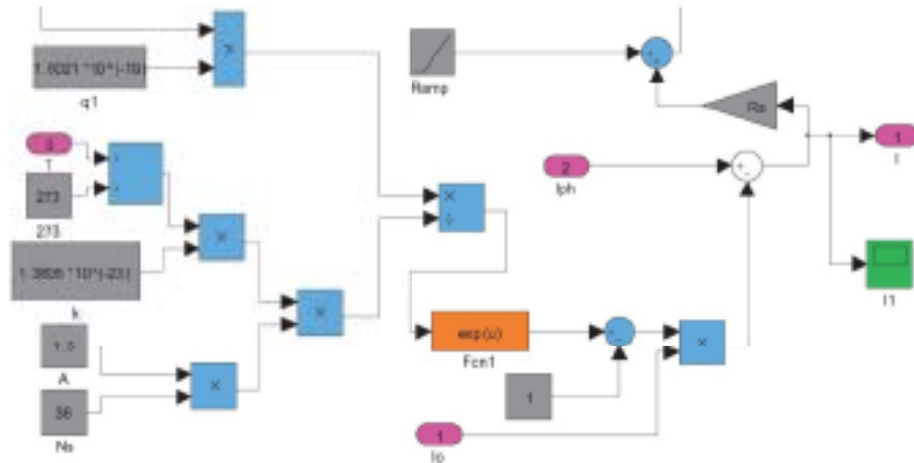


Рисунок 3.13 - Деталізована модель без $R_p \text{ temp}$.

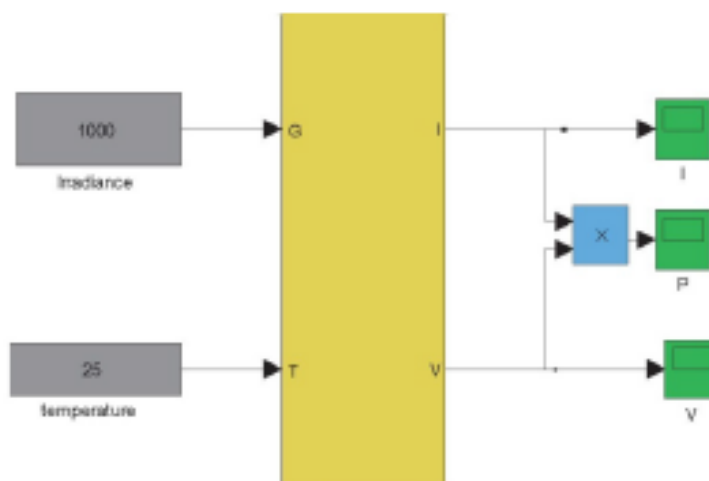


Рисунок 3.14 - Подання всієї фотоелектричної моделі.

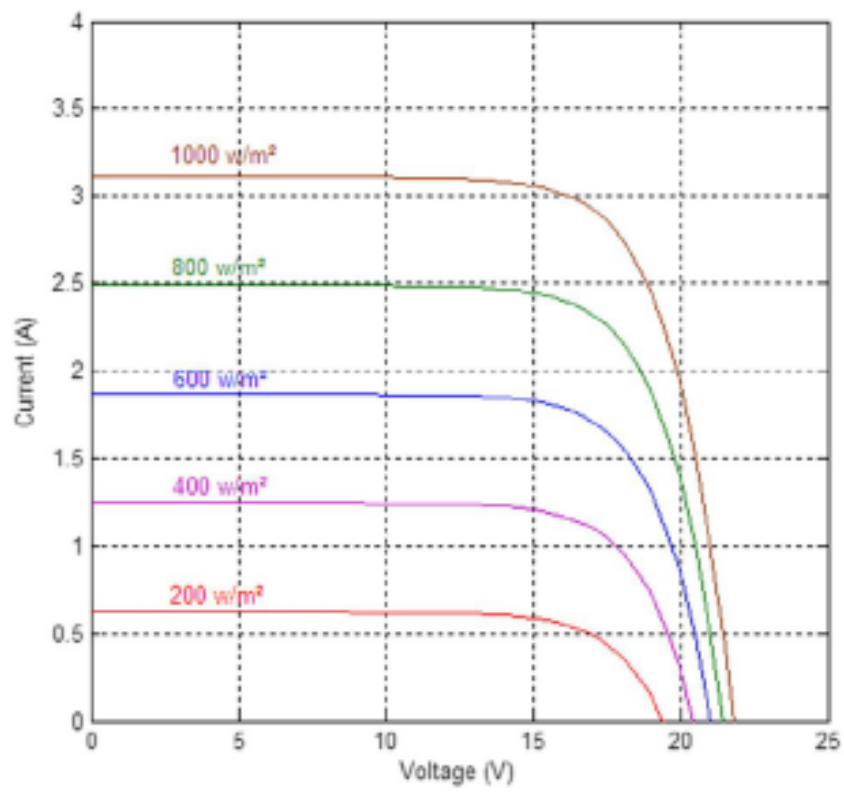


Рисунок 3.15 - Воль-амперні характеристики при зміні освітленості.

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Конструкція і розташування сонячних батарей

Сонячна батарея виробляє найбільше енергії тоді, коли вона розгорнута всією площиною до падаючого сонячного світла і промені сонця падають на її поверхню прямо. Однак такий стан в просторі не є єдино можливим. Навіть якщо панель сонячної батареї знаходиться під кутом в 45° до падаючих сонячних променів, батарея отримує 71% всієї енергії на одиницю площі в порівнянні з ідеальною орієнтацією панелі. А зміщення в 15° щодо ідеальної позиції практично не позначається на результаті.

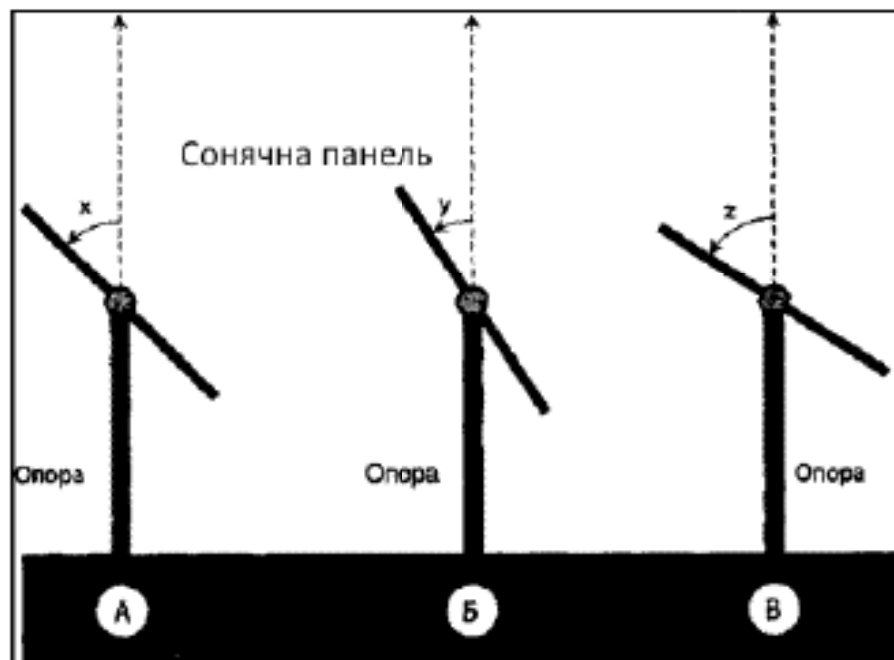


Рисунок 4.1 - Схеми оптимальної орієнтації нерухомою сонячної панелі, спрямованої на південь, в помірних широтах Північної півкулі для цілорічної роботи (А), осені і зими (Б) і весни і літа (В). Кут x , y і z відображають кут відхилення площини батареї від зеніту. У всіх випадках конструкція зображена збоку, напрям погляду - на захід

Сонячні батареї слід розмішувати в тих місцях, де вони отримають найбільшу кількість сонячного світла в середньому в день і в середньому за рік. Їх слід ретельно закріпити з тим, щоб при сильному вітрі вони не втратили орієнтацію або не вирвався з Кріплень. Один з найбільш широко використовуваних методів - кріплення сонячної батареї (або декількох батарей) безпосередньо на крутому схилі даху, зверненому на південь.

