

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **ПРОЕКТУВАННЯ АВТОНОМНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ
МІНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ**

Виконав студент IV курсу, групи ЕТ-41
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Приведа В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Шелестовський Б.Г.
(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)
« » 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Приведі Володимир Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування автономної фотоелектричної міні установки
для приватного будинку

Керівник роботи к.т.н., доц. Коваль В.П.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «22» січня 2024 року № 4/7-50.

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 14.06.2024

3. Вихідні дані до роботи автономної сонячної фотоелектричної (ФЕС) та акумуляторної
електростанції в котеджному будинку без доступу до ЛЕП

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Впровадження автономної системи

2. Вибір акумуляторів, контролера заряду, інвертора

3. Клімат у м. Тернопіль

4. Особливості функціонування проектованої фотоелектричної установки

5. Оцінка споживання

6. Розрахунки загальної кількості необхідних модулів і акумуляторів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Загальна структура автономної фотоелектричної системи

2. Хмарність і середньодобова сонячна енергія у м. Тернопіль,

3. Розрахована місячна фотоелектрична енергія

4. Споживачі енергії у будинку

5. Дані, отримані в результаті наведених розрахунків

6. Вибране обладнання

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Гурик О.Я. к.т.н., доцент кафедри МТ</i>		

7. Дата видачі завдання _____ 23.01.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	з 19.04.2024 по 25.04.2024	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	з 25.04.2024 по 21.05.2024	
3	Підготовка розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	з 21.05.2024 по 23.05.2024	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	з 23.05.2024 по 24.05.2024	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	з 24.05.2024 по 28.05.2024	
6	Підготовка, оформлення та друк графічного матеріалу кваліфікаційної роботи	з 28.05.2024 по 01.06.2024	
7	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу, підготовка доповіді на захист	з 01.06.2024 по 15.06.2024	

Студент _____
(підпис)

Приведа В.В. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Коваль В.П. _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТ-41. - Т. : ТНТУ, 2024.

Стор. 74; рис. 27; табл. 6; креслень (презентацій) —; джерел 22.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Проектування автономної фотоелектричної міні установки для приватного будинку».

Метою роботи є вивчити процеси та технологію перетворення сонячної енергії у електричну та спроектувати автономну фотоелектричну установку для невеликого заміського котеджу

У ході розробки даної роботи були вивчені різні можливі варіанти розташування сонячних панелей з урахуванням тіней, годин сонячного сяйва, опромінення, температури, вітру, опадів і хмарності. При проведенні розрахунків було враховано, що споживання не є постійним протягом року, тобто в залежності від місяця воно буде більшим або меншим. На лютий і березень припадає 1 кВт·год/день, на квітень, травень, вересень і жовтень - 3,8 кВт·год/день, на червень і серпень - 9,1 кВт·год/день, і, нарешті, липень очолює список з показником 15,2 кВт·год/день. Проведено розрахунок кожного з компонентів установки, в результаті чого були отримані наступні результати: 10 фотоелектричних панелей (340 Вт кожна), 3 акумуляторні батареї номінальною ємністю 452,14 А·год кожна, 1 контролер заряду МРРТ з максимальною напругою холостого ходу 250 В та інвертор потужністю 5000 Вт.

Ключові слова: **ФОТОЕЛЕКТРИЧНА УСТАНОВКА, ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ**

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Конструкція автономної фотоелектричної системи.....	8
1.2 Роль заземлення.....	9
1.3 Фотоелектричні панелі	11
1.4 Фотоелектрична енергетика.....	13
1.4.1 Історична довідка	13
1.4.2 Принцип роботи фотоелектричної комірки.....	13
1.4.3 Типи фотоелектричних панелей	17
1.5 Висновки до розділу	25
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	26
2.1 Вибір акумуляторів.....	26
2.1.1 AGM (Absorbed Glass Mat).....	26
2.1.2 LiFePO ₄ (літій-залізо-фосфат).....	27
2.1.3 NMC (нікель-марганець-кобальт).....	28
2.1.4 LTO (літій-титанатні).....	29
2.2 Система керування батареєю (BMS).....	30
2.3 Контролери заряду	32
2.3.1 ШІМ контролери (PVM).....	33
2.3.2 MPPT контролери.....	33
2.4 Сонячний інвертор	34
2.5 Автоматичний резервний генератор	35
2.6 Клімат у м. Тернопіль	36
2.6.1 Розташування та клімат.....	36
2.6.2 Хмарність	37
2.6.3 Опади.....	38
2.6.4 Сонячна енергія.....	39

2.7 Порівняння надходження енергії при різних напрямках розміщення сонячних панелей.....	40
2.8 Висновки до розділу	42
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	43
3.1 Особливості функціонування проектованої фотоелектричної установки	43
3.2 Послідовність розрахунку автономної фотоелектричної системи	46
3.3 Оцінка споживання	47
3.4 Розрахунок загальної кількості необхідних фотоелектричних панелей	50
3.5 Розрахунок акумуляторних батарей.....	51
3.6 Розрахунок контролера заряду	52
3.7 Розрахунок інвертора.....	53
3.8 Розрахунок кабелю.....	53
3.9 Вибір компонентів.....	56
3.9.1 Фотоелектричні панелі	56
3.9.2 Вибір акумуляторної батареї	58
3.9.3 Контролери заряду	60
3.9.4 Сонячний інвертор	63
3.10 Висновки до розділу	64
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	52
4.1 Фізичні основи електробезпеки	65
4.2 Причини електротравм, напруга кроку.....	66
4.3 Організаційні та технічні заходи електробезпеки	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	71

ВСТУП

Актуальність теми.

Фотоелектрична сонячна енергія безпосередньо перетворює сонячне світло в електроенергію за допомогою технології, заснованої на фотоелектричному ефекті. На початкових етапах розвитку фотоелектричних технологій цей вид енергії використовувався для забезпечення електроенергією супутників. Сьогодні увесь світ нею користується. Електрична енергія, що виробляється фотоелектричними сонячними панелями, є невичерпною і не забруднює навколишнє середовище, а отже, сприяє сталому розвитку, а також сприяє розвитку місцевої зайнятості. Її також можна використовувати двома різними способами: продавати в електромережу або споживати в ізольованих місцях, де немає звичайної електромережі.

Вартість встановлення та обслуговування сонячних панелей, середній термін експлуатації яких становить близько 20 років, значно знизилася за останні роки з розвитком фотоелектричних технологій та підвищенням ціни на електроенергію.

Однією з найсильніших сторін фотоелектричної сонячної енергетики є те, що вона використовує найпоширеніший і невичерпний відновлюваний енергетичний ресурс на планеті - сонце. Численні дослідження показали, що на поверхню Землі потрапляє в 10 000 разів більше сонячної енергії, ніж річний світовий попит на викопне паливо.

Мета цієї кваліфікаційної роботи – вивчити процеси та технологію перетворення сонячної енергії у електричну та спроектувати автономну фотоелектричну установку для невеликого заміського котеджу.

Для досягнення цієї мети поставлені наступні **завдання**:

- вивчити технології генерування електроенергії фотоелектричними панелями;
- проаналізувати вплив зовнішніх факторів на ефективність фотоелектричних панелей;

- проаналізувати типове споживання електроенергії котеджним будинком;
- провести розрахунки фотоелектричних панелей, акумуляторних батарей, інвертора, контролера та січення провідників;
- провести розрахунок прогнозованої кількості енергії, яку генеруватиме установка.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 частин, висновків та переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 74 арк. формату А4, графічна частина – ___ аркушів презентації.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Конструкція автономної фотоелектричної системи

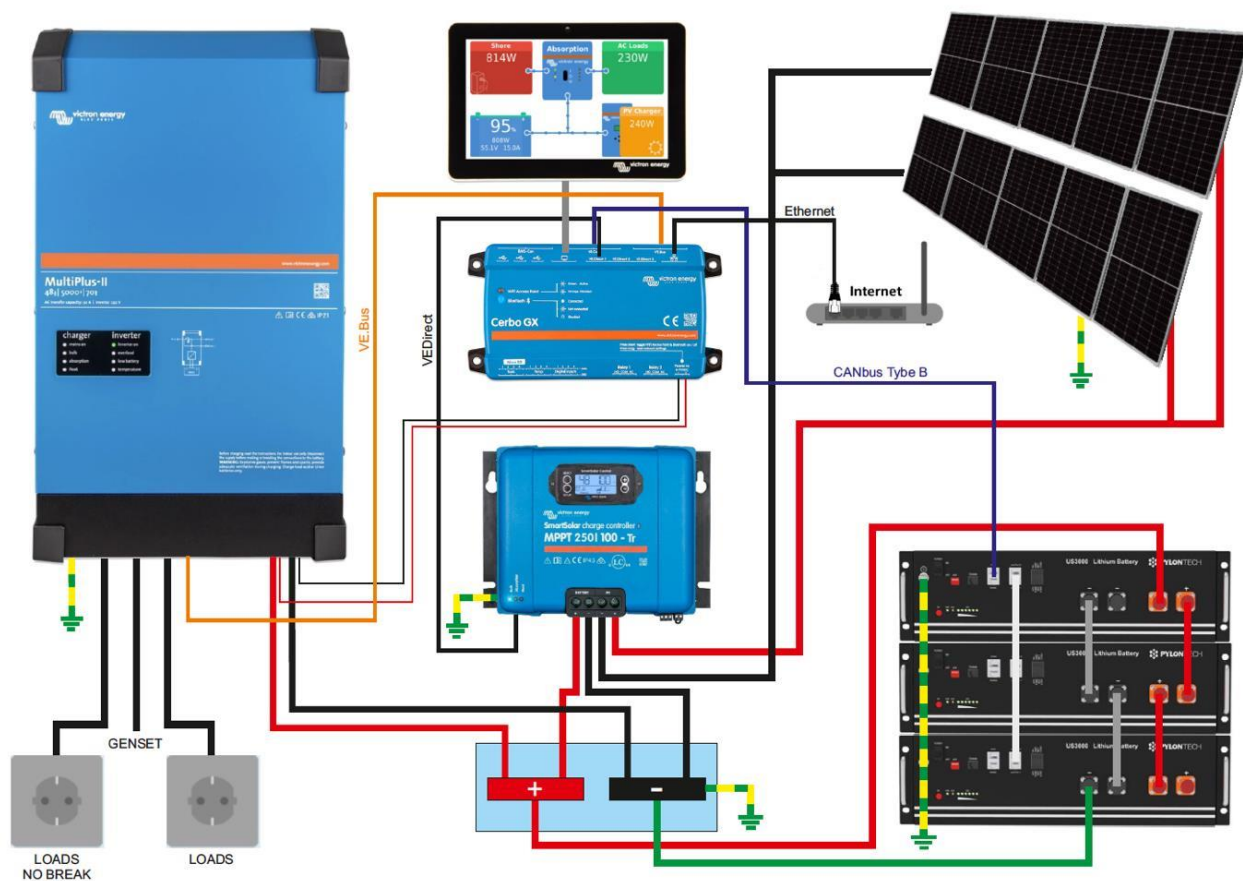


Рисунок 1.1 - Загальна структура автономної фотоелектричної системи [1]

Як видно на рис. 1.1, фотоелектричні панелі безпосередньо підключені до контролера заряду MPPT (який може бути з'єднаний між фотоелектричною панеллю та батареєю різної напруги), а він - до акумуляторів. Це з'єднання вкрай необхідне, коли говорять про автономну систему, оскільки напруга, що виділяється панелями, не може бути повністю передана на батарею [2-4]. Це пов'язано з тим, що кожна батарея має певну ємність, і якщо цю напругу перевищити, це може бути дуже шкідливо для них, вони можуть навіть втратити свою функціональність. Контролер заряду MPPT керує енергією, яка надходить в акумулятор від сонячної батареї, щоб не допустити перезарядки акумулятора протягом дня.

Батареї, окрім з'єднання, згаданого у попередньому абзаці, також підключені до інвертора, який відповідає за перетворення постійного струму в змінний, щоб розширити можливості використання отриманої енергії [5,6]. У системі, зображеній на рис 1.1, інвертор є не просто інвертором, а інверторним зарядним пристроєм, який, коли напруга акумуляторів падає до мінімуму, активує функцію зарядного пристрою, яка полягає в тому, що він дає команду автоматичному резервному генератору (GENSET), щоб той знову живив акумулятори і в той же час постачав енергію в будинок.

Інвертор, акумулятори та контролер заряду підключені до пристрою моніторингу системи під назвою Cerbo GX. Цей комунікаційний центр дозволяє контролювати систему в будь-який час і з будь-якого місця, а також максимізувати продуктивність [7]. Просто підключившись через портал Victron Remote Management (VRM), через додаток VictronConnect завдяки вбудованій в нього функції Bluetooth або безпосередньо через автономний багатофункціональний дисплей GX Touch 50, який показаний на малюнку вище. Звичайно, пристрій підключений до Інтернету за допомогою кабелю Ethernet.

Більш детальна інформація про роботу кожного компонента наведена в наступних розділах.

1.2 Роль заземлення

Електрика завжди спрямовується туди, де вона зустрічає найменший опір, тому людина може впливати на її шлях, щоб спрямувати електрику в безпечне місце, коли вона створює перевантаження. Це можна зробити за допомогою системи заземлення [7].