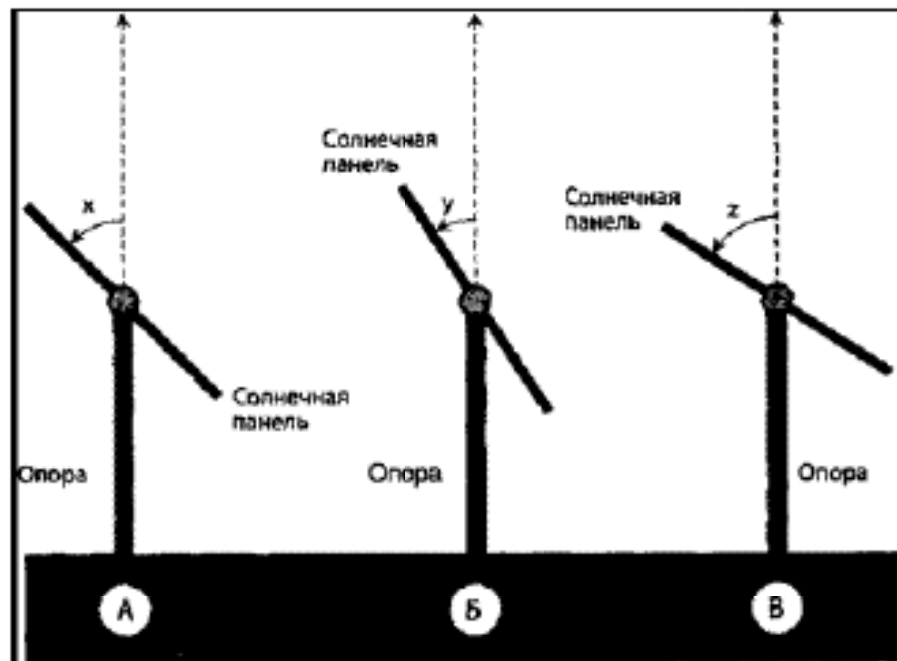


Рисунок 4.2 - Схеми оптимальної орієнтації нерухомою сонячної панелі, спрямованої на північ, в помірних широтах Південної півкулі для цілорічної роботи (А), осені і зими (Б) і весни і літа (В). Куты x , y і z відображають кут відхилення площини батареї від зеніту. У всіх випадках конструкція зображена збоку, напрям погляду - на захід

Ідеальний варіант конструкції сонячної батареї - екваторіальне монтування, метод, схожий з тим, що застосовується в конструкції складних телескопів. Така конструкція дозволяє сонячній батареї «стежити» за рухом сонця протягом всього дня в будь-який день року. Однак для багатьох споживачів така конструкція виявляється непрактичною, а витрати на її спорудження - надмірними для великих сонячних батарей або фотоелектричних решіток, що складаються з декількох панелей. Найкращою

альтернативою є конструкція з одним підшипником, яка дозволяє підлаштовувати нахил панелі вручну. При цьому вона завжди залишається в цілому спрямованої на південь (в Північній півкулі) або на північ (у Південній півкулі). Подібна конструкція для однієї батареї проілюстрована на рис. 12.7 і 12.8. Кути x , y і z відображають кут відхилення площини батареї від zenіту.

Показана на рис. 4.1 конструкція буде ефективно працювати на територіях між приблизно 20° і 60° північної широти. Серед міст, що знаходяться в цій зоні, можна назвати:

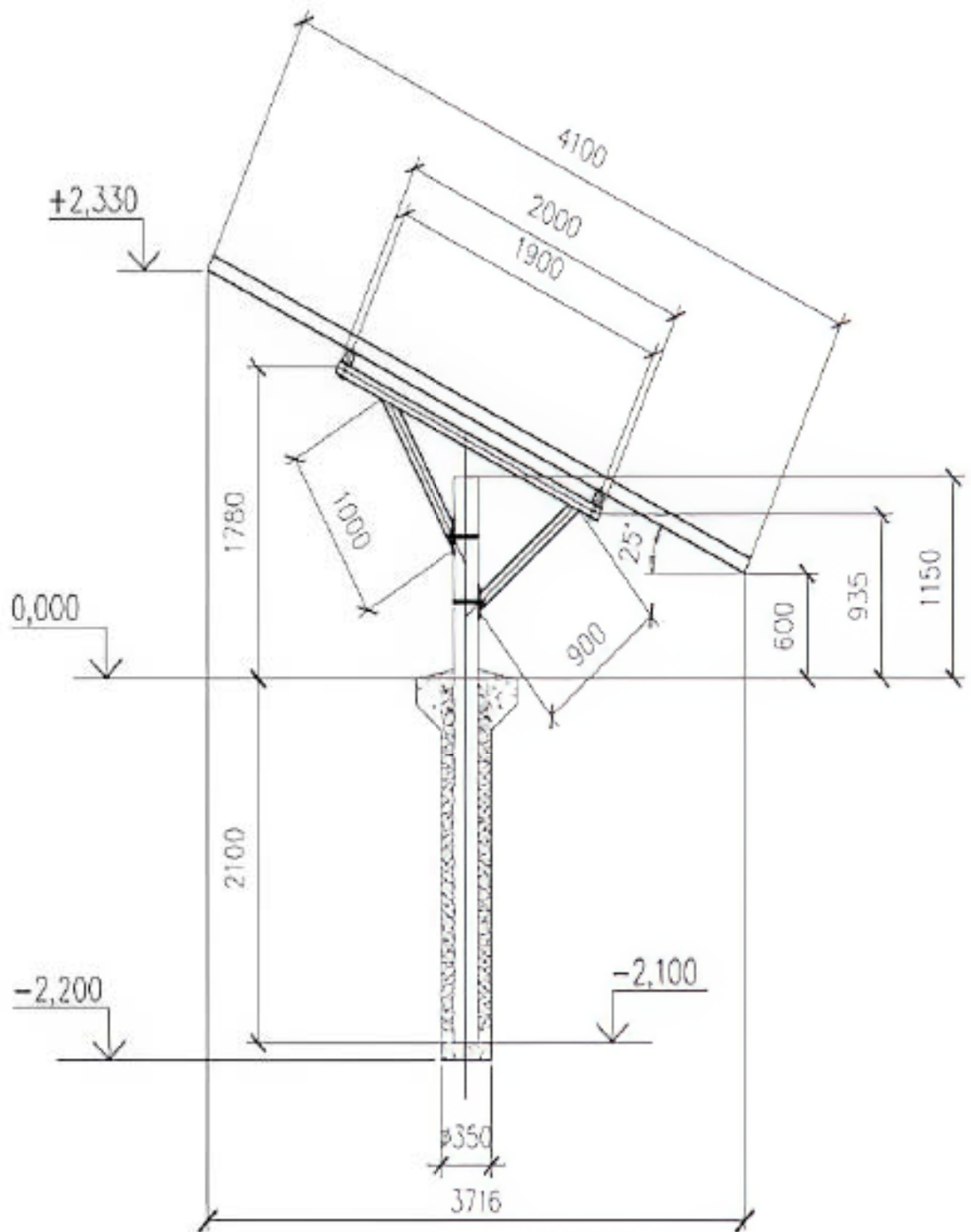
- Лас-Вегас, Чикаго, Майамі (США);
- Париж, Франція);
- Берлін, Німеччина);
- Москву (Росія);
- Пекін, Китай);
- Осака (Японія).

На рис. 4.1, А показано положення для цілорічної роботи сонячної батареї. Кут x повинен бути рівний 90° мінус значення північної широти, на якій встановлена батарея.

Якщо конструкція передбачає підшипник (і, відповідно, можливість переорієнтувати сонячну батарею), в залежності від пори року можна використовувати дві основні схеми, показані на рис. 4.1, Б і 4.1, В.

Восени і взимку (з 21 вересня по 20 березня) оптимальним є схема 4.1, Б, де кут y складає приблизно 78° мінус значення широти. Для весни і літа (з 21 березня по 20 вересня) оптимальна схема 4.1, В, де кут z становить приблизно 102° мінус значення широти.

На рисунку 4.3 показано габарітні розміри конструкції для кріплення сонячних батарей.



Рисунк 4.3 – Габарітні розміри кріплення сонячних батарей

4.2 Заходи з охорони праці

Дипломна робота буде виконуватися розробником у лабораторії що розташована у виробничому корпусі заводу з виробництва сонячних панелей. Робочим місцем є робочі столи, обладнані комп'ютерами (2шт) і принтером; шафи для документів, стільці, стіл для переговорів. У лабораторії є наступні небезпечні та шкідливі фактори:

- підвищений рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може пройти через тіло дослідника;
- електромагнітне випромінювання;
- наявність шуму;
- наявність пилу, озону;
- напруження зору;
- емоційні перевантаження;
- навантаження на опорно-рухову систему.

Вплив електромагнітного випромінювання на розробника. Вплив яскравих джерел світла, до яких належить дисплей, може викликати стомлення очей, запалення райдужної оболонки та спазм повік. Однак ці симптоми швидко минають і вплив видимого електромагнітного випромінювання не призводить до патологічних змін в органах зору у дослідника. Поверхнева щільність потоку енергії цього випромінювання перебуває у межах $0,1-1,5 \text{ Вт/м}^2$, що не перевищує норму в 10 Вт/м^2 [30].

Під час роботи з монітором на поверхні екрана накопичується електростатичний заряд, який створює електростатичне поле. Цей наведений потенціал є найбільш вирішальним фактором у разі виникнення неприємних відчуттів у дослідника. Несприятливий вплив електростатичного поля дисплея проявляється в тому, що воно здатне притягувати до робочого місця дослідника пил, бруд та інші частки, які присутні навколо нього в повітрі. Поверхневий електростатичний потенціал дорівнює 3 кВ/м при гранично допустимій нормі в 20 кВ/м^2 [30].

Основні джерела шуму на робочому місці у лабораторії – в комп'ютерному обладнанні, зокрема, у системних блоках, принтери. Негативний вплив виражається у зниженні розумової працездатності, швидкій втомлюваності, ослабленні уваги, появі головного болю. Фактичне значення шуму на робочому місці не перевищує 67 дБ при нормі в 60 дБ [30].

Основні джерела пилу та озону в лабораторії – монітори і лазерні принтери. Надзвичайна небезпека озону для здоров'я людини пов'язана з тим, що він належить до хімічних сполук, які викликають у живих організмах зміни, що схожі з тими, які виникають після дії іонізуючого випромінювання. Таким чином, озон має не лише подразнювальну, а й канцерогенну дію. За великих концентрацій озону в повітрі робочої зони у дослідника можуть виникати головні болі та загальна слабкість [31].

Найбільш небезпечними вузлами комп'ютера є дисплей та блок живлення. При роботі оператора можлива поразка електричним струмом, який протікає в електричній мережі 220 В, 50 Гц. Основні причини поразки електричним струмом – дотик до неізольованих струмоведучих частин устаткування, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції. Також небезпечним фактором є можливе ураження працівника електричним струмом при виникненні пожежі.

Проходячи через організм людини, електричний струм здійснює термічну, електролітичну і механічну дію. Ці фізико-хімічні процеси притаманні як живій, так і неживій матерії. Одночасно електричний струм здійснює і біологічну дію, яка є специфічним процесом, властивим лише живій тканині:

1. Термічна дія струму проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку та інших органів, які знаходяться на шляху струму, що викликає в них серйозні функціональні розлади.

2. Електролітична дія струму проявляється в розкладанні органічних рідин, у тому числі і крові, що супроводжується значними порушеннями їх фізико-хімічного складу.

3. Механічна (динамічна) дія струму виявляється у розриві, розшаруванні та інших пошкодженнях різних тканин організму, в тому числі м'язової тканини, стінок кровоносних судин, судин легеневої тканини та ін.;

4. Біологічна дія струму проявляється в подразненні й порушенні живих тканин організму, а також у порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, що протікають при нормальному функціонуванні організму. Електричний струм, проходячи через організм, подразнює живі тканини, викликаючи в них відповідну реакцію – збудження, яке є одним з основних фізіологічних процесів і характеризується тим, що живі утворення переходять зі стану відносного фізіологічного спокою в стан специфічної для них діяльності.

Праця у лабораторії під час досліджень характеризується тривалою, багатогодинною напруженою роботою в одноманітному положенні сидячи за персональним комп'ютером (ПК). Як результат незначна рухова активність за суттєвих локальних динамічних навантажень, які припадають в основному лише на кисті рук. Такий характер роботи може призвести до загальної втоми, болі та оніміння шиї, спини, рук і ніг.

На основі аналізу та оцінки шкідливих та небезпечних факторів у лабораторії на робочому місці розробника складена карта умов праці, що приведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Карта умов праці на робочому місці розробника у лабораторії

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : I клас небезпеки	0,1	0,2	2			
	Озон II клас небезпеки окисли	0,5	0,7	1,4			

	азоту III-IV клас небезпеки						
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³	-	-	-	-	-	-
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	107	110		3		
4	Шум, дБА	60	67	7			80%
5	Інфразвук, дБ	-	-	-	-	-	-
6	Ультразвук, дБ	-	-	-	-	-	-
7	Неіонізуючі випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м -діапазон промислової частоти, кВ/м - оптичний діапазон, Вт/м ²	25 -	40 -	15 -			80%
8	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, % - інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	23 – 25 не більше0,2 не більше 75	27 0,1 60				100% 100% 100%
9	Атмосферний тиск	760	748				90%
10	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці - легка, I а категорія напруженості праці - помірно напружена					

Як видно з таблиці, у лабораторії фактичні умови виробничого процесу розробника більші за нормативних значень.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Для поліпшення умов праці у відділі збору плати управління слідпровести такі заходи:

- всі особи, які поступають на роботу повинні пройти інструктаж з охорони праці щодо роботи з електроустановками, поводження з ПК та дотримання розпорядку дня;

-використання витяжної вентиляції разом з природною (шляхом провітрювання через відкриті вікна). Використання штучної вентиляції забезпечить видалення із приміщення нагрітого і забрудненого повітря;

- окрім природного освітлення робоче місце повинне бути обладнане джерелом штучного освітлення. Освітлення на робочому місці повинне бути достатньо яскравим, щоб працівник міг без напруги зору виконувати свою роботу.

Для профілактики несприятливого впливу електромагнітних випромінювань на розробника необхідно не використовувати одночасно на одному робочому місці великої кількості електронних пристроїв.

Для запобігання появі великої напруженості електростатичного поля на робочих місцях використовується заземлення металевих та електропровідних частин елементів обладнання; щоденне вологе прибирання лабораторії; використання для протирання екрана дисплея спеціальних серветок.

Основним заходом щодо запобігання несприятливому впливу озону є витяжна вентиляція, а також розміщення принтерів подалі від робочих місць. А також вимикати на робочих місцях електронні пристрої, які не використовуються.

Робоче місце з монітором розташовується на відстані не менше 1.5 метра від стіни з віконними отворами від інших на відстані 1 метр, між собою на відстані не менше 1.5 метра. При розміщенні монітора на робочому місці забезпечується простір для розробника величиною не менше 850 мм з врахуванням виступаючих частин устаткування. Розташовуються монітори на робочому столі так, щоб поверхня екрана знаходилася на відстані не менше 400 міліметрів від очей розробника. Елементи робочого місця розміщуються так, щоб була витримана рівна відстань від очей користувача від екрану, клавіатури, тримача документів.

Клавіатура розташовується на поверхні столу на відстані 100-150 мм від краю столу для уникнення неправильного положення рук при друку. У

конструкції клавіатури передбачається опорний пристрій який дає змогу змінювати кут нахилу поверхні клавіатури.

Робочий стілець підйомно-поворотний з регульованою висотою і має підлокітники. Крісло забезпечує фізіологічно раціональну робочу позу, при якій не порушується циркуляція крові і не відбувається інших шкідливих впливів.

4.3 Виробнича санітарія

Умови праці розробників мікропроцесорної системи керування відноситься до категорії робіт по ступені тяжкості 1а – легка, роботи виконуються сидячи та супроводжуються незначною фізичною напругою. Категорія напруженості праці – помірно напружена [30].

Площа для одного робочого місця з комп'ютером повинна становити не менше 6 м^2 , при об'ємі - не менше 20 м^3 . Для вісьмох людей, що постійно знаходяться в кімнаті площею $18,2 * 6,7 = 121,94 \text{ м}^2$, висотою $= 3,1 \text{ м}$:

- Площа на одну людину складає $121,94/8 = 15,24 \text{ м}^2$;
- Об'єм на одну людину складає $121,94 * 3,1 = 378,014/8 = 47,25 \text{ м}^3$.
- Отже ці вимоги виконуються.

У лабораторії мають забезпечуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості й швидкості руху повітря. Значення цих параметрів відповідно до стандартів [30] приведені у таблиці 4.2. Таблиця 4.2 – Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість, %		Швидкість вітру, м/с	
		Допустима				Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
		Верхня межа		Нижня межа					
		На робочих місцях							
постійна	непостійна	постійна	непостійна						

Холодний	Легка Ia	22	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1-0,2
		-24								
Теплий	Легка Ia	23	28	30	22	20	40-60	75	0,2	0,1-0,3
		-25								

Для освітлення лабораторії пропонується використання природного і штучного освітлення. Природне освітлення здійснюється світлом через світлові отвори в зовнішніх стінах збоку. Згідно з [33] при роботах середньої точності при комбінованому освітленні робочої зони 4-го розряду зорової роботи, світловий потік повинен становити не менше 750 лм.