У кожному будинку кожен електричний елемент з'єднаний голим мідним дротом. Десь цей дріт з'єднаний з мідною трубою, яка закопана в землю. Саме туди буде спрямований електричний струм у разі короткого замикання або навіть удару блискавки.

Наведений вище приклад був наведений тому, що те ж саме повинно відбуватися з фотоелектричною системою, тобто кожен елемент повинен бути з'єднаний між собою і з заземленням, включаючи опори панелей і комбіновану коробку. Дуже поширеною помилкою є неприєднання заземлення фотоелектричної системи до тієї ж точки заземлення будинку, оскільки якщо блискавка влучить в одну систему, а не в іншу, між обома системами виникне небезпечний електричний диференціал [7]. Це з'єднання має вирішальне значення і називається бондингом.

Для того, щоб електричний струм потрапив у потрібну точку, земля повинна мати хорошу провідність, щоб полегшити вибір правильного шляху. Навіть якщо земля має хорошу провідність, бажано мати кілька мідних труб, закопаних у землю, за умови, що і труби заземлення, і все обладнання добре з'єднані. Зазвичай так роблять, оскільки це зменшує електричний потенціал, що накопичується в кабелі в разі розряду блискавки. Окрім глибокого закопування декількох труб, ділянку слід злегка зволожити, а труби засипати кам'яною сіллю.

Кожна заземлювальна труба повинна бути закопана на глибину від 2 до 2,5 метрів, причому 2 метри - мінімально допустима глибина. Як правило, ґрунт стає тим вологішим, чим глибше він заглиблюється, через зниження температури, що еквівалентно зменшенню випаровування, що є цікавим для збільшення провідності заземлення. Для зовнішнього заземлення дуже часто використовують голий мідний дріт, але він повинен бути достатньо товстим, щоб витримувати потужні електричні навантаження. Однією з рекомендацій є те, що кабель, який використовується для зовнішнього обладнання, повинен мати мінімум 6 AWG.

Два найпопулярніші методи заземлення - це використання стопорних шайб та схвалених механічних з'єднувачів. Останні можуть бути встановлені на модулі з гніздом для мідного дроту, який з'єднує компоненти і з'єднує їх із землею. Стопорні шайби використовуються разом із затискними та гвинтовими з'єднаннями в стійковій системі. Шайба надягається на болт і при затягуванні

до встановленого значення крутного моменту проходить через окислені або покриті поверхні, забезпечуючи міцне з'єднання між металевими частинами.



Рисунок 1.2 - Скріплювальні шайби в поєднанні з притискними хомутами та болтовими з'єднаннями

Цей розділ слід ретельно продумати перед початком монтажу системи, щоб значно полегшити роботу інсталятора та запобігти пошкодженню системи. Існує багато способів зробити це, головне, щоб система була дозволена і, якщо можливо, закодована відповідно до вимог міста, де буде відбуватися установка.

1.3 Фотоелектричні панелі

Фотоелектричні (ФЕ) панелі - це тип сонячних панелей, призначених для використання фотоелектричної сонячної енергії [8-12]. Це відновлювана і стійка технологія, яка використовується для перетворення сонячної енергії в електричну. Вона може використовуватися для виробництва електроенергії як в домашніх, так і в комерційних цілях, і відповідає за безпосереднє перетворення енергії сонячного випромінювання в електрику у формі постійного струму (DC).

Як відомо, сонце є потужним джерелом енергії, яке може задовольнити глобальні енергетичні потреби Землі протягом цілого року за допомогою лише

однієї години сонячного світла. Тим не менш, технології сонячної енергетики за сьогоднішніми стандартами здатні використовувати лише 0,001% енергії, яку випромінює сонце.

Фотоелектричні панелі спроектовані так, щоб витримувати умови, які виникають на вулиці, і бути здатними стати частиною "шкіри" будівлі. Вони мають гарні перспективи на майбутнє, оскільки мають унікальні переваги і великий потенціал стати відновлюваним і "зеленим" джерелом енергії. Слід пам'ятати, що термін їхньої експлуатації становить приблизно 25 років .

Кілька років тому, у 2009 році, середня вартість встановлення сонячної панелі становила \$8,50 за ват. Сьогодні ця ціна змінилася з кількох причин. По-перше, ефективність не можна порівнювати з тією, що була кілька років тому, оскільки вона значно вища. По-друге, виробничі процеси були оптимізовані та значно вдосконалені.

Gross Cost Per Watt, by Half Year

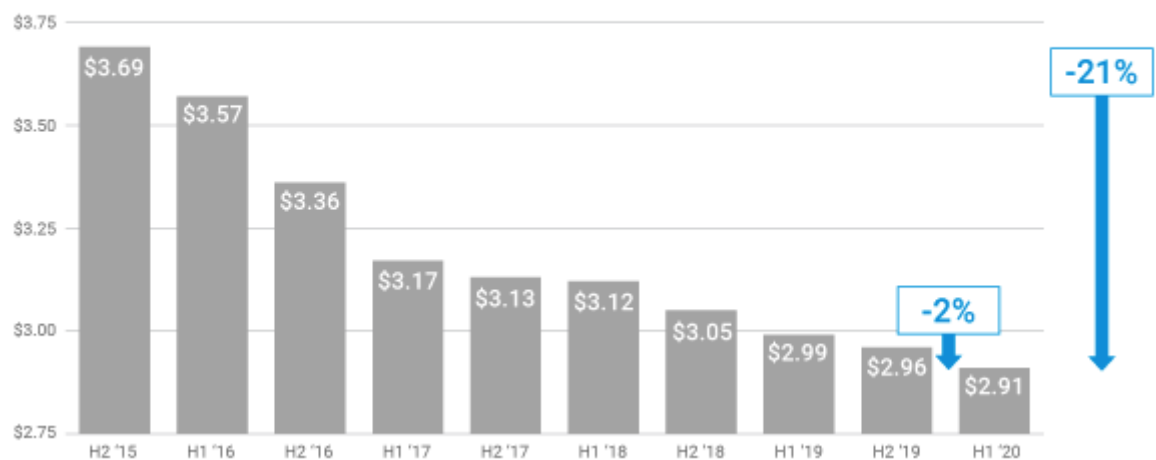


Рисунок 1.3 - Ціна в \$/Вт з першої половини 2015 року до першої половини 2020 року [13]

Обидва вищезгадані фактори означають, що ціна на сонячну енергію впала на 65% з 2009 року і на 21% з 2015 року, що означає, що поточна ціна становить \$2,91 за Ватт [13], як показано на рис.1.3. Це зниження є однією з головних причин, чому багато людей все більше цікавляться встановленням сонячних панелей.

Річард Свонсон, засновник однієї з найбільших у світі компаній з виробництва сонячної енергії SunPower, встановив закон Свонсона, який пояснює, чому ціни так сильно впали. Це пояснюється тим, що ціна на сонячні фотоелектричні модулі знижується на 20% на кожне подвоєння світових сонячних потужностей.

1.4 Фотоелектрична енергетика

1.4.1 Історична довідка

Фотоефект вперше помітив французький фізик Едмунд Беккерель у 1839 році, який виявив, що деякі матеріали виробляють невелику кількість електричного струму під впливом світла. У 1905 році Альберт Ейнштейн визначив природу світла та фотоефекту, на якому базується фотоелектрична технологія.

Перший фотоелектричний модуль був побудований компанією Bell Laboratories у 1954 році, він був просто дивиною через свою високу ціну. У 1960-х роках космічна галузь почала вперше серйозно використовувати цю технологію для забезпечення електроенергією космічних апаратів. Завдяки космічним програмам технологія стала більш надійною та доступною за ціною. Завдяки енергетичній кризі 1970-х років фотоелектрична технологія отримала визнання як джерело енергії для позакосмічних застосувань.

1.4.2 Принцип роботи фотоелектричної комірки

Фотоелектрика - це пряме перетворення світла в електроенергію на атомному рівні. Деякі матеріали мають властивість, відому як фотоефект; матеріал поглинає фотони світла і випускає електрони. Панель розділена на комірки, які відповідають за перетворення енергії світла в електрику постійного струму (DC), що відбувається при уловлюванні вільних вивільнених електронів. Використання фотоелектричного інвертора зазвичай пов'язане з

необхідністю стабілізувати струм, перетворюючи його з постійного в змінний перед використанням в локальній мережі [8,9]. На рис. 1.4 показано процес перетворення енергії фотоелемента.

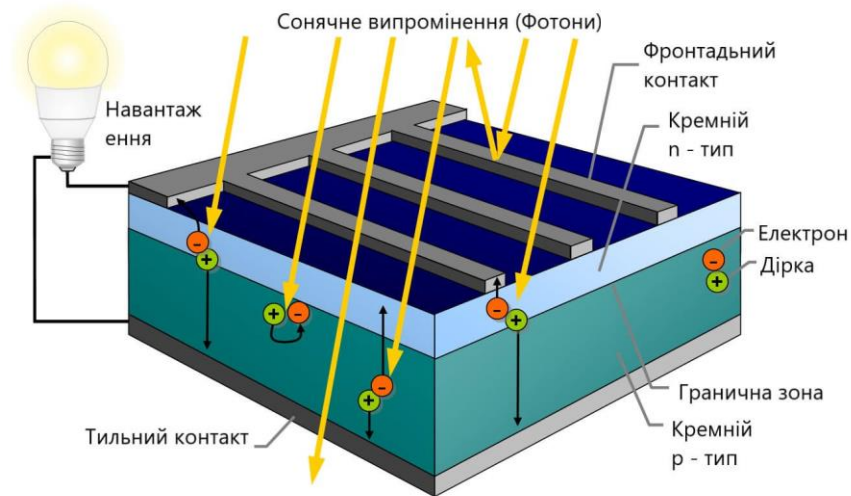


Рисунок 1.4 - Схема, що ілюструє роботу фотоелемента

Фотоелектричні елементи виготовляються зі спеціально обробленого напівпровідникового матеріалу, який має властивості металу та ізоляції для перетворення сонячного світла в електрику. Світло, яке поглинається напівпровідником, передається у вигляді енергії електронам. Це дозволяє електронам вільно протікати через матеріал у вигляді електричного струму. Напрямок потоку електронів контролюється позитивно і негативно зарядженими електричними полями у фотоелектричних елементах. Витягуючи струм з фотоелемента, енергія, вироблена сонячним елементом, може бути використана ззовні.

Кремній є одним з найбільш широко використовуваних напівпровідникових матеріалів у виробництві сонячних елементів. Насправді, приблизно дев'яносто відсотків сонячних панелей, що продаються сьогодні, використовують кремній як напівпровідниковий матеріал. Доступність кремнію на ринку сприяє тому, що кристалічна структура атома здатна забезпечити сонячним елементам вищу ефективність, що означає нижчу вартість і довший термін служби продукту. Кремній зазвичай легується фосфором, який допомагає виробляти кремній n-типу. Він буде легований бором, що дозволить

отримати кремній р-типу для збільшення провідності його кристалічної сітки. Це збільшення провідності допоможе прискорити рух електронів через позитивно-негативний перехід і створити потік струму і напруги у фотоелектричному елементі, таким чином виробляючи енергію. Інші напівпровідникові матеріали, що використовуються у сонячних елементах, включають тонкоплівкову фотоелектрику, органічну фотоелектрику і концентровану фотоелектрику.

Набір електрично з'єднаних фотоелектричних елементів зазвичай називають фотоелектричним модулем, також відомим як сонячна панель. Звичайна сонячна панель складається приблизно з 40 фотоелементів. Сонячні панелі також можуть бути з'єднані в сонячний масив. Вироблена електрична енергія прямо пропорційна збільшенню площі сонячної панелі або масиву. За даними Національної лабораторії відновлюваної енергетики (NREL), набір з 10-20 сонячних панелей необхідний для забезпечення достатньої кількості електроенергії для живлення повсякденного будинку [3,6].

Кількість електричної енергії, отриманої фотоелектричним елементом, залежить від інтенсивності, довжини хвилі джерела світла, а також від різних експлуатаційних характеристик фотоелектричного елемента. Найважливішими параметрами з точки зору продуктивності фотоелемента є максимальний струм і напруга, ККД, характеристичний і паразитний опір, температура, коефіцієнт ідеальності діода і енергія забороненої зони. З усіх факторів температура і сонячне опромінення мають найбільший вплив на продуктивність фотоелектричних елементів.

На рис. 1.5 показано графік, що відображає вольт-амперні характеристики фотоелектричного елемента, який працює за нормальних умов. Вольт-амперні характеристики фотоелемента важливі для визначення взаємозв'язку між струмом і напругою при поточній температурі і умовах сонячного опромінення. Інформація, яку надають вольтамперні характеристики, дозволяє спроектувати сонячний елемент так, щоб він працював якомога ближче до максимальної точки пікової потужності (MPP) фотоелектричного елемента.