Метод світлового потоку (метод коефіцієнта використання) призначений для розрахунку загального рівномірного штучного освітлення горизонтальних поверхонь. Проведемо розрахунок, виходячи з таких умов: розміри приміщення операторної кімнати становлять $18,2 \times 6,7 \times 3,1$ м; джерелами штучного світла є люмінесцентні лампи (ЛЛ); тип світильників для ЛЛ - ОД (відкриті світильники з дифузними відбивачами); коефіцієнт запасу дорівнює 1,4.

Розрахункова висота підвісу світильників H_p , м, визначається за формулою:

$$H_p = H - H_c - H_n, \quad (4.1)$$

де H - висота приміщення, м;

H_c - відстань від світильника до стелі, м (при висоті приміщення менше п'яти метрів приймається рівною 0 м);

H_n - висота робочої поверхні над рівнем підлоги, м (приймається рівною 0,73 м).

$$H_p = 3.1 - 0.7 = 2.3 \text{ м}$$

Визначимо відстань між світильниками

$$L_A = H_p \cdot X, \quad (4.2)$$

$X=1.4$

$$L_A = 2.3 \cdot \sqrt{4} = 3.3 \text{ м}$$

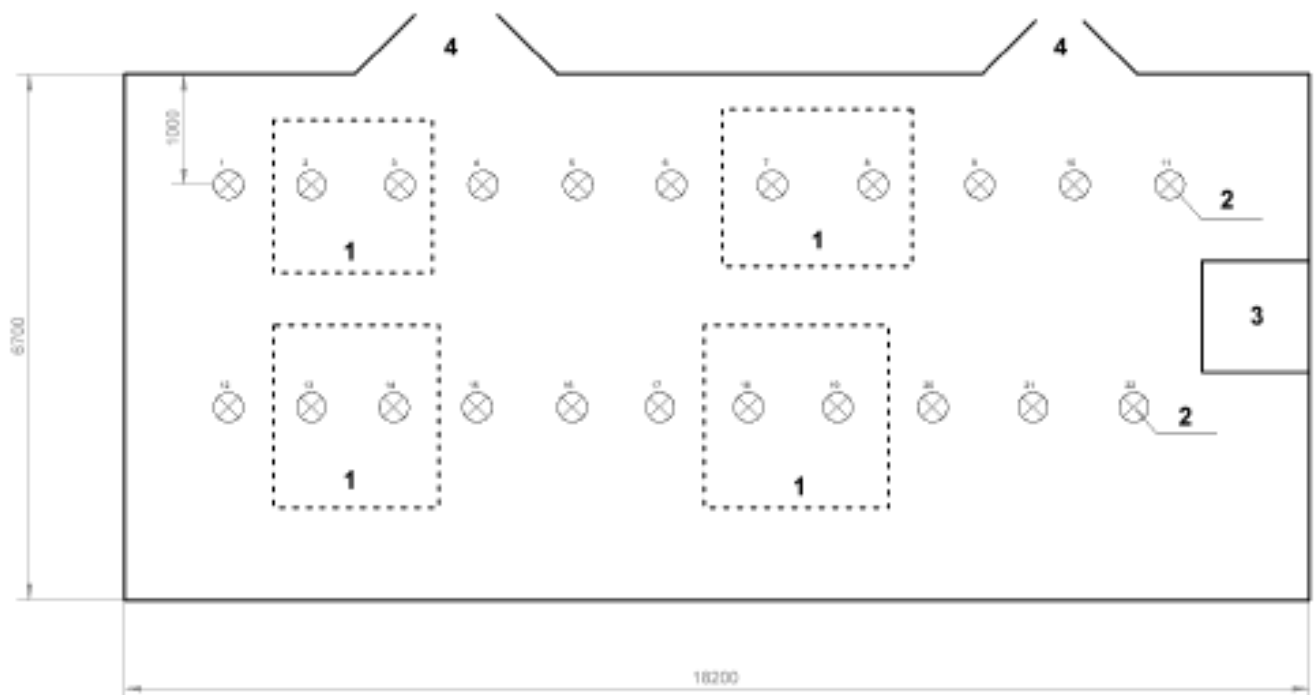
Визначимо число світильників:

$$N_{CB} = \frac{S_{np}}{L_A^2}, \quad (4.3)$$

є S_{np} – площа приміщення, м^2 ;

L_A – відстань між світильниками, м,

$$N_C = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{29}{3.3^2} = 1 \text{ уд.}$$



Умовні позначення: 1 – робочі місця з ПК, 3 – принтер,
2 – світильник, 4 – вихід

Рисунок 4.1 – Умовна схема приміщення лабораторії

Визначимо показник приміщення “і” згідно формулі:

$$i = \frac{A \times B}{(H_p \times (A \times B))} \quad (4.4)$$

де A - довжина приміщення, м;

B - ширина приміщення, м;

H_p - розрахункова висота підвісу світильників, м.

$$i = \frac{1,28 \cdot 6,7}{2,3 \times (1,28 \cdot 6,7)} = 2,0$$

На основі отриманого показника i , типу світильника, коефіцієнтів відбиття стелі (50%), стін (30%) визначимо коефіцієнт використання світлового потоку η , отримаємо, що $\eta = 57\%$.

Враховуючи характер виконуваних робіт, знайдемо табличне значення нормативної освітленості E_H , лм, даного приміщення. В даному випадку, для зорових робіт середньої точності $E_H = 750$ лм.

Визначимо світловий потік світильника Φ_{CB} , лм, наступним чином:

$$\Phi_C = \frac{E_H \times S_{\text{п}} \times k_3 \times M \times z \times 1}{N_{\text{с.обц}} \times \eta_{\text{щ}}}, \quad (4.5)$$

де E_H - нормована освітленість, лм;

$S_{\text{п}}$ - площа приміщення, м²;

$k_{\text{зап}}$ - коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в процесі експлуатації внаслідок забруднення і старіння джерел світла (ламп і світильників), а також зниження відбиваючих властивостей поверхні приміщення (за умовою завдання дорівнює 1,4);

z - коефіцієнт, що характеризує нерівномірність освітлення (для ЛЛІ приймає значення 1,1);

$N_{\text{св.обц}}$ - загальна кількість світильників, шт. (за умовою η - коефіцієнт використання світлового потоку).

Підставляючи відповідні значення величин у формулу (4.5) і виконаємо розрахунок світлового потоку світильника:

$$\Phi_C = \frac{3 \times 10.9 \times 1044 \times 1.1 \times 1}{2 \times 5 \times 2 \times 7} = 40.5 \text{ лм}.$$

Світловий потік $\Phi_{1Л}$, лм, і потужність $W_{1Л}$, Вт, однієї люмінесцентної лампи типу OSRAM 36W - $\Phi_{1Л} = 2340$ лм.; $W_{1Л} = 36$ Вт.

Визначимо кількість ламп у світильнику НЛ.СВ, шт., за співвідношенням:

$$N_{Л.СВ} = \frac{\Phi_{СВ}}{\Phi_{1Л}}, \quad (4.6)$$

де $\Phi_{СВ}$ - світловий потік світильника, лм;

$\Phi_{1Л}$ - світловий потік однієї лампи світильника, лм.

$$N_{Л.СВ} = \frac{40.5}{2340} = 0.0173 \text{ шт.}$$

Кількість світильників встановлених в лабораторії дорівнює 22 (рисунок 4.1). У кожному світильнику встановлено 2 лампи типу OSRAM 36W.

4.4 Електробезпека

Приміщення лабораторії згідно з [35] відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки ураження струмом. Також лабораторія відноситься до пожежонебезпечної зони класу П-Па. Температура навколишнього середовища $+20 \pm 5$ °С, відносна вологість повітря $60 \pm 20\%$. У лабораторії виконані непровідні підлоги, відсутній струмопровідний пил, немає високої температури і підвищеної вологості, відсутнє електрично-активне середовище. Опір захисних заземлювачів в електричних установках напругою 380/220 В, не повинен перевищувати 4 Ом.

Основними заходами запобігання ураження електричним струмом в лабораторії є захист від дотику до частин електрообладнання, що знаходяться під напругою, застосування захисного заземлення і відключення. Для запобігання потрапляння розробника під напругу мережі використовується

подвійна ізоляція проводів. Також у лабораторії використовуються захисні автоматичні вимикачі, які окремо живлять освітлення і розетки.