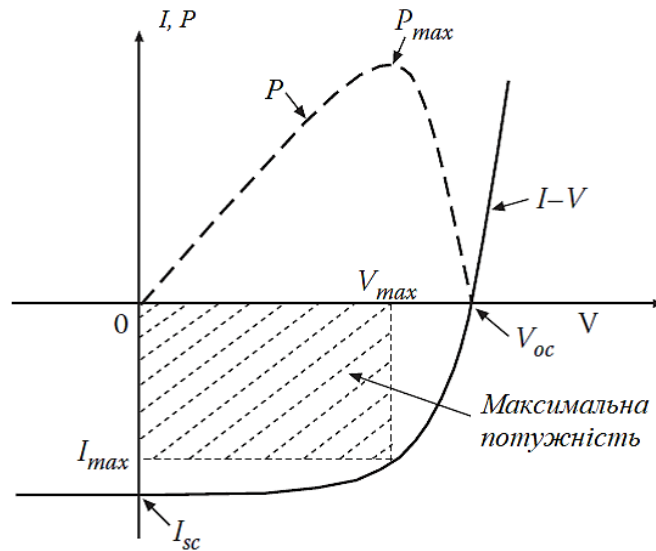


Рисунок 1.5 - I-V характеристична крива фотоелектричного елемента

Ефективність кожного фотоелектричного елемента визначатиме загальну ефективність сонячної панелі. Коефіцієнт корисної дії сонячної панелі визначається як відношення електричної енергії, виробленої фотоелектричним елементом, до кількості сонячного світла, захопленого фотоелектричним елементом. Іншими словами, ефективність сонячної панелі визначає кількість енергії, захопленої фотоелектричним елементом, яка згодом буде перетворена в електричну енергію.

Випробування ефективності сонячних панелей проводяться відповідно до Стандартних умов випробувань (STC), загальногалузевого стандарту, щоб порівняти, кваліфікувати і визначити ефективність і продуктивність сонячних панелей. Такими умовами є ясний сонячний день, коли падаюче світло падає на поверхню, звернену до сонця під нахилом 37 градусів, а сонце знаходиться під кутом 41,81 градуса над горизонтом. Стандартні умови тестування показані в Таблиці 1 нижче.

Таблиця 1.1 - Специфікації STC

Стандартні умови тестування (STC)	
Температура комірки	25°C
Сонячне опромінення	1000 Вт/м ²
Маса повітря	1,5

Важливо зазначити, що STC не є достатньо точним стандартом для оцінки реальної глобальної продуктивності та виходу через кліматичні та географічні умови Землі. Регулярні відхилення у спектрі ламп, температурі модуля, навколишньому середовищі та сонячному опроміненні є прикладами недоліків, які змушують виробників панелей не дотримуватися строгої відповідності STC, що призводить до некоректних вихідних даних. Сьогодні типова ефективність фотоелектричних панелей, доступних на ринку, становить 7-17%, хоча найбільш ефективні можуть досягати 22,2%. Значення ефективності панелей та елементів варіюються в залежності від виробника та типу панелі.

1.4.3 Типи фотоелектричних панелей

Близько 90% фотоелектричних панелей виготовляються з різновиду кремнію [8,9]. Якість їх сонячних елементів в основному залежить від чистоти цих похідних кремнію. Залежно від цього складу, комерційні сонячні панелі можна розділити на три різні групи:



Рисунок 1.6 - Типи фотоелементів

- Монокристалічні сонячні панелі (Mono-Si)

Монокристалічні сонячні елементи виготовляються з кремнію найвищого гатунку, при виробництві якого використовується процес Чохральського. Це робить їх найефективнішими елементами з коефіцієнтом корисної дії близько 15-20% (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Характеристики різних типів сонячних панелей

	Монокри- сталічний	Полі- кристалічний	Аморфний	CdTe	CIS/CIGS
Типова ефективність модуля	15-20 %	13-17 %	6-8 %	9-11 %	10-12 %
Найкраща ефективність дослідницької комірки	25 %	20,4 %	13,4 %	18,7 %	20,4 %
Площа, необхідна для 1 кВт·год	6-9 м ²	8-9 м ²	13-20 м ²	11-13 м ²	9-11 м ²
Типовий термін гарантії	25 років	25 років	0-25 років		
Середня ціна	0,189 \$/Вт	0,165 \$/Вт	0,213 \$/Вт		

Такі панелі мають високу вихідну потужність, займають менше місця і служать найдовше, але це також означає, що вони є найдорожчими. Ще однією перевагою є те, що вони, як правило, трохи менше піддаються впливу високих температур порівняно з полікристалічними панелями. Вони характеризуються темним кольором та округлою формою кутів сонячних елементів.

- Полікристалічні сонячні панелі (Poly-Si)

Полікристалічні сонячні елементи знаходяться на проміжному рівні. Вони виготовляються шляхом плавлення сирого кремнію, що є швидшим і дешевшим процесом, ніж для монокристалічних панелей. Вони також мають нижчу ефективність (13-17%), меншу площу (Табл. 1.2) і коротший термін служби, оскільки на них більшою мірою впливають високі температури. Ці панелі можна швидко відрізнити, оскільки цей тип сонячних панелей має квадратну форму, кути не зрізані, і вони мають синій, плямистий вигляд.

- Тонкоплівкові сонячні елементи (TFSC)

Тонкоплівкові сонячні елементи (TFSC) створюються шляхом нанесення фотоелектричного матеріалу, такого як кремній, кадмій або мідь, на підкладку. Існують різні типи залежно від матеріалів, що використовуються в процесі (аморфний кремній, селенід міді, індію, галію, телурид кадмію тощо). Цікавою перевагою цього виду панелей є те, що їх можна зробити гнучкими, що відкриває багато нових потенційних застосувань, і вони менш схильні до впливу високих температур. Ще одна перевага полягає в тому, що ці типи сонячних панелей найпростіші у виробництві, а ефект масштабу робить їх дешевшими, ніж альтернативи, оскільки для їх виробництва потрібно менше матеріалу. Основна проблема полягає в тому, що вони займають багато місця, що, як правило, робить їх непридатними для встановлення в житлових приміщеннях.

Крім того, вони мають найкоротші гарантії, оскільки термін їх служби коротший, ніж у моно- та полікристалічних сонячних панелей. Їхній вигляд темний і переважно однорідний. Ці типи елементів зазвичай використовуються для фотоелектричних електростанцій, інтегрованих у невеликі енергосистеми або будівлі.

Існує кілька різних типів тонкоплівкових панелей:

- o Аморфний кремнієвий сонячний елемент (A-Si) - найдешевший і найпоширеніший, незважаючи на його низьку ефективність (приблизно 7%).
- o Елементи на основі телуриду кадмію (CdTe) - дешеві у виробництві, але мають ККД близько 11%. Крім того, необхідні матеріали є рідкісними.
- o Елементи з арсеніду галію мають хорошу температурну стійкість і можуть досягати ефективності близько 32%. Матеріали, що використовуються для виробництва, також рідкісні, тому вони дорожчі, ніж інші типи. Фактично не доступні на ринку.
- o Елементи CIS (сплав міді та селеніду індію) мають модульну ефективність близько 12% (Таблиця 1.2), а вихідна потужність є постійною.

Нижче наведено таблицю, яка узагальнює інформацію, прокоментовану раніше, і додає деякі важливі деталі, які слід враховувати при порівнянні різних типів сонячних панелей:

- Двосторонні панелі

Двосторонні модулі характеризуються здатністю виробляти сонячну енергію з обох боків панелі, що означає, що сонячні елементи піддаються впливу сонця як спереду, так і ззаду.

При встановленні біфазних модулів на поверхню з високим коефіцієнтом відбиття, деякі виробники забезпечують збільшення виробництва до 30% за рахунок енергії, отриманої тільки з тильної сторони панелі. Існує багато конструкцій біфазних модулів, деякі з них мають подвійне скло, а інші використовують прозорі підкладки. Більшість використовує монокристалічні комірки, але завжди є винятки, і полікристалічні комірки також використовуються.

Єдине, що не змінюється при виготовленні цих модулів, це те, що енергія виробляється з обох сторін. Існують безрамкові модулі з подвійним склом, які відкривають задню сторону комірок, але вони не є біфазними. Справжні двосторонні модулі мають контакти/колекторні решітки як на передній, так і на задній стороні своїх комірок.

- Технологія PERC

Як і у всіх галузях, постійно проводяться дослідження і випробування, щоб поліпшити роботу і продуктивність практично всього, що є сьогодні. У сфері фотоелектричних елементів нещодавно стала відомою технологія PERC.

Абревіатура PERC розшифровується як Passivated Emitter Rear Cell, Passivated Emitter Rear Contact або навіть Passivated Emitter and Rear Cell, в залежності від джерела інформації, в якому можна знайти ту чи іншу інформацію. Сенс цієї абревіатури полягає в тому, щоб розмістити відбиваючий шар (діелектричний шар) для максимального використання випромінювання.

Стандартний фотоелектричний елемент складається з трьох шарів з різними електричними властивостями:

- Випромінюючий шар: це шар кремнію на верхній поверхні елемента, тобто область, яка найбільше піддається впливу випромінювання.

- Базовий шар: Проміжний шар кремнію, який контактує з випромінюючим шаром і алюмінієвим шаром.

- Поле задньої поверхні: Нижня поверхня алюмінієвого шару. Це найглибша область комірки.

Світло відоме як електромагнітна хвиля, яка може мати широкий діапазон різних довжин хвиль. Враховуючи спектр видимого світла, дивитися потрібно з обох кінців. Значна частина синього світла або "коротких" хвиль поглинається атмосферою. Однак решта досягає клітини з низькою енергією, тому може проникати лише у верхній шар клітини (емітер), генеруючи в ній електрони, а отже, і електричний струм.

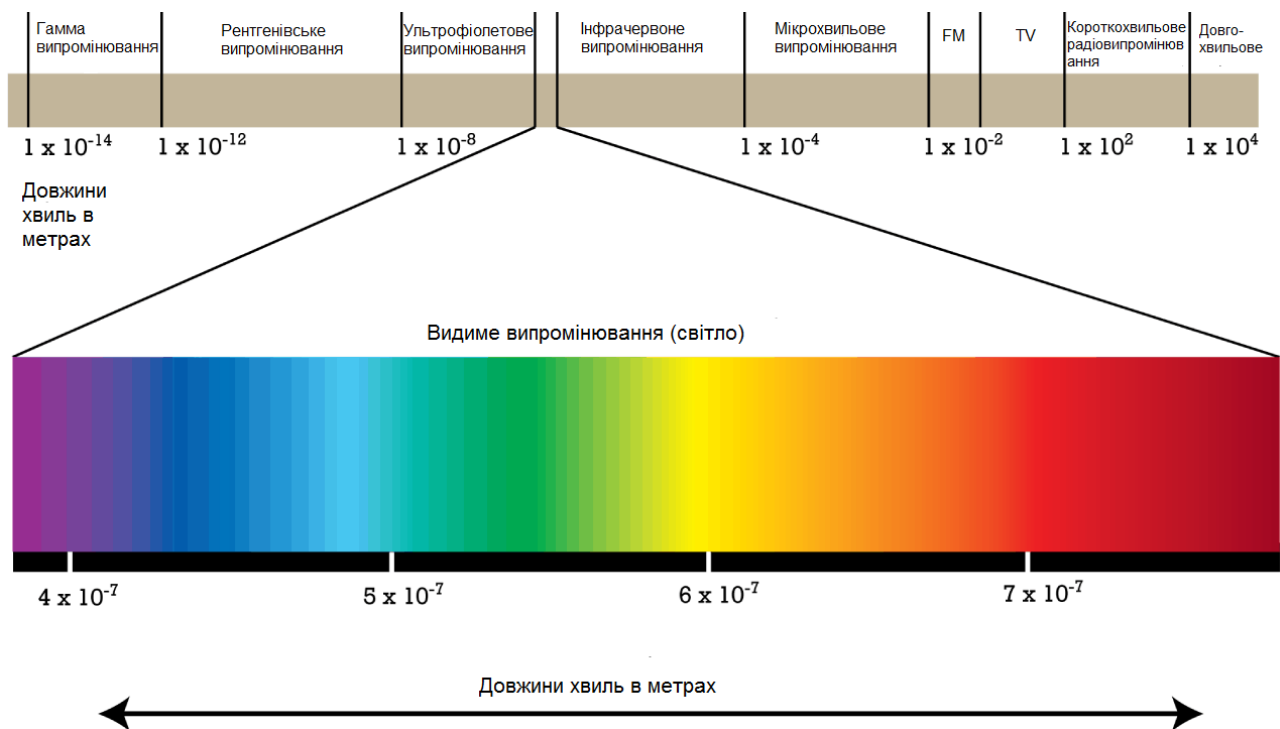


Рисунок 1.7 - Різні довжини хвиль, з яких складається світло

Червоне світло з більшою довжиною хвилі не поглинається атмосферою і досягає клітини з вищим рівнем енергії; таким чином, воно може проникнути всередину клітини і досягти базового шару, де також буде генерувати струм. Але це не єдині довжини хвиль, які досягають нашої клітини. Інфрачервоне світло, з вищим рівнем енергії, ніж червоне, може проникати навіть нижче

базового шару, досягаючи нижнього шару (BSF), втрачаючи таким чином цю енергію.

Принцип роботи фотоелектричного елемента PERC.

Якщо помістити пасивний діелектрик між алюмінієвим шаром і кремнієвим базовим шаром, то можна досягти того, що ці електрони від інфрачервоного світла не проникають до алюмінієвого шару, а відбиваються і дозволяють генерувати струм між базовим шаром і емітером. Таке використання інфрачервоного світла дає комірці PERC вищу "чутливість" до довгих хвиль.

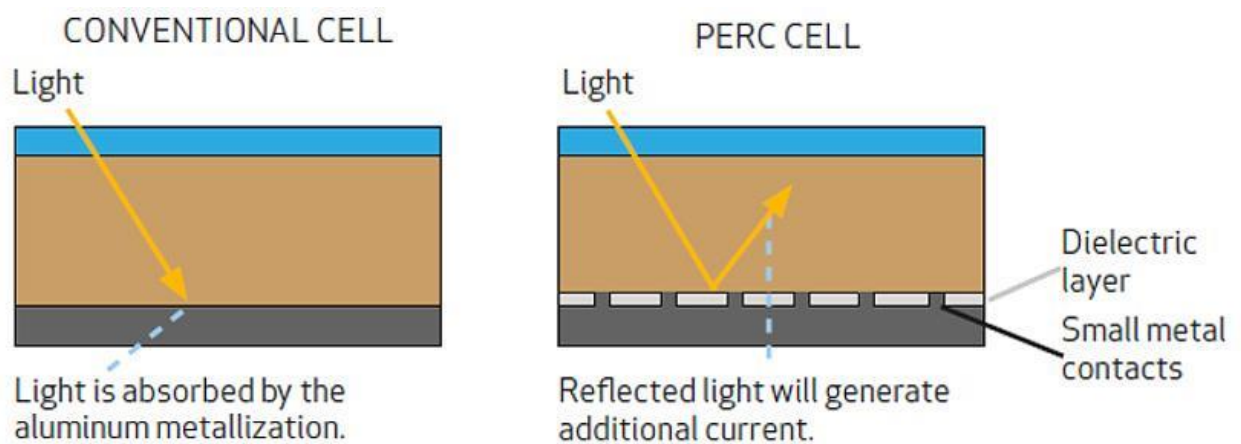


Рисунок 1.8 - Різниця між звичайною коміркою та коміркою PERC [14]

Як правило, ці довжини хвиль (рис. 1.8) більш присутні, коли сонце знаходиться під певним кутом, тобто в перші та останні години дня або в похмурі дні з низьким рівнем радіації. Це дозволяє модулям з технологією PERC мати вищу ефективність, ніж інші звичайні модулі (як монокристалічні, так і полікристалічні).

І це ще не кінець. Хвилі довші за інфрачервоні не можуть проникати у фотоелектричні елементи, точніше, вони не можуть генерувати енергію, але ці хвилі потрапляють безпосередньо на нижній шар алюмінію в звичайних елементах, поглинаючись ним і підвищуючи температуру модуля. А це підвищення температури може зашкодити виробництву. Однак у комірках PERC ці хвилі відбиваються, виводячись за межі панелі, і таким чином досягається нижча температура.

Нарешті, пасивація діелектричного матеріалу запобігає "втечі" електронів в алюмінієвий шар, що забезпечує кращу циркуляцію між кремнієвою основою та емітерними шарами. Таким чином, технологія PERC має дві значні переваги:

- Вища продуктивність при низькому опроміненні.
- Нижчий температурний коефіцієнт.

Для того, щоб продемонструвати покращення продуктивності з елементами PERC, нижче наведено порівняльну діаграму (рис. 1.9).

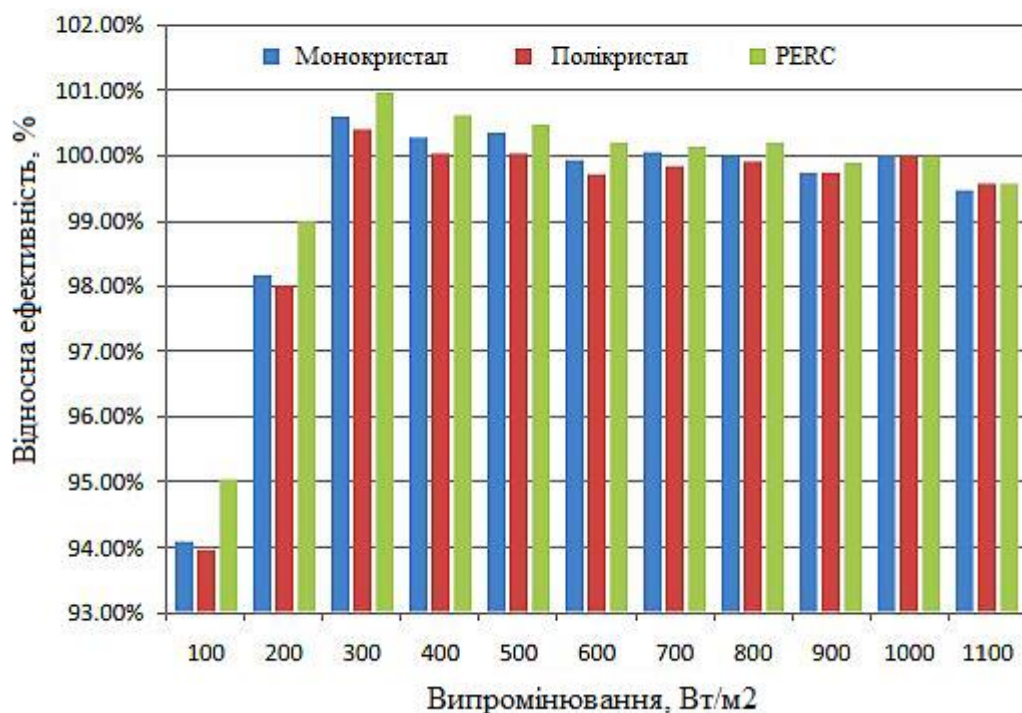


Рисунок 1.9 - Порівняння ефективності при різних значеннях освітленості [14]

На графіку показано порівняння ефективності при різних значеннях опромінення. Як можна помітити, різниця в ефективності між PERC і моно-/поліелектриками тим більша, чим нижча ефективність. Аналогічно, покращення ефективності є значним.

Що таке технологія Half-Cut або Half-Cell?

Це ще одна інновація в сонячних панелях. Вона полягає у використанні сонячних елементів, розрізаних навпіл, з розміщенням з'єднувальної коробки в центрі сонячної панелі. Таким чином, на відміну від звичайних сонячних

модулів, сонячна панель розрізана на дві половини, кожна з яких має 50% потужності.

Half-Cell сонячні панелі, або панелі, що складаються з половинок сонячних елементів, також дозволяють розширити можливості фотоелектричних установок.

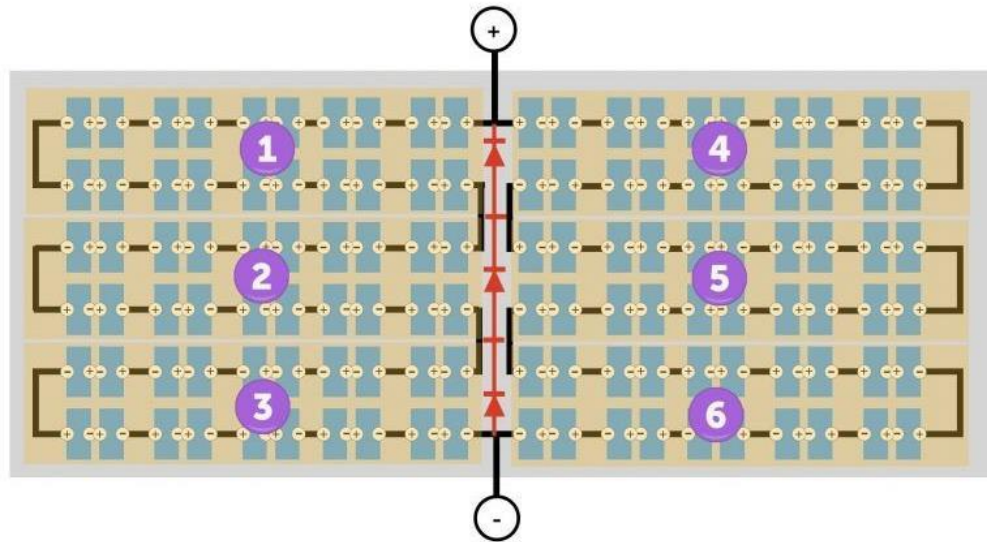


Рисунок 1.10 - Внутрішня схема підключення сонячної панелі з технологією Half-Cell

Як показано на рисунку 1.10, сонячні панелі НС розділяють потік струму на дві частини, з'єднані послідовно, і мають 6 окремих рядів комірок, з'єднаних паралельно. Це зменшує внутрішній опір панелей (менші втрати струму при транспортуванні по струмопровідних доріжках) і забезпечує безперервне виробництво, коли панель частково затінена, оскільки часткове затінення однієї половини сонячної панелі не вплине на загальну потужність панелі.

1.5 Висновки до розділу

1. Проаналізовано загальну структуру автономної фотоелектричної системи. Встановлено роль кожного його її елементу.
2. Встановлено роль системи заземлення для коректної роботи фотоелектричної системи.

3. Проведено детальний аналіз фотоелектричного елемента. Вивчено принцип його роботи, типи, характеристики та фактори від яких залежить його ефективність. Наведено порівняння ефективності при різних значеннях освітленості для різних технологій виготовлення фотоелектричних елементів.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір акумуляторів

2.1.1 AGM (Absorbed Glass Mat)

Технологія, яка використовується в AGM-акумуляторах, зображена на рис. 2.1, полягає в тому, що поділ між позитивною і негативною пластинами покритий скляною прокладкою, функція якого полягає в поглинанні, утриманні акумуляторної кислоти і контролі її потоку. Пластини встановлюються за допомогою сильного стиснення в кожній з комірок, встановлюючи їх в пластикову коробку і підтримуючи певний тиск. Після такого стиснення прокладка приварюється на місце, оскільки пластини і прокладки щільно прилягають один до одного, тож вони майже не піддаються вібрації.

Будова AGM батареї

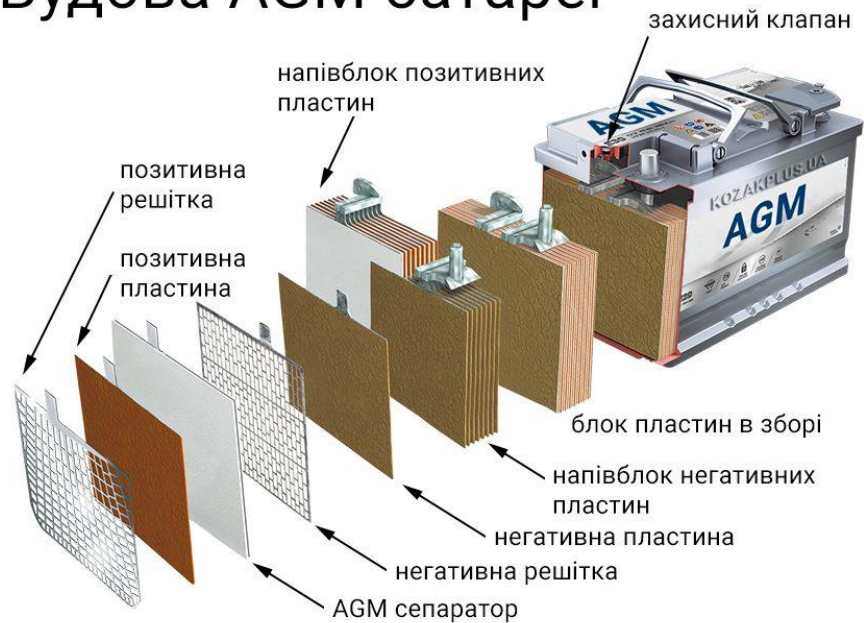


Рисунок 2.1 - Будова AGM-акумулятора

Для досягнення більш тривалого терміну служби батарея повинна бути добре стиснута зсередини, оскільки це обмежує поділ матеріалу, що міститься в пластинах, протягом циклів. Ця вимога також призводить до зменшення

внутрішнього опору і значного поліпшення вихідної потужності. Зазвичай для стиснення батареї до кінця терміну служби використовується жорсткий контейнер.

2.1.2 LiFePO₄ (літій-залізо-фосфат)

У 1996 році Техаський університет (та інші дослідники) відкрили фосфат як хороший катодний матеріал для літєвих акумуляторів, оскільки його поєднання з літєм забезпечує хороші електрохімічні характеристики при низькому опорі. Такі високі показники стали можливими завдяки нанорозмірному фосфатному катодному матеріалу. Його основними перевагами є висока струмова ємність і тривалий час циклу, а також хороша термостійкість, більша безпека і толерантність до зловживань.