Основними організаційними заходами запобігання ураження електричним струмом є призначення осіб відповідальних за електробезпеку та проведення інструктажів.

45 Пожежна та техногенна безпека

Будинок, в якому знаходиться лабораторія, повибуховій і пожежній небезпеці відноситься до приміщення категорії Д, оскільки в лабораторії є горючі (книги, документи, меблі, електропроводка) і речі, які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху[32].

За конструктивними характеристиками будівля відноситься до будівель з несучими та огорожувальними конструкціями з бетону і залізобетону, де для перекриттів використовується плиткові матеріали захищених штукатуркою. Отже, ступінь вогнестійкості будівлі відноситься до третьої (III) групи [8]. Можливі причини виникнення пожежі в лабораторії:

- 1) Несправність електричної проводки;
- 2) Несправності електропроводки, розеток і вимикачів, які можуть призвести до короткого замикання або пробоя ізоляції;
- 3) Несправність захисного заземлення;
- 4) Необережне поводження з вогнем та недотримання заходів пожежної безпеки;
- 5) Паління в недозволених місцях;
- 6) Використання пошкоджених (несправних) електроприладів.

Отже вірогідні пожежі, які можуть бути в лабораторії відносяться до класу "Е" пов'язаний з горінням електрообладнання.

Для запобігання утворенню горючого середовища передбачено використання спеціальних меблів стійких до підвищених температур для робочого місця, покриття підлоги з негорючих матеріалів. Необхідними заходами для запобігання пожеж є своєчасний ремонт

електроприладів, використання тільки справних електроприладів, паління в спеціально створених місцях, в кінці робочого дня відключати з електромережі електрообладнання, проходити протипожежний інструктаж, на якому працівники ознайомлюються з правилами протипожежної безпеки, призначення осіб відповідальних за пожежну безпеку.

Для ліквідації невеликих загорянь пропонується застосування первинних засобів пожежогасіння — вогнегасників. Для гасіння пожеж в лабораторії розробника площею 121,94 м² передбачається вуглекислотний вогнегасник ОУ-5 — 2 шт. (клас пожежі Е — горіння електроустановок під напругою)[32].

У приміщенні застосований пожежний оповісник ПІ 104, який спрацьовує при перевищенні температури в приміщенні +60°C. А також димовий оповісник ПІ 212, який спрацьовує при скупченні диму в приміщенні.

З метою попередження прямого удару і другорядних проявів блискавок, будівля обладнана системою блискавкозахисту. Категорія пристрою блискавкозахисту має бути 3 категорії для виробничих споруд з приміщеннями по пожежній безпеці класу П-Па[32].

Громовідвід складається з трьох основних частин: приймача блискавки, який безпосередньо приймає удар блискавки; струмовідводу (спуску), що сполучає приймача блискавки з заземлювачем, і заземлення, через яке струм блискавки переходить безпосередньо в землю.

Вертикальна конструкція — частина будівлі, яка призначена для закріплення приймача блискавки і струмовідводу — називається опорою. Опора встановлена на даху будівлі. У разі виникнення пожежі:

- негайно повідомити в пожежну охорону за телефоном 101,
- сповістити людей, що знаходяться в сусідніх приміщеннях про виникнення пожежі,
- приступити до гасіння пожежі за допомогою первинних засобів пожежогасіння,

- у разі загрози життю покинути небезпечну зону.

У приміщенні розробника та оператора на видному місці пропонується вивісити план евакуації.

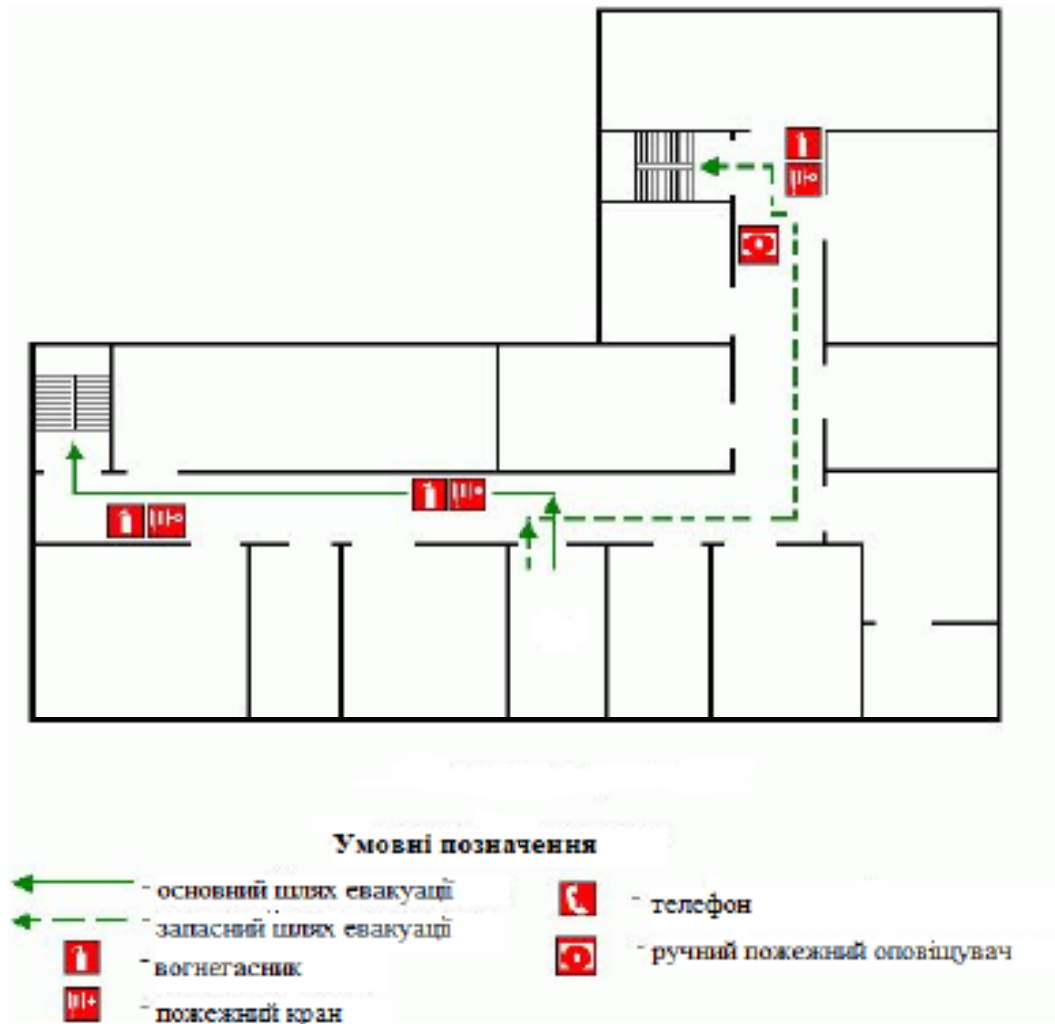


Рисунок 6.2 – План евакуації з будинку при виникненні пожежі

4.3. Інженерні рішення з охорони праці

- розрахунок освітлення

Розрахуємо кількість світильників на довжину та ширину приміщення:

$$N_d = \frac{a}{L}$$

$$N_w = \frac{b}{L}$$

де a, b - довжина і ширина приміщення, L - відстань між світильниками.
Якщо прийняти довжину приміщення 4 м, а ширину 2 м і відстань між світильниками 2 м отримаємо:

$$N_o = 2, \quad N_{ш} = 1$$

Кількість світильників у приміщенні: $N = N_{ш} N_d = 2$ (шт). Визначимо індекс приміщення:

$$i = \frac{S}{H_p(a+b)} = \frac{8}{15} = 0.53$$

де H_p - висота підвісу світильників $H_p = 2,5$ м;

Визначимо світловий потік, однієї лампи. Для цього використаємо формулу

$$\Phi = \frac{E_H \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot n}$$

де E_H - нормативна освітленість, $E_H = 100$ лк;

k - коефіцієнт запасу $k = 1,5$;

z - коефіцієнт нерівномірності освітлення, приймається рівним 0,9 для ламп розжарення.

n - коефіцієнт використання світлового потоку світильника, вибирається по таблицям [3,6] в залежності від i .

$$\Phi = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 8 \cdot 0,9}{2 \cdot 0,3} = 1800 \text{ лм}$$

По значенню Φ вибираємо тип лампи: лампа газонаповнена напругою 220 В типу НГ-49, потужністю 100 Вт.

– розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення – це навмисне з'єднання з землею частин обладнання, які не знаходяться під напругою в нормальних умовах експлуатації, але які можуть знаходитись під напругою в результаті порушення ізоляції електроустановки.