Фосфат літію більш толерантний до роботи в умовах повного навантаження і не зазнає такого стресу, як інші літій-іонні системи, при тривалому утриманні під високою напругою. Як і у випадку з більшістю акумуляторів, низькі температури знижують продуктивність, а високі температури зберігання скорочують термін служби батареї. Однією з характеристик літій-фосфатних акумуляторів є те, що вони мають вищу швидкість саморозряду, ніж інші літій-іонні акумулятори, що зазвичай спричиняє проблеми з балансом при старінні акумулятора. Цей тип акумуляторів не має залежності від вологості, а низькі температури знижують його продуктивність.

На рис.2.2 узагальнено характеристики літій-залізо-фосфатного акумулятора. Сильними сторонами цього типу акумуляторів є тривалість життя, безпека та питома потужність. Найчастіше цей тип акумуляторів використовується для заміни свинцево-кислотних стартерних акумуляторів автомобілів.



Рисунок 2.2 - Характеристики літій-залізо-фосфатних акумуляторів [15]

2.1.3 NMC (нікель-марганець-кобальт)

Однією з найуспішніших літій-іонних систем є комбінація нікель-марганець-кобальтових катодів (NMC), ці системи можуть бути адаптовані для використання в якості енергетичних або силових елементів. Кремній, доданий до графіту, має той недолік, що анод збільшується і зменшується при навантаженні і розвантаженні, що робить елемент механічно нестабільним.

Що відрізняє NMC від інших, то це поєднання матеріалів. Хорошим прикладом для пояснення цієї комбінації може бути кухонна сіль, основними інгредієнтами якої є натрій і хлорид, які самі по собі є токсичними речовинами, але при змішуванні слугують приправою і харчовим консервантом.

Нікель має високу питому енергію, але малу стабільність; марганець, навпаки, має низьку питому енергію, якої він досягає завдяки своїй структурі, що також забезпечує низький внутрішній опір. Поєднання цих металів підсилює сильні сторони кожного з них.

Цей тип акумуляторів зазвичай обирають для електроінструментів, велосипедів та іншого електротранспорту. Найчастіше використовується комбінація катодів 1-1-1, тобто одна третина нікелю, одна третина марганцю і одна третина кобальту. Така комбінація знижує собівартість, оскільки значно зменшується використання сировини, в даному випадку - кобальту. Очевидно,

що це не єдина можлива комбінація, NCM (5-3-2), 5 частин нікелю, 3 частини кобальту і 2 частини марганцю також дуже поширені (Нідерланди, 2016).

Як згадувалося вище, вартість кобальту в останні роки була високою, наприклад, у 2018 році його ціна становила 90 доларів за кілограм. Тому багато виробників акумуляторів намагалися триматися якомога далі від кобальтових систем. Тому виробники, як правило, обирають системи на основі нікелю, оскільки вони мають вищу щільність енергії, нижчу вартість і довший термін служби, ніж елементи на основі кобальту, навіть якщо вони мають дещо нижчу напругу. На рис.2.3 показані характеристики NMC.

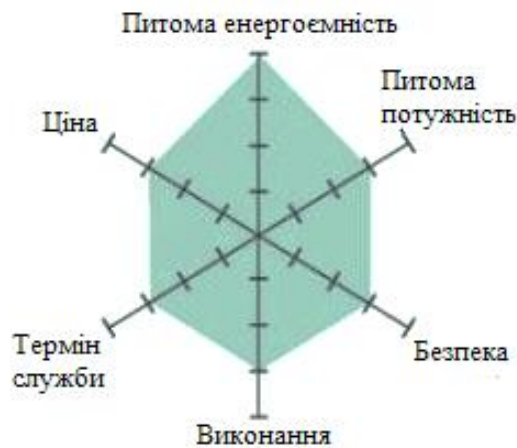


Рисунок 2.3 - Характеристики нікель-марганцево-кобальтових елементів [15]

Як показано на малюнку вище, NMC має хороші загальні характеристики і перевершує інші акумулятори за питомою енергією. Ця батарея зазвичай є найкращим кандидатом для електромобіля, оскільки вона має найнижчу швидкість самонагрівання.

2.1.4 LTO (літій-титанатні)

По суті, LTO - це акумуляторна батарея, заснована на технології літій-іонних акумуляторів, а точніше, це їх наступник. Оксид літій-титанату є заміником графітового анода, який зазвичай використовується в багатьох типах батарей. Якщо номінальна напруга елемента становить 2,40 В, LTO випускає високий струм розряду, що в 10 разів перевищує ємність більшості

літєвих батарей. Замість частинок вуглецю на його поверхні використовуються нанокристали літій-титанату.

Виробництво літій-титанатних акумуляторів має багато наукових переваг завдяки необхідним нанотехнологіям. Це означає хороший результат, оскільки виключно нові технології позитивно впливають на продукт і його надійність. LTO мають багато переваг, наприклад, тривалий термін служби, високу швидкість заряджання та розряджання, підвищену безпеку, хороші низькотемпературні характеристики та високий потенціал для інтеграції з рішеннями для зберігання енергії. Щоб продемонструвати це, на рис.2.4 показані характеристики LTO.



Рисунок 2.4 - Характеристики LTO (літій-титанату) [15]

Як було сказано і показано вище, LTO має три сильні сторони: безпека, низькотемпературні характеристики і термін служби. Сьогодні багато компаній намагаються покращити питому енергію та знизити вартість.

2.2 Система керування батареєю (BMS)

Система керування акумулятором (Battery Management System, BMS) - це, по суті, мозок акумуляторної батареї. Вона вимірює і повідомляє важливу інформацію для роботи батареї, а також захищає батарею від пошкоджень у широкому діапазоні умов експлуатації.

Перш за все, необхідно знати її компоненти, а також основні функції. Найважливішою функцією BMS є самозахист або, що те ж саме, захист кола. Літій-іонні акумулятори продаються з критичними конструктивними недоліками: Якщо ви перезарядите їх, ви можете пошкодити їх, спричинити перегрів і навіть вибух або загоряння. Тому важливо мати BMS для забезпечення захисту від перенапруги.

Кожна схема захисту акумулятора має два електронні перемикачі, які називаються MOSFET - напівпровідникові прилади, що використовуються для перемикання електронних сигналів на увімкнення або вимкнення в ланцюзі. BMS зазвичай має розрядний MOSFET і зарядний MOSFET. Коли мікросхема літій-іонного захисту виявляє, що напруга на елементах перевищує певну межу, вона припиняє заряд, відкриваючи зарядний MOSFET. Як тільки заряд повернеться до колишнього рівня, перемикач знову замкнеться. Аналогічно, коли елемент розряджається до певної напруги, захист припиняє розряд, відкриваючи розрядний MOSFET.

Другою найважливішою функцією, яку виконує BMS, є управління енергоспоживанням, наприклад, більшість ноутбуків не тільки здатні визначити, скільки заряду залишилося в акумуляторі, але й те, яке ваше номінальне споживання, тобто скільки часу залишилося для використання пристрою до нової підзарядки акумулятора. Отже, з практичної точки зору, управління зарядом акумулятора є дуже важливим для портативних електронних пристроїв .

BMS для певних застосувань включають вбудований зарядний пристрій, що складається з пристрою керування, індуктора, який є накопичувачем енергії, і розрядника. Пристрій керування керує алгоритмом заряджання, для літій-іонних елементів ідеальним алгоритмом заряджання буде постійний струм і напруга.

Акумуляторна батарея зазвичай складається з декількох окремих елементів, які працюють разом у поєднанні. В ідеалі всі елементи батареї повинні мати однаковий рівень заряду. Якщо елементи розбалансовані, окремі

елементи будуть піддаватися навантаженню, що призведе до передчасного завершення заряду і скорочення загального терміну служби батареї. Балансувальні пристрої BMS подовжують термін служби батареї, запобігаючи виникненню дисбалансу заряду в окремих елементах.

2.3 Контролери заряду

Як пояснювалося в попередніх розділах, батареї мають номінальну ємність відповідно до їхньої напруги, і перевищення цієї напруги може спричинити незворотні пошкодження батареї і навіть втрату її функціональності з часом.

Контролери заряду необхідні лише в особливих випадках. Без них можна обійтися, коли хтось хоче встановити у себе вдома сонячну батарею з підключеним до мережі акумулятором. Контролювати заряд не потрібно, тому що коли батарея заповниться, залишок енергії буде автоматично перенаправлений в мережу, що дозволить уникнути страшного перезарядження. Однак контролери заряду необхідні, якщо хтось намагається встановити автономну сонячну систему, від систем на даху до невеликих установок на човнах або рекреаційних транспортних засобах.

Таким чином, контролер заряду відповідає за управління енергією, яка надходить в акумуляторну батарею від сонячної батареї. Це дуже важливий компонент, який гарантує, що батареї глибокого циклу не будуть перезаряджені вдень, і що вночі енергія не повертатиметься до сонячних панелей і не розряджатиме батареї.

Окрім своєї основної функції - управління енергією, деякі контролери заряду виробляються з різними "додатковими функціями", які розширюють сферу їхньої роботи, наприклад, слідкування та контроль заряду. Контролери заряду сонячних батарей можна знайти в двох різних технологіях: ШІМ і MPPT.

2.3.1 ШІМ контролери (PVM)

Контролер сонячного заряду типу ШІМ є досить простим в електронному плані. В основному він діє як контактор, який дозволяє або забороняє проходження струму від сонячної панелі до акумулятора. Залежно від напруги, при якій він виявляє батарею, і заряду, який вона приймає, регулятор визначає її стан: розряджена або заряджена частково або повністю.

Таким чином, регулятор замикає коло і дозволяє струму текти від панелей до батареї, розмикаючи його, коли батарея досягає повного заряду. Це змушує панель працювати на напрузі, еквівалентній напрузі акумулятора, завжди нижчій, ніж та, яку панель може запропонувати, щоб цей заряд був можливим. Цей факт призводить до того, що панель не завжди віддає свою максимальну потужність, оскільки ми змушуємо її працювати при нижчій напрузі, тому ми втрачаємо ефективність і не використовуємо переваги потужності, яку можуть видати сонячні панелі в установці.

2.3.2 МРРТ контролери

Система відстеження точки максимальної потужності (МРРТ) - це електронна система, яка керує фотоелектричними модулями таким чином, щоб з них можна було витягти максимальну потужність. МРРТ не є сонячним трекером, це повністю електронна система, яка змінює електричну точку роботи панелей і, таким чином, дозволяє панелі видавати максимальну потужність. Додаткова вилучена потужність перетворюється на збільшений струм заряду акумулятора.

Щоб зрозуміти роботу МРРТ, спочатку слід розглянути роботу традиційного контролера заряду. Коли звичайний контролер заряджає розряджену батарею, він просто замикає коло, який дозволяє панелям бути підключеними до батареї. Це "змушує" панелі працювати при робочій напрузі акумулятора, яка зазвичай не відповідає ідеальній максимальній напрузі

живлення панелі. Крива "потужність/напруга/інтенсивність" для панелі потужністю 75 Вт в умовах STC 25°C і освітленості 1000 Вт/м² показана на рис. 2.5

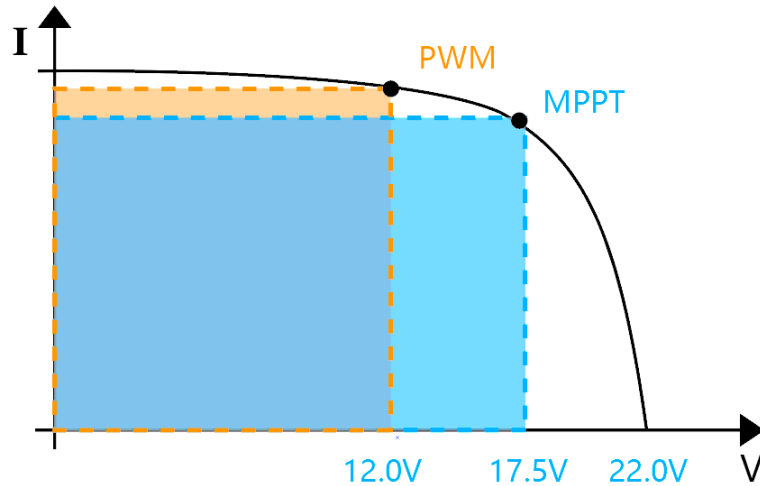


Рисунок 2.5 - Контролер заряду MPPT і традиційний регулятор заряду (PWM)

Як видно вище (рис. 2.5), традиційний регулятор заряду (PWM) з'єднує батарею з модулем і тому змушує модуль працювати при напрузі 12 В. Цей факт змушує модуль потужністю 75 Вт працювати при напрузі 12 В, що призводить до того, що модуль штучно видає лише близько 53 Вт.

Регулятори заряду, які включають MPPT, постійно розраховують напругу, при якій модуль, ймовірно, буде видавати максимальну потужність для умов даного моменту. Напруга максимальної потужності (V_{mp}) становить 17,5 В, і регулятор заряду з MPPT робить напругу акумулятора незалежною від напруги модуля, дозволяючи фотоелектричному модулю працювати при 17,5 В незалежно від напруги акумулятора, досягаючи збільшення струму заряду акумулятора

2.4 Сонячний інвертор

Сонячний інвертор - це звичайний інвертор, але він використовує сонячну енергію. Функція цього інвертора полягає в перетворенні постійного струму в

змінний за допомогою сонячної енергії. Постійний струм тече в одному напрямку в колі і допомагає подавати струм, коли немає електрики. Постійний струм використовується для невеликих пристроїв, в акумуляторі яких вже є енергія.

Це важливий компонент сонячної енергетичної системи. Основна функція інвертора полягає в перетворенні постійного струму сонячних панелей в змінний струм за допомогою різних електричних і електронних компонентів, інтегрованих і з'єднаних в схему, яка функціонує в процесі перетворення.

Енергія перетвореного змінного струму використовується для роботи таких приладів, як кондиціонер, телевізор, холодильник, мікрохвильова піч, індукційна піч тощо. У деяких виняткових випадках ми можемо використовувати енергію постійного струму, наприклад, для заряджання акумулятора мобільного телефону. Але, найчастіше, енергія, отримана від сонячної системи, використовується для живлення навантажень змінного струму.

Існує багато видів сонячних інверторів, але в цій роботі ми розглянемо саме автономні інвертори, оскільки вони найбільш підходять для віддалених або сільських районів, де електромережа розташована далеко від сонячного інвертора.

2.5 Автоматичний резервний генератор

Сьогодні, коли мова йде про встановлення сонячної електростанції в будинку, багато людей хочуть бути впевненими, що енергія буде доступна, коли вони її потребують. Якщо ви хочете забезпечити таку доступність, незалежно від того, чи є акумуляторні батареї частиною сонячної батареї, чи ні, додавання генератора може бути дуже корисним.

Генератори виконують три основні завдання для автономних систем, а саме:

1. Резервне зарядження. Виробництво електроенергії незалежно від погоди.
2. Вирівнювання заряду акумуляторів. Деякі акумулятори потребують планової перезарядки кілька разів на рік, щоб збільшення продуктивності та терміну служби.
3. Запуск навантажень, що перевищують потужність інвертора.

Як і батареї, генератори додають сонячній системі додатковий рівень складності, можуть потребувати обслуговування і мають менший термін служби, ніж сама сонячна батарея. Очікуваний термін служби генератора може збільшитися залежно від виробника і, звичайно, якщо у вас є хороша гарантія (зазвичай рекомендується мінімум два роки).

Ще одним фактором є розмір генератора і його вихідна напруга змінного струму. В автономних системах розмір генератора повинен бути таким, щоб забезпечити повне навантаження інвертора, з додаванням будь-яких додаткових навантажень, які можуть знадобитися. Більшість генераторів для домашніх систем мають потужність близько 2 500 Вт. Що стосується напруги змінного струму, то деякі генератори виробляють лише 230 В, а інші можуть рацювати 230/380 В.

Поєднання генератора з автономною сонячною батареєю забезпечить додаткову потужність системи і потенційно дозволить розглянути можливість використання меншої акумуляторної батареї, оскільки генератор може компенсувати дефіцит, коли сонячна енергія обмежена. Або ж додавання генератора до автономної сонячної батареї може забезпечити резервне живлення, одночасно максимізуючи виробництво сонячної енергії.

2.6 Клімат у м. Тернопіль

2.6.1 Розташування та клімат

Місто Тернопіль розташоване на заході України. У ньому знаходиться котедж, на якому базується ця кваліфікаційна робота. Згідно з різними джерелами, температура коливається від -15°C до 24°C , хоча бувають винятки,

коли мінімальна температура сягає -20°C , а максимальна - 33°C , як показано на рис.2.6 [16].

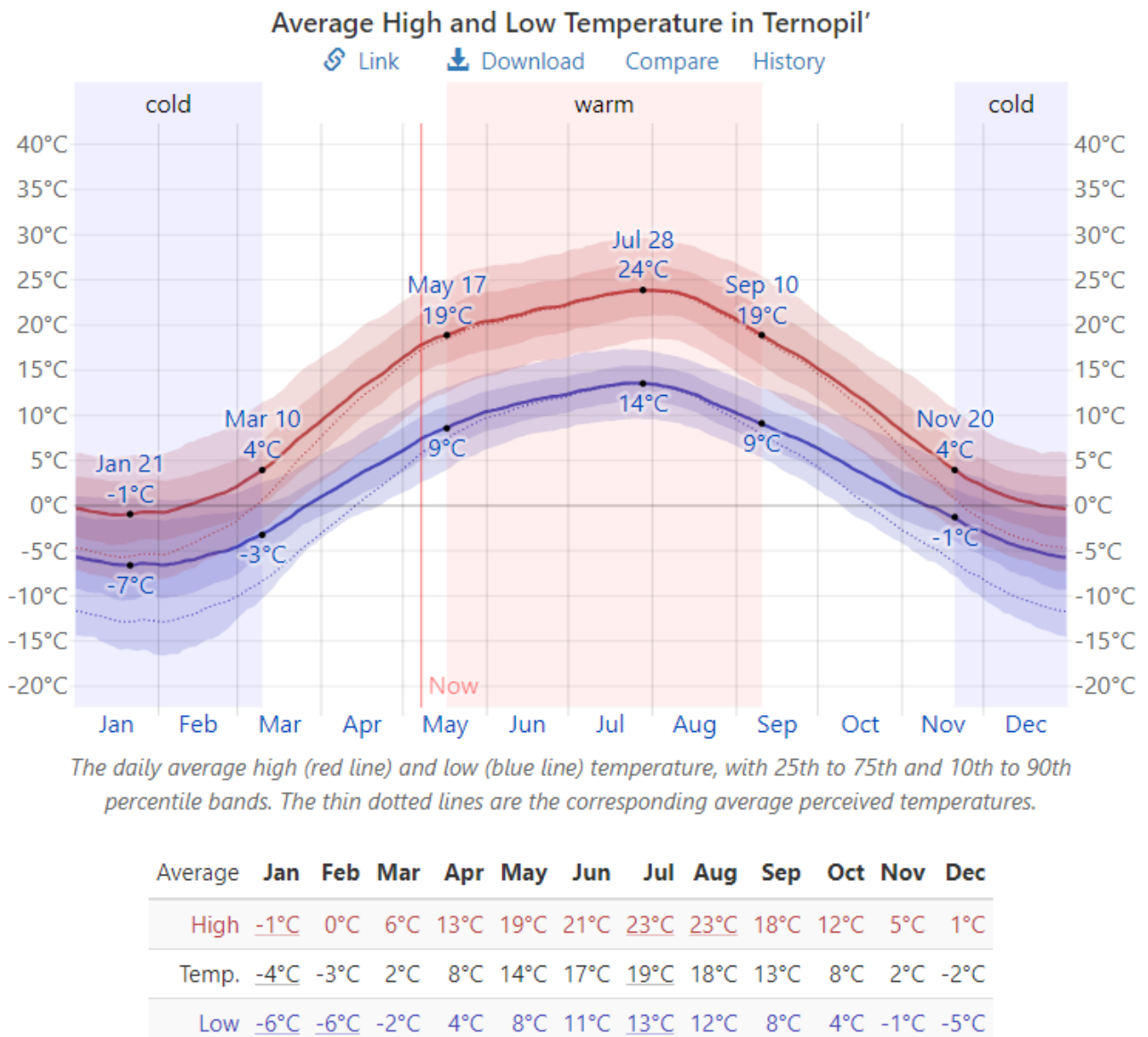
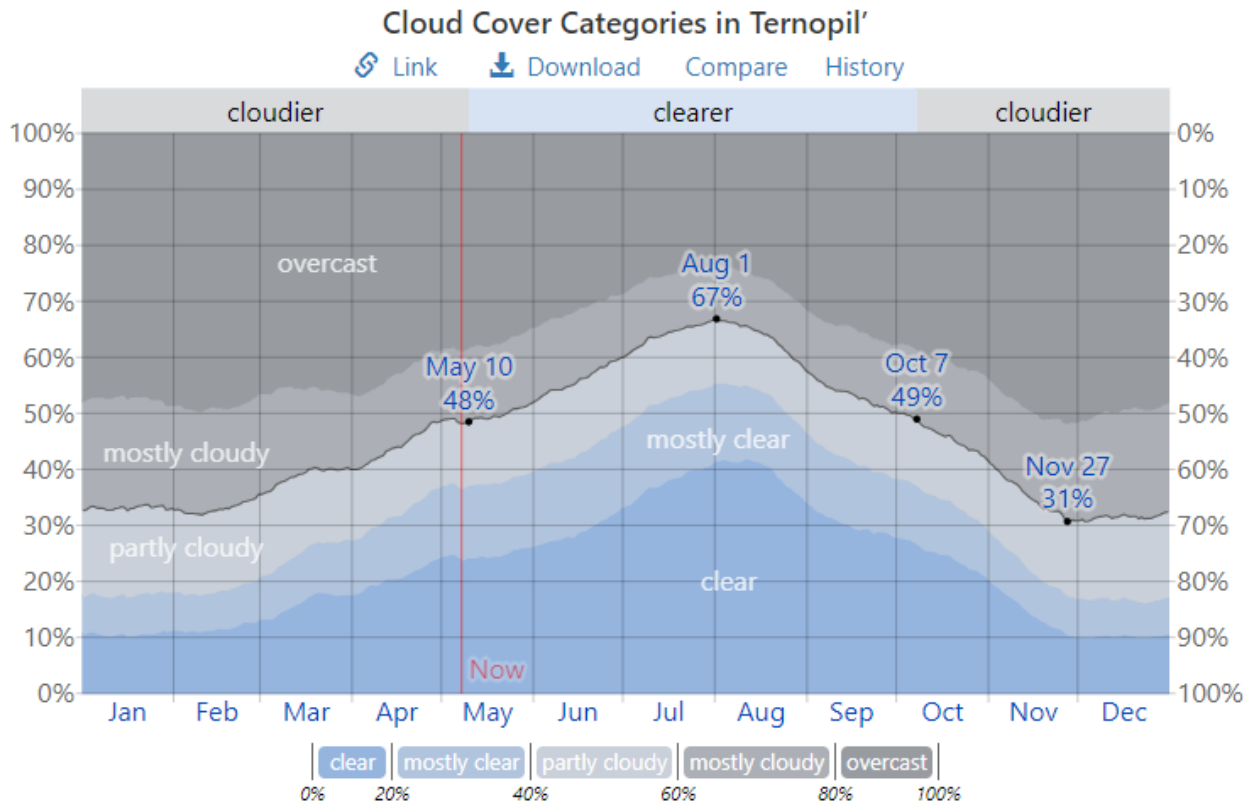


Рисунок 2.6 - Середньомісячна температура у м. Тернопіль

2.6.2 Хмарність

Протягом більшої частини року клімат у м.Тернопіль можна описати як помірно хмарний. В середньому, хмарно майже 50% дня. Більшість днів хмарність становить від 36% до 69%. Найхмарніша пора року зазвичай припадає на період зими, що означає більші втрати сонячної енергії.

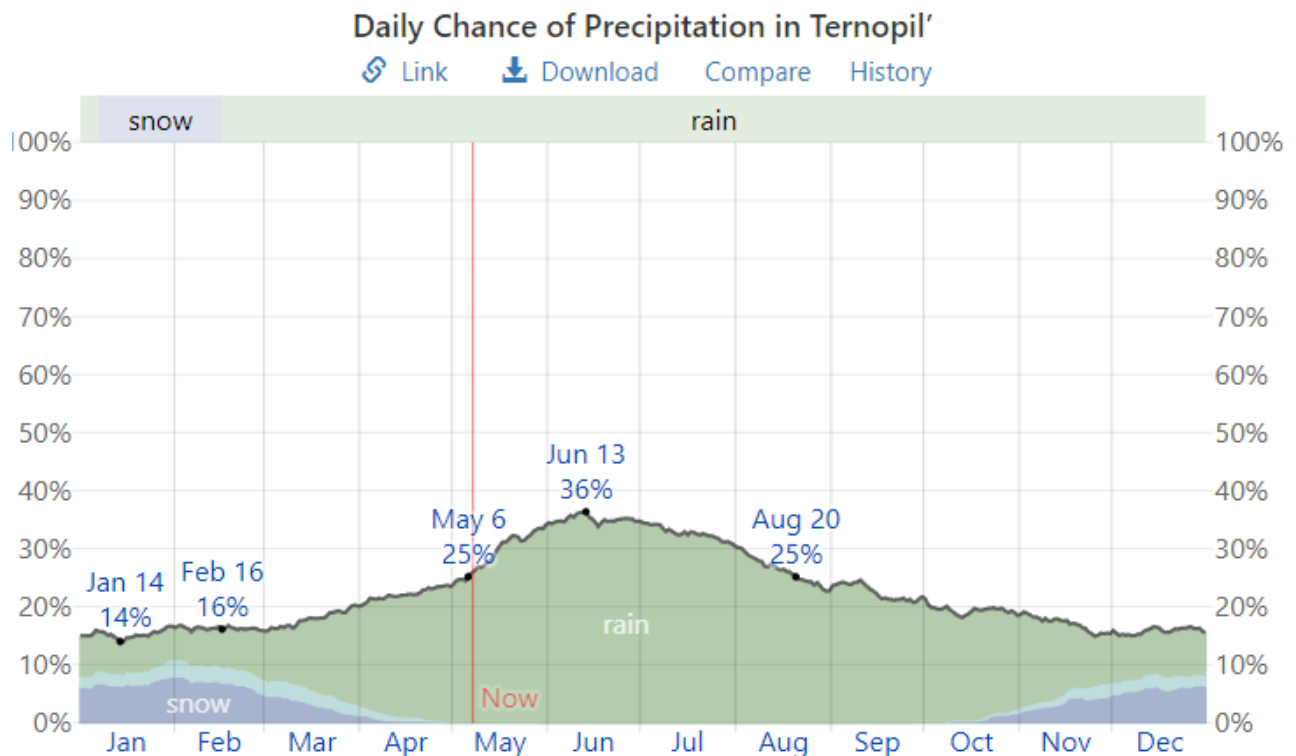


Fraction	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cloudier	67%	67%	61%	56%	50%	44%	36%	36%	47%	54%	65%	69%
Clearer	33%	33%	39%	44%	50%	56%	64%	64%	53%	46%	35%	31%

Рисунок 2.7 - Хмарність у м. Тернопіль [16]

2.6.3 Опади

Опади у м. Тернопіль випадають у вигляді дощу в середньому майже 9 місяців на рік, а це означає, що вони також будуть хмарними (рис. 2.8). Окрім дощу, в зимові місяці випадає сніг. Снігопади в середньому близько 3 місяців протягом року.