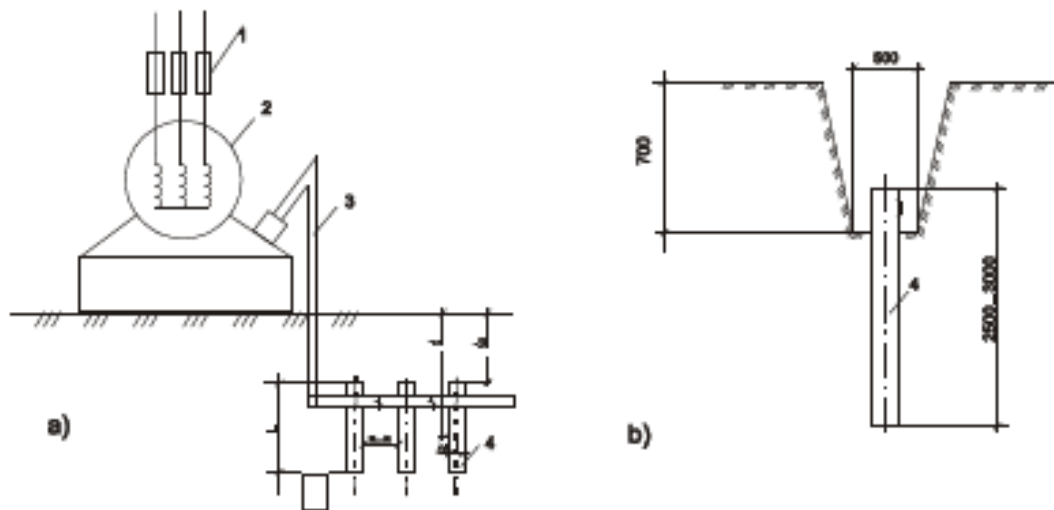


Рисунок 4.1 Пристрій заземлення

а) – схема заземлюючого пристрою; б) – розміщення одиночного заземлювача;

1-плавкі вставки, 2 – електродвигун, 3- з'єднувальна штаба; 4- трубчатий заземлювач

В даному розділі дипломної роботи необхідно розрахувати заземлюючий пристрій для заземлення електродвигуна який живеться від мережі сонячної електростанції при слідуючих вихідних даних:

- грунт – суглинок з питомим електричним опором $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- в якості заземлювачів прийнято сталеві труби діаметром $d = 0.08 \text{ м}$ і довжиною $l = 2.5 \text{ м}$, розміщені вертикально і з'єднані зварюванням сталевую штабою $40 \cdot 4 \text{ мм}$;
- потужність електродвигуна $U = 1,5 \text{ кВт}$, $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$;
- потужність трансформатора $170 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, допустимий по нормах опір заземлюючого пристрою $[r_3] \leq 4 \text{ Ом}$.

Розрахунок:

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача R_B , по формулі:

$$R_B = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4t+l}{4t-l} \right),$$

де t – відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

l , d – довжина і діаметр стержневого заземлювача, м.

Розрахунковий питомий опір ґрунту

$$\rho_{розр} = \rho \cdot \psi,$$

де ψ – коефіцієнт сезонності, який враховує можливість підвищення опору ґрунту на протязі року.

Приймаємо $\psi = 1.7$, для першої кліматичної зони, тоді

$$\rho_{розр} = \rho \cdot \psi = 100 \cdot 1.7 = 170 \text{ Ом}$$

$$R_{\sigma} = \frac{170}{2\pi \cdot 2.5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2.5}{0.08} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2.05 + 2.5}{4 \cdot 2.05 - 2.5} \right) = 48 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір сталеві штаби, яка з'єднує стержневі заземлювачі

$$R_{ш} = \left(\frac{\rho_{розр}}{2\pi \cdot l} \right) \cdot \ln \left(\frac{l^2}{d} \right),$$

де l – довжина полоси, м;

$d = 0.5b$ (b – ширина полоси, рівна 0.08 м).

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту $\rho_{розр}$ при використанні з'єднувальної штаби у вигляді горизонтального електрода довжиною 50 м. При довжині полоси 50 м, $\psi' = 5.9$, тоді

$$\rho'_{розр} = \rho \psi = 100 \cdot 5.9 = 590 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$R_{ш} = \frac{590}{2\pi \cdot 50} \ln \frac{50^2}{0.04 \cdot 0.8} = 21 \text{ Ом}$$

Визначаємо орієнтовне число n одиночних стержневих заземлювачів по формулі

$$n = \frac{R_{\sigma}}{[r3] \cdot \eta_{в}} = \frac{48}{4 \cdot 1} = 12 \text{ шт}$$

де $[r3]$ – допустимий по нормах опір заземлюючого пристрою,

$\eta_{в}$ – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (прийmemo його рівним 1).

Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між суміжними заземлювачами рівною 21. По таблиці

[24] знайдемо дійсні значення коефіцієнтів використання η_B та η_r , виходячи з прийнятої схеми розміщення вертикальних заземлювачів, $\eta_B = 0.66$, $\eta_r = 0.39$.

Визначаємо необхідне число вертикальних заземлювачів

$$n = \frac{R_B}{[r3]\eta_B} = \frac{48}{4 \cdot 0.66} = 18 \text{шт}$$

Визначаємо загальний розрахунковий опір заземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної штаби

$$R = \frac{R_B \cdot R_r}{R_r \eta_r + R_r \eta_r n} = \frac{48 \cdot 21}{48 \cdot 0.39 + 21 \cdot 0.66 \cdot 18} = 3.76 \text{ Ом}$$

Правильно розрахований заземлюючий пристрій повинен відповідати умові $R \leq [r3]$. Розрахунок виконано вірно, так як $3.7 < 4$.

4.4 Розрахунок блискавкозахисту будинку обслуговування сонячних модулів

Блискавкозахист - це необхідний комплекс захисних пристроїв, призначених для забезпечення безпеки людей та елементів сонячних модулів від ударів блискавки.

Вибір захисту залежить від призначення будинку або споруди, інтенсивності грозової діяльності в даному районі й очікуваного числа уражень об'єкта блискавкою в рік.

Будинки захищаються від прямих ударів блискавки блискавковідводами. Блискавковідводи складаються з блискавкоприймачів та заземлювачів. Вони можуть бути окремо стоячими або встановлюватися безпосередньо на будинку або споруді. За типом блискавкоприймача їх підрозділяють на стрижневі, тросові та комбіновані. У залежності від числа діючих на одному спорудженні блискавковідводів, їх підрозділяють на одиночні, подвійні і багаторазові. У даному розділі розрахований одиночний стрижневий блискавковідвід, що має зону захисту у виді конуса.

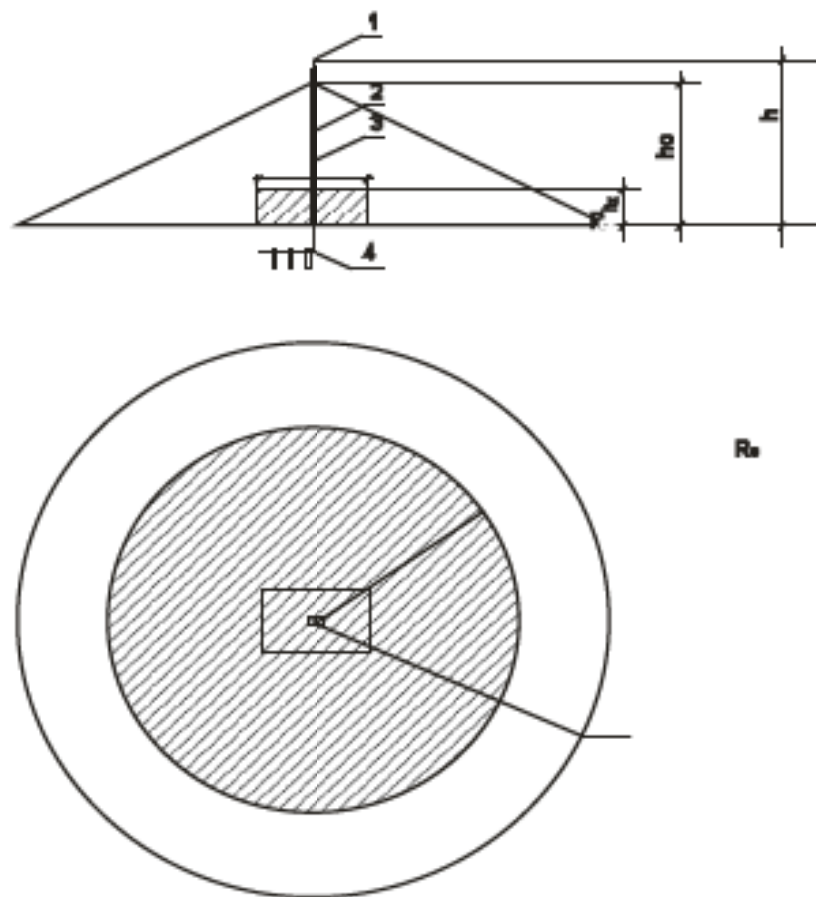


Рисунок 4.2 - Схема блискавкозахисту.