The percentage of days in which various types of precipitation are observed, excluding trace quantities: rain alone, snow alone, and mixed (both rain and snow fell in the same day).

Days of	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Rain	1.9d	1.9d	3.8d	6.3d	9.1d	10.5d	10.1d	8.1d	6.8d	5.7d	3.6d	2.4d
Mixed	0.7d	0.8d	0.8d	0.3d	0.0d	0.0d	0.0d	0.0d	0.0d	0.1d	0.5d	0.7d
Snow	2.1d	2.0d	1.0d	0.1d	0.0d	0.0d	0.0d	0.0d	0.0d	0.2d	1.0d	1.8d
Any	4.7d	4.7d	5.5d	6.6d	9.1d	10.5d	10.1d	8.1d	6.8d	6.0d	5.1d	4.9d

Рисунок 2.8 - Дошові дні на місяць у м. Тернопіль [16]

2.6.4 Сонячна енергія

Завдяки даним з WeatherSpark.com в цьому розділі наведено кілька факторів, наприклад, тривалість дня в різні пори року, поглинання хмарами і висота сонця. Після оцінки цих факторів генерується наступний графік (рис.2.9), який показує загальну денну кількість сонячної енергії, що падає на один квадратний метр земної поверхні (хоча на рисунку одиниці виміру вказані в кВт·год, насправді правильніше було б представити в кВт·год/м²).

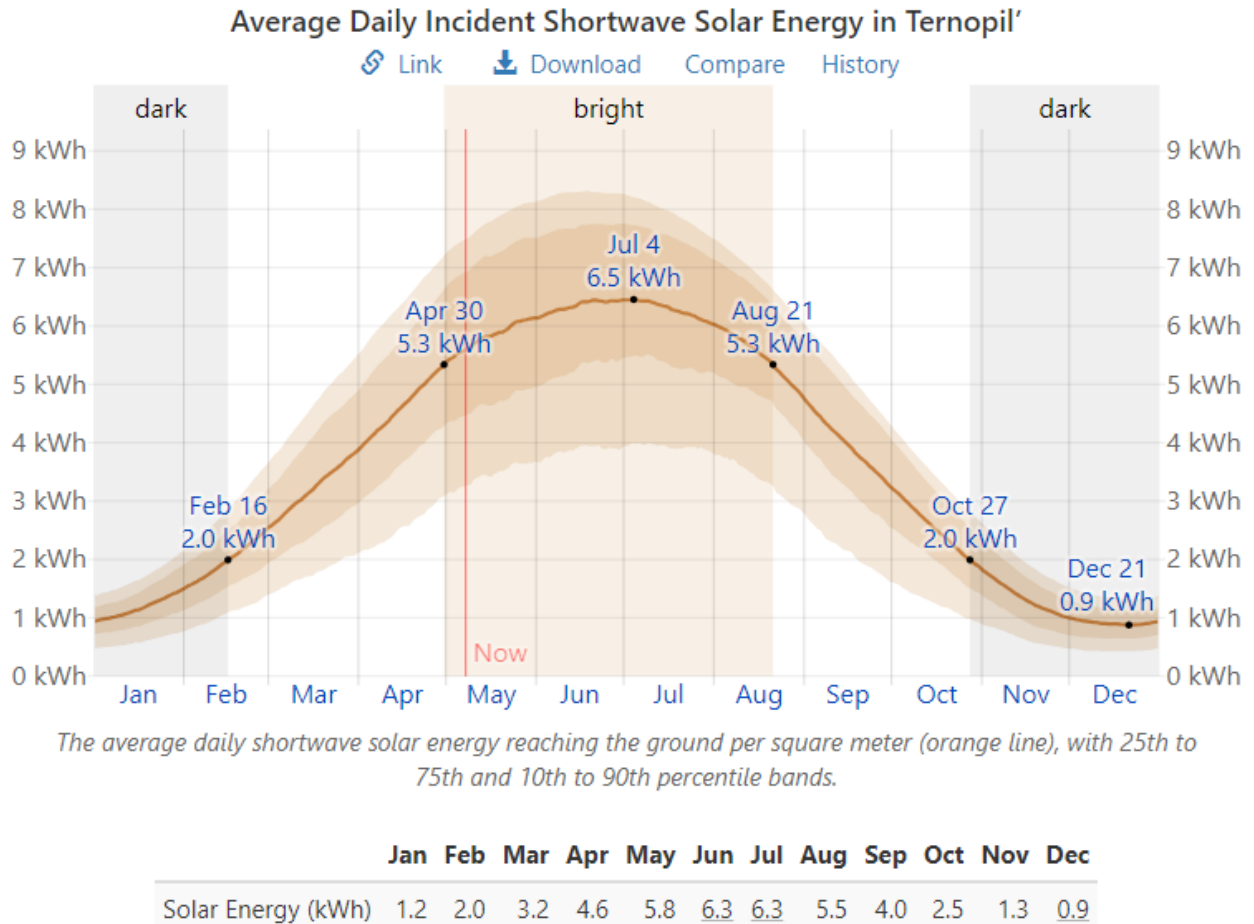


Рисунок 2.9 - Середньодобова сонячна енергія у м. Тернополі [16]

Як показано на ілюстрації, період з найбільшою сонячною енергією в році триває 3 місяці, саме з 7 травня по 6 серпня, з середньодобовим рівнем падаючої сонячної енергії вище $4,9 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$. Пік сонячної енергії припадає на 21 червня, із середнім показником $6,5 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$.

2.7 Порівняння надходження енергії при різних напрямках розміщення сонячних панелей

Нами досліджено надходження енергії відповідно до різних запропонованих варіантів розташування сонячних панелей. Перш за все, необхідно визначити азимут. Це кут між тілом і лінією, яка включає в себе північ і південь (в даному випадку південь був використаний як точка відліку), виміряний за годинниковою стрілкою, причому додатні напрямки слідує за

цим напрямком, а від'ємні напрямки йдуть проти годинникової стрілки. Наприклад, тіло, що рухається на схід, має азимут - 90° , а тіло, що рухається на захід, - 90° .

Розташування панелей наступне:

- 10 панелей на південь (азимут 0°)
- 10 панелей на південний захід (азимут 45°)
- Варіант 1: 3 панелі SE (азимут -45°), 4 панелі S (азимут 0°) і 3 панелі SW (азимут 45°)
- Варіант 2: 3 панелі SW (азимут 45°), 4 панелі S (азимут 0°) і 3 панелі W (азимут 90°)

Завдяки джерелу PVGIS стало можливим провести моделювання і отримати різні дані опромінення, за допомогою яких було згенеровано наступний графік (рис. 2.10). Панель, використана для цього прикладу, є монокристалічною, з номінальною максимальною потужністю 340 Вт і розмірами 1690 мм x 997 мм x 36 мм.

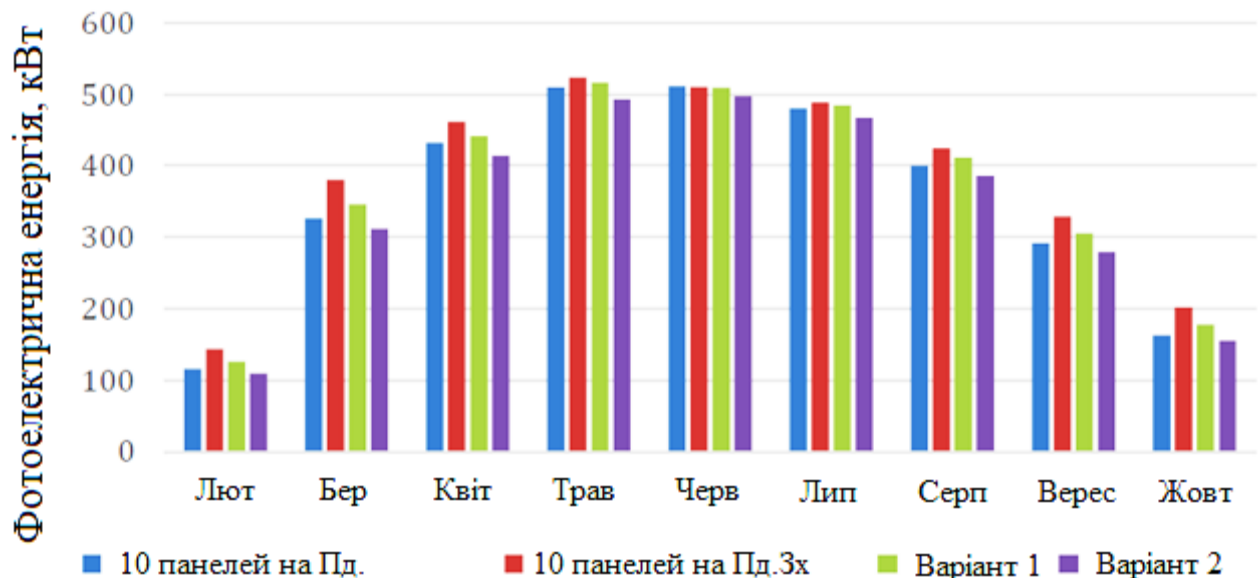


Рисунок 2.10 - Розрахована місячна фотоелектрична енергія

Як можна помітити, найкраще розташування - 10 панелей, повернених на південь. Хоча в червні та липні різниця мінімальна, в інші місяці вона значно більша, тому цей варіант і був обраний.

2.8 Висновки до розділу

1. Проведено теоретичний аналіз типів, видів та принципу роботи наступного обладнання, яке є складовою фотоелектричної установки: акумулятор, система керування батареєю, контролери заряду, сонячний інвертор, автоматичний резервний генератор.
2. Проведено аналіз кліматичних умов населеного пункту, в якому буде встановлено проєктовану фотоелектричну установку.
3. Проведено розрахунок чотирьох проєктів розташування фотоелектричних панелей та обрано той де панелі розташовані чітко на південь, оскільки в цьому випадку буде вироблено максимум електроенергії.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Особливості функціонування проектованої фотоелектричної установки

По-перше, перш ніж перейти до розрахунку стандартної автономної фотоелектричної системи, коротко визначимо обладнання, яке входить до складу цього типу систем, оскільки деякі моменти необхідні для розуміння проведених розрахунків. Повне пояснення кожного компонента наведено в попередньому розділі цієї кваліфікаційної роботи. Фундаментальними елементами є:

- *Фотоелектричні модулі*

Вони будуть відповідати за виробництво електроенергії. Вони можуть бути різних типів, включаючи ті, що найчастіше використовуються для цього типу установок - монокристалічні та полікристалічні панелі. Монокристалічні та полікристалічні сонячні панелі з послідовним з'єднанням елементів мають напругу близько 12-18 вольт при з'єднанні 36 елементів і 24-34 вольт при з'єднанні 72 елементів. Важливо завжди дивитися на криву I-V, яку надає кожен виробник у своїх специфікаціях, а також на вплив температури на струм і напругу модуля (рис. 3.1).

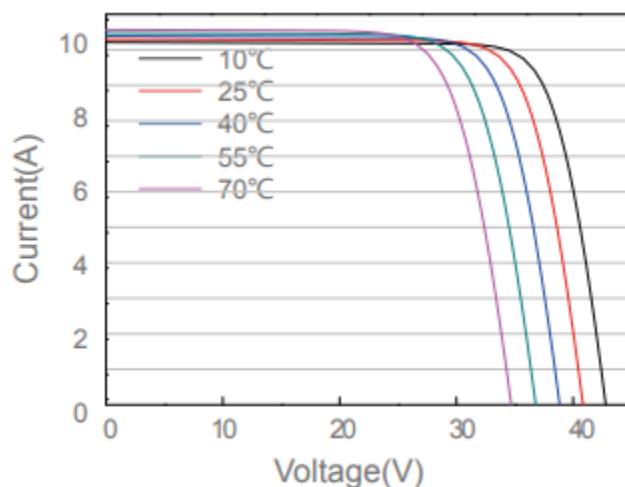


Рисунок 3.1 - Вольт-амперна характеристика JAM60S10-330/PR [17]

Підвищення температури викликає незначне збільшення струму i , в більшій мірі, зменшує вихідну напругу модуля.