- 1 – блискавкоприймач;
- 2 – дерев'яний брус;
- 3 – блискавковідводи;
- 4 – заземлюючий пристрій.

Найбільша висота h блискавковідводу не повинна перевищувати 150м.

Співвідношення розмірів зони захисту типу "Б" наступне:

- $h_0 = 0.92h$
- $R_0 = 1.5h$
- $R_x = 1.5[h - (h_x/0.92)]$

При відомій висоті об'єкта, що захищається – h_x (вона дорівнює 4 метри) розраховується радіус зони захисту на цій висоті R_x за законом подібності трикутників:

$$\frac{h_x}{R_x} = \frac{h_0}{R_0}$$

підставляючи в даний вираз відповідні значення одержимо:

$$\frac{4}{R_x} = \frac{0.92h}{1.5h}$$

виходить, що $R_x = 6,5$ м. Тоді повна висота блискавкоприймача для зони "Б" буде дорівнювати:

$$h = (R_x + 1,63h_x)/1,5 = (6,5 + 1,63*4)/1,5 = 8,7 \text{ (м)}$$

Так, виходячи з розмірів приміщення нам необхідно розмістити по одному блискавковідводу на даху будинку обслуговування.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень.

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій [37].

5.1 Визначення стадій розробки

Стадії роботи, які необхідні для розробки систем захисту сонячних модулів, а також зміст робіт на кожній стадії зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Стадії розробки систем захисту сонячних модулів

№ з/п	Стадії розробки	Зміст робіт	Тривалість етапу, днів	Примітка
А	Постановка завдання	Узгодження технічного завдання із замовником	1	1 інженер
Б	Вивчення об'єкту	Аналіз існуючих рішень	2	1 інженер
В	Розробка проекту	Проектування систем захисту	15	1 інженер
Г	Проведення дослідження та розробки	Розробка технічної документації	3	1 інженер

Д	Узгодження із замовником	Демонстрація проекту. Виправлення помилок.	1	1 інженер
Е	Передача замовнику	Передача результатів замовнику, підписання акту здачі робіт	2	1 інженер

Для визначення терміну виконання етапів розробки систем захисту сонячних модулів, а також витрат, будується лінійний графік, який відображує в наочному вигляді терміни виконання кожного етапу як окремо, так і в цілому. На рис. 5.1 зображений лінійний графік стадій вказаних в таблиці 5.1.

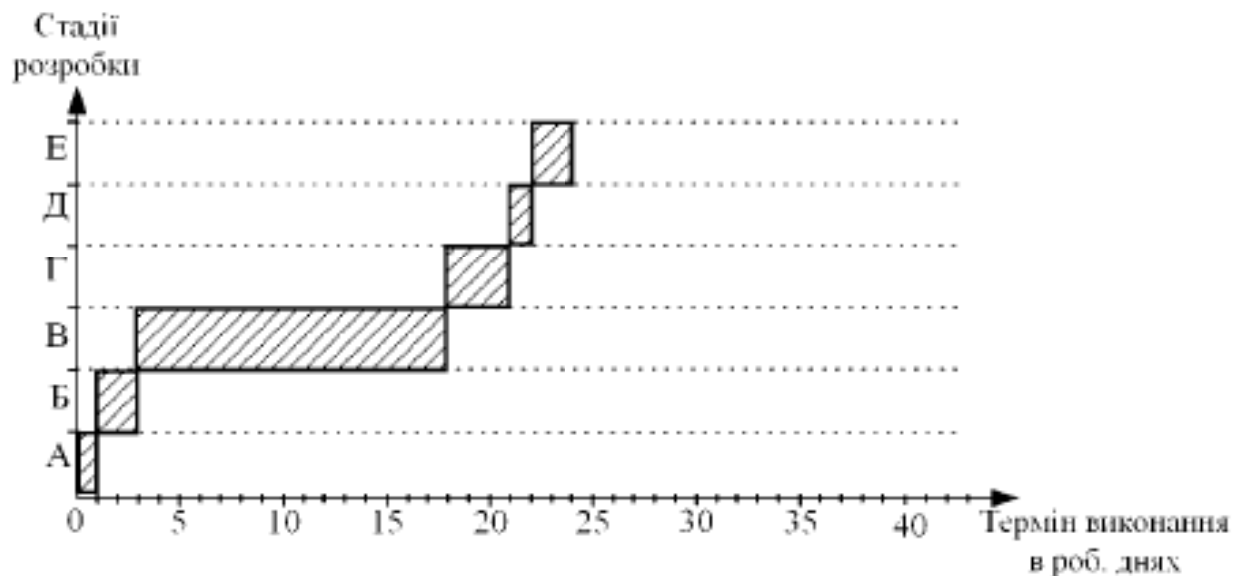


Рисунок 5.1 – Лінійний графік розробки систем захисту сонячних модулів

Відповідно до рис. 5.1 на види роботи А-Е, потрібно 24 восьмигодинних робочих днів.

Для виконання робіт по етапу А необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу Б необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу В необхідно 1 людину – 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Г необхідно 1 людину – 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Д необхідно 1 людину – 1 інженер технічного забезпечення.

Для виконання робіт по етапу Е необхідно 1 людину – 1 інженер технічного забезпечення.

У зв'язку з наведеним вище списком працівників для виду робіт, в таблицю 5.2 зводяться всі необхідні співробітники з кількістю робочих днів участі в проєкті.

Таблиця 5.2– Співробітники проєкту

Найменування	Кількість співробітників людей	Кількість робочих днів участі в розробці, роб. дні	К-ть часу, витраченого на участь в проєкті, ч
Інженер технічного забезпечення проєкту	1	6	48
Інженер електронної техніки	1	18	144

5.2 Розрахунок заробітної плати

Заробітна плата кожного співробітника нараховується виходячи з годинної тарифної ставки. Вони представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Тарифні ставки співробітників

Найменування співробітника	Тариф Тсер, грн./год.
інженер технічного забезпечення проєкту	55
інженер електронної техніки	60

Заробітна плата кожного співробітника визначається по формулі [37]

$$ЗП = N_{роб} \cdot T_{сер} \cdot B \quad (5.1)$$

де ЗП – заробітна плата, грн.;

Тсер – ставка кожного співробітника, грн./год;

Нроб – кількість працівників, людей;

В – кількість годин, витрачених на роботу над проектом, год.

Результати розрахунків представлені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Заробітна плата

Найменування	Заробітна плата, грн.
інженер технічного забезпечення проекту	2640
інженер електронної техніки	8640
РАЗОМ	11280

5.3 Розрахунок кошторису витрат

Кошторис витрат складається виходячи з таких показників: основні засоби (комп'ютер з програмним забезпеченням), заробітна плата, відрахування до єдиного фонду – 37%; накладні витрати (60...150% від фонду заробітної плати), які включають різні господарські та адміністративні витрати.

Далі наводиться вартість устаткування і програмного забезпечення, представлені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Вартість устаткування і програмного забезпечення

Найменування	Ед.вим.	К-ть	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Комп'ютер	шт	1	10000,00	10000,00
Програмне забезпечення	шт	1	1000	1000
РАЗОМ				11000

Амортизація основних засобів (комп'ютер) [37]:

$$S_{ам} = \sum \frac{\alpha_{ам}}{100} \cdot \text{вартість} \cdot \frac{T_{вик}}{T_{можл.вик.}} \quad (5.2)$$

$$S_{аморт} = 0,15 \times 11000 \times (24 \times 8 / 2100) = 150,8 \text{ грн.}$$

Електроенергія, що витрачається при роботі інженера електронної техніки:

$$S_e = \text{тариф} \times \text{потужність} \times N \times T_{\text{вик}} \quad (5.3)$$

де N – кількість комп'ютерів, осцилографів, мультиметрів

$$S_e = 1,90 \times 0,5 \times 1 \times 192 = 182.4 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на розробку систем захисту сонячних модулів представлений в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат

№ з/п	Найменування	Разом:
1	Вартість програмного забезпечення	1000
2	Основні засоби	11000
3	Амортизаційні відрахування	150,8
4	Витрати на електроенергію (машинний час)	182.4
5	Заробітна плата	11280
6	Відрахування 37%	4173,6
	Всього	27786,8

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки систем захисту сонячних модулів для використання її в умовах серійного виробництва.

ВИСНОВКИ

В ході дослідження було показано що протягом останніх десятиліть робляться спроби повнішого використання енергії вітру, морських припливів, сонячного тепла.

Виявлено що фотосинтез - єдиний процес, здатний постійно відновлювати енергетичні ресурси планети. Тому є підстави вважати його основою відновлювальних джерел енергетичних засобів.

На сьогодні сонячна енергетика широко застосовується у випадках, коли малодоступність інших джерел енергії в сукупності з достатньою кількістю сонячного випромінювання виправдовує її економічно.

Для аналізу факторів впливу були розглянуто процеси, що відбуваються в напівпровідниковому переході фотоелемента (сонячного елемента) при його освітленні. Крім того проведено аналіз технологій та матеріалів для виробництва сонячних елементів. Але виявилось, що грози є найбільш уразливим фактором для сонячних елементів, що накладає ряд обмежень в використанні модулів.

Найбільше ризику ураження блискавками схильні сонячні панелі, розташовані на відкритій місцевості. Таким станціям потрібні тросові або стрижневі молнієприємнікі, здатні перекрити належну зону захисту і попередити таким чином пряме попадання блискавки в обладнання.

Ураження блискавкою лише один з зовнішніх факторів впливу на сонячні батареї. Другий з найбільш критичних факторів це захист від пилу, який покриває поверхню модулів та приводить до зменшення вироботки енергії. Останній фактор неможливо повністю виключити, тому було проведено розробку математичної моделі за допомогою якої можна спрогнозувати втрати енергії залежно від долі світла. Це дозволить спрогнозувати з якою періодичністю та в який час треба приймати заходи щодо очищення сонячних модулів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Курс лекцій / С.О. Кудря, В.І. Будько. - Київ : НТУУ «КПІ», 2013. - 387 с.
2. Солнечная PV-генерация - тотальное доминирование [Електронний ресурс] - Режим доступу: - Режим доступа: <https://rent techno.ua/blog/pv-global-growth.html>.
3. Яковчук П. Є., Цяпа В. Б., Комаров В. І., Національний університет «Львівська політехніка», СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/30762/1/35.pdf>
4. Дверняков В.С. Солнце - жизнь / В.С. Дверняков. - Киев : Энергия, 1996. - 156 с.
5. Розділ 12. Альтернативні та поновлювальні джерела енергії [Електронний ресурс] - Режим доступу: erprints.kname.edu.ua/533/12/ .
6. Сонячна енергетика [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0
7. ses_1aa07.jpg (665x449) [Electronic resource] - Regime of access: https://ipress.ua/media/gallery/fun/s/e/ses_1aa07.jpg
8. Реферат Сонячна енергетика, її застосування [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://ukrbukva.net/85363-Solnechnaya-energetika-ee-primeneniye.html>.
9. Преимущества и недостатки солнечной ^нергии [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://solarelectro.ru/articles/preimuschestva-i-nedostatki-solnechnoj-energii>
10. Хуже, чем дизель: развеян миф об ^экологичности ^электромобилей [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://drive-news.net/xuzhe-chem-dizel->

razveyan-mif-ob-ekologichnosti-

elektromobilej/?utm_source=traffim&utm_medium=referral&utm_campaign=32089&utm_content=3598793&utm_placement=169

11. ae-graf-05.png (650x451) [Electronic resource] - Regime of access: <http://saee.gov.ua/sites/default/files/pictures/ae-graf-05.png>.

12. Поновлювані джерела енергії застосування [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://shkola.ostriv.in.ua/publication/code-C5D356ABCF66/list-B8AFBC4326>

13. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник для студентів вузів / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков ; за ред. д-р техн. наук, проф. А. Г. Соскова. - [2-ге вид.]. - Київ : Каравела, 2009. - 416 с.

14. Солнечная энергетика: учебн. пособие / В. И. Виссарнонов, Г. В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н. К. Малинин. - М : ИВЦ Издательский дом МЗИ, 2008. - 317 с.

15. Физические основы солнечной фотонергетики [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://msd.com.ua/solnechnaya-energetika/fizicheskie-osnovy-solnechnoj-fotoenergetiki/>

16. Сонячна енергетика [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://ua-referat.com/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0

17. sun-element-mono.jpg (330*330) [Electronic resource] - Regime of access: <http://tehnovator.com.ua/images/alt-energy/sun-element-mono.jpg>

18. Виды солнечных батарей [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.solnpanels.com/vidy-solnechnyh-batarej/>,

19. Типы солнечных батарей [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://tehnovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-ua/types-sun-battery-ua.html>

20. thimbols.jpg (960*940) [Electronic resource] - Regime of access: <https://alterair.ua/static/media/uploads/Podlozhki/thimbols.jpg>

21. ss%20p2012-12-04%20at%2006.18.26c.jpg (500*312) [Electronic resource] - Regime of access: <http://solar.ust.su/upload/medialibrary/7e0/ss%20p2012-12-04%20at%2006.18.26c.jpg>

22. solar_panel_shop.jpg (1900*632) [Electronic resource] - Regime of access: https://alterair.ua/static/media/uploads/Podlozhki/solar_panel_shop.jpg

23. amorfnye-solnechnye-paneli.jpg (653*201) [Electronic resource] - Regime of access: <https://www.solnpanels.com/wp-content/uploads/2015/09/amorfnye-solnechnye-paneli.jpg>

24. 1.jpg (588*338) [Electronic resource] - Regime of access: <https://motocarrello.ru/wp-content/uploads/images/stories/electrotech/427/1.jpg>

25. Огляд сучасних фотоелектричних систем [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.rusnauka.com/pdf/235661.pdf>

26 A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB. Habbati Bellia Ramdani Youcef , Moulay Fatima. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics

27 Молниезащита и защита от перенапряжений солнечных панелей [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://zandz.com/ru/uzip/molniyezashchita_i_zashchita_ot_perenapryazheniy_solnechnykh_panely/

28 Как выполняется молниезащита солнечных батарей [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://electricalschool.info/energy/2286-molniezaschita-solnechnyh-batarey.html>

29 MathWorks [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.mathworks.com/

30 Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448с., ил.

1. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

2. НАПБ Б.03.002-2007 Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
3. СНиП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение.
4. СНиП 2.04.05-92. «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
5. Правила устройства электроустановок.- «Госэнергонадзор», 2009г. 704с.
6. Конов А. А. Электрооборудование жилых зданий. – М.: Додека 21, 2003. –256 с.
7. Попова В.Д. Методичні вказівки до виконання економічної й організаційної частини дипломної роботи – Запоріжжя, 2005,-36с.

Перв. промен

справ. №

Площ. и дата

Взам. шифр №

Площ. и дата

Документация

A1	ЕС М.19154.00.00.00.00.Д1	Аналіз систем захисту сонячних модулів від впливу зовнішніх факторів
A1	ЕС М.19154.00.00.00.00.Д2	Постановка питання Аналіз систем захисту сонячних модулів від впливу зовнішніх факторів
A1	ЕС М.19154.00.00.00.00.Д3	Частота гроз Аналіз систем захисту сонячних модулів від впливу зовнішніх факторів
A1	ЕС М.19154.00.00.00.00.Д4	Захист від блискавки Аналіз систем захисту сонячних модулів від впливу зовнішніх факторів
A1	ЕС М.19154.00.00.00.00.Д5	Системи захисту від перенапруги Аналіз систем захисту сонячних модулів від впливу зовнішніх факторів
A1	ЕС М.19154.00.00.00.00.Д6	Математична модель Аналіз систем захисту сонячних модулів від впливу зовнішніх факторів
A1	ЕС М.19154.00.00.00.00.Д7	Вольт-амперні характеристики Аналіз систем захисту сонячних модулів від впливу зовнішніх факторів

ЕС М.19154.00.00.00.00

Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Назарук	Кавену	30.11.20
Проб.	Критська	АМД	
Н.контр.	Туришев		29.11.20
Утв.	Критська		06.12.20

Аналіз систем захисту сонячних модулів від впливу зовнішніх факторів

Лист	Лист	Листов
	1	2
ІННІ ЗНУ		
8.1719		

Копировал

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
A1			ЕС М.19154.00.00.00.00.Д8	впливу зовнішніх факторів Охорона праці Аналіз систем захисту сонячних модулів від впливу зовнішніх факторів Економічні показники		

ЕС М.19154.00.00.00.00

Лист
2