- Контролери заряду

Відповідає за контроль заряду акумуляторів, а також за розряд і уникнення надмірного заряду або розряду. Простіше кажучи, контроллер - це перемикач, замкнутий і підключений послідовно між панелями і батареєю для процесу заряду і розімкнутий, коли батарея повністю заряджена.

Максимальний вхідний і вихідний струми відповідного контроллера для кожного застосування будуть залежати від максимального струму, який фотоелектрична система генерації може виробляти на вході, і максимального струму навантаження на виході. Щоб врахувати можливі піки опромінення або зміни температури, рекомендується, щоб при виборі контроллера він був на 15-25% більше струму короткого замикання, який може досягти його від фотоелектричної системи генерації ($I_{вх}$) або який може споживати навантаження системи ($I_{вих}$). Вибір контроллера буде тим, який підтримує більший з двох розрахованих струмів.

- Акумулятори

Відповідають за накопичення електричної енергії, виробленої фотоелектричною системою, щоб мати її доступною в години, коли сонце не світить. Найбільш рекомендованими для цього типу установки є стаціонарні AGM батареї, які з'єднуються послідовно та/або паралельно, щоб отримати 12, 24 або 48 В постійного струму, Li-ion батареї з відповідною кількістю комірок.. Критерії, які ми можемо використовувати при виборі рівня напруги акумуляторної батареї, необхідного для нашої фотоелектричної системи, можна узагальнити в наступній таблиці:

Таблиця 3.1 - Необхідна робоча напруга залежно від необхідної потужності

Потужність, яка споживається навантаженням (Вт)	Робоча напруга (В)
Менше ніж 1500	12
1500 – 5000	24 / 48
Більше ніж 5000	120 / 300

Для визначення необхідного розміру акумуляторів необхідно враховувати декілька параметрів:

- Максимальна глибина розряду (DOD), тобто максимальний рівень розряду, який допускається для батареї до відключення контролера, щоб захистити термін служби батареї. Максимальна глибина розряду, яка зазвичай розглядається для добового циклу (максимальна добова глибина розряду), становить близько 15-20 %.
- У випадку сезонного циклу, тобто максимальної кількості днів, протягом яких батарея може розряджатися без отримання достатньої кількості сонячного випромінювання, вони становлять близько 4-10 днів, а глибина розряду - приблизно 70 %. У фотоелектричних установках ми шукаємо не агресивні розряди, а скоріше прогресивні, з цієї причини, як правило, використовуються батареї зі 100-годинним розрядом (C100), оскільки чим інтенсивніше розряджається батарея, тим менше енергії вона здатна віддати. Крім того, вони зазвичай вказуються з часом розрядки 100 годин, оскільки, якщо говорити про час автономної роботи 5 і більше днів, то розрядка відбуватиметься, наприклад, за $24 \cdot 5 = 120$ годин, а за замовчуванням вибираються саме 100 годин.

- Інвертор

Якщо навантаження, що живляться, мають напругу 230 В змінного струму, нам знадобиться обладнання, яке перетворює постійний струм від регулятора на змінний струм для живлення навантажень. Цю функцію виконує інвертор. При виборі інвертора ми будемо враховувати потужність, яку споживає сума всіх одномоментних навантажень змінного струму. Таким чином, вибирається інвертор, потужність якого на 20 % перевищує потужність, яку вимагають навантаження, за умови, що вони працюють одночасно.

3.2 Послідовність розрахунку автономної фотоелектричної системи

По-перше, необхідно ввести поняття "пікових сонячних годин" або HPS [годин]. Його можна визначити як кількість годин, протягом яких ми маємо гіпотетичне постійне сонячне випромінювання 1000 Вт/м^2 . Тобто, одна пікова сонячна година "HPS" еквівалентна $1 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$ або, іншими словами, $3,6 \text{ МДж/м}^2$. Іншими словами, це спосіб підрахунку енергії, отриманої від сонця, шляхом групування її в пакети, кожен "пакет" з яких за 1 годину отримує 1000 Вт/м^2 .

Тут слід зробити важливе зауваження:

Випромінювання - це величина, яка описує інтенсивність сонячного світла, що досягає нас, визначається як миттєва потужність на одиницю площі, Вт/м^2 , або в еквівалентних одиницях.

Опромінення - це кількість випромінювання, отриманого за певний час, тобто потужність, отримана за одиницю часу і на одиницю площі. Зазвичай вимірюється у Вт/м^2 або, якщо мова йде про один день, у $\text{Вт/м}^2/\text{день}$ або еквівалентних одиницях.

Для розрахунку значення HPS необхідно значення падаючого випромінювання розділити на значення потужності випромінювання за стандартних умов вимірювання (STC), оскільки саме за цих умов виконуються електричні характеристики фотоелектричних модулів. Це значення потужності випромінювання в стандартних умовах вимірювання становить 1000 Вт/м^2 . Тобто, якщо у вас є дані сонячного випромінювання за певний день і ви розділите їх на 1000, то отримаєте HSP. Наприклад, якщо випромінювання становить 3800 Вт/м^2 , щоб перевести його в HSP, його ділять на 1000 Вт/м^2 , щоб отримати 3,8 HPS. Після цього можна починати відповідні розрахунки системи.

3.3 Оцінка споживання

Тут завжди важливими є дані, надані споживачем, і вони повинні бути максимально реалістичними, щоб уникнути відхилень у розрахунках та реальними даними. Якщо установка виконується для будинку, який використовується щодня протягом року, слід вибрати середнє значення за весь рік. Якщо установка виконується для періодичного використання, наприклад, влітку, слід вибирати значення для літніх місяців. У нашому випадку є ряд споживачів, потужність яких наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Споживачі енергії у будинку

Навантаження	Потужність, кВт	Загальна потреба в енергії на добу, кВт·год/добу	Загальна потреба в енергії, кВт·год/добу + 20 %
Кухонна індукційна плита	1,7	3	3,6
Кондиціонер	0,7-5,2	0,5-1,5	0,6-1,8
Водонагрівач (душ)	2	3	3,6
Холодильник	0,04	0,96	1,152
Водонагрівач (Насоси)	0,78	2	2,4
Світлодіодні лампи	0,025	0,1	0,12
Водонагрівач (миття посуду/ручне миття)	2	1,5	1,8
Кухонний вентилятор	0,26	0,2	0,24
Кавоварка	1	0,4	0,48
ВСЬОГО	8,5	11,66/12,66	13,992/15,192

За допомогою даних з цієї таблиці 3.1 отримують середньодобове споживання установки, до якого додають 20 % як рекомендований запас міцності. Важливим моментом є те, що в установці будуть втрати продуктивності в акумуляторі та інверторі, і це впливає на кінцеву потребу в

енергії. Як правило, для правильного вибору розміру, ефективність батареї приймається на рівні 95 %, інвертора – 90 %, а провідників – 100 %.

Тому для розрахунку середньодобового споживання (L_{md}) враховується наступний вираз:

$$L_{md} = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{con}} = \frac{15,192}{0,9} = 17,768 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу} \quad (2.1)$$

де L_{md} - середньодобове споживання електроенергії,

$L_{md,DC}$ - середньодобове споживання електроенергії навантаженнями постійного струму,

$L_{md,AC}$ - навантаженнями змінного струму.

Як і очікувалося, реальне середньодобове споживання дещо перевищує номінальне, оскільки, були враховані втрати, які можуть виникати в деяких елементах установки, і запас потужності + 20%.

Після розрахунку споживання необхідно знайти дані про глобальну сонячну радіацію на в м.Тернопіль для конкретного місця розташування будинку, використовуючи, наприклад, PVGIS (безкоштовний онлайн-додаток).

Об'єднавши ці дані, можна отримати таблицю 3.2 (Вт/м²/день) відповідно до нахилів, що підлягають дослідженню. Ці нахили відносяться до кута нахилу, який вимірюється відносно горизонталі, тобто кут 0° буде відповідати панелі, паралельній підлозі, тоді як кут 90° буде відповідати панелі, перпендикулярній підлозі.

Розраховується оптимальний нахил для установки, для якого необхідно застосовувати критерій критичного місяця, тому його необхідно встановити використовуючи дані табл.. 3.3

Для кожного нахилу слід визнати найвище значення всіх коефіцієнтів кожного стовпчика, оскільки вони будуть відповідати порі року, коли співвідношення між споживанням енергії та доступним випромінюванням буде найвищим, так що постачання енергії повинно бути гарантоване, особливо в

цей час, навіть якщо це означає перевищення розмірів для інших місяців. Ці значення були позначені заштрихованими клітинками.

Таблиця 3.2 - Таблица випромінювання (Вт/м²/день)

Місяць	60 градусів	50 градусів	45 градусів
Лютий	1511	1453	1410
Березень	3712	3655	3592
Квітень	4339	4427	4431
Травень	4815	5055	5130
Червень	5454	5826	5960
Липень	4964	5259	5363
Серпень	4046	4181	4213
Вересень	3788	3777	3736
Жовтень	2236	2156	2096

Таблиця 3.3 - Таблица коефіцієнтів

Місяць	60 градусів	50 градусів	45 градусів
Лютий	774	805	830
Березень	315	320	326
Квітень	1024	1003	1002
Травень	923	879	866
Червень	1955	1830	1789
Липень	3580	3380	3313
Серпень	2635	2550	2531
Вересень	1173	1176	1189
Жовтень	1987	2060	2120

Зазвичай відбувається так, що максимальні значення збігаються з місяцями з більшою сонячною радіацією. Однак у цьому випадку споживання не є постійним протягом року, а це означає, що максимальні значення не

збігаються в один і той самий місяць. Це не впливає на розрахунок, оскільки необхідно вибрати максимальні співвідношення в другій таблиці. Після того, як ці значення відомі, вибирається найнижче з них, щоб уникнути надмірного збільшення розмірів, що в даному випадку відповідає значенню 3313,40 і 45° нахилу.

3.4 Розрахунок загальної кількості необхідних фотоелектричних панелей

Розрахунок загальної кількості необхідних панелей виконується за наступною формулою:

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} \cdot HPS_{crit} \cdot PR} = \frac{15192}{340 \cdot 5,36 \cdot 0,9} = 9,25 \equiv 10 . \quad (3.2)$$

Пояснення цього рівняння просте: щоб дізнатися, скільки панелей нам потрібно для виробництва енергії, яку система вимагає щодня, ми повинні розділити цю енергію на енергію, вироблену кожною панеллю, тому що щоденна енергія, яку може дати кожна панель, отримується з рівняння:

$$E_p = P_{MPP} \cdot HPS_{crit} \cdot PR . \quad (3.3)$$

де P_{MPP} - пікова потужність панелі за стандартних умов вимірювання (STC). В даному випадку використовується модель JAM60S10 320-340/MR з піковою потужністю 340 Вт в STC.

HPS_{crit} - пікові години сонячного сяйва критичного місяця, розраховані з "Таблиці випромінювання", тобто: випромінювання критичного місяця (липень 45°) / 1000 Вт/м² = 5,36 HPS.

PR - загальний робочий фактор, який варіюється між 0,65 і 0,90. Для цього розрахунку за замовчуванням буде взято 0,90.

Отже, для покриття потреб системи знадобиться 10 панелей, хоча ця кількість може змінюватися, оскільки (L_{mdcrit}) - це середньомісячне добове

споживання для критичного місяця, (див табл. 3.1), (в даному випадку 15,192 кВт·год/день).

Що стосується з'єднання між панелями, розрахованими в цьому розділі, скільки панелей буде з'єднано послідовно, а скільки паралельно, буде детально розглянуто після вибору контролера заряду.

3.5 Розрахунок акумуляторних батарей

Тепер, переходячи до розрахунку батарей, пам'ятайте, що двома важливими параметрами для визначення розмірів батареї є максимальна глибина розряду (сезонна і добова) і кількість днів автономної роботи, за які, як правило, і будуть братися ці параметри:

Максимальна сезонна глибина розряду ($P_{Dmax,e}$) = 70% = 0,7

Максимальна добова глибина розвантаження ($P_{Dmax,d}$) = 30% = 0,3

Кількість днів автономної роботи (N) = 1

Необхідна номінальна ємність батарей розраховується як функція сезонної та добової глибини розряду. Буде обрано найбільшу з них, оскільки в іншому випадку може виникнути сезонна або добова недостатність.

Номінальна ємність батареї як функція максимального добового розряду (C_{nd}):

$$C_{nd} = \frac{L_{md}}{P_{Dmax,d} \cdot F_{CT}} = \frac{15192}{0,3 \cdot 1} = 50640 \text{ кВт} \cdot \text{год} . \quad (3.4)$$

$$C_{nd.a} = \frac{C_{nd}}{V_{BAT}} = \frac{101280}{48} = 1055 \text{ А} \cdot \text{год} . \quad (3.5)$$

Пояснення цих двох рівнянь просте: необхідно генерувати щоденну енергію L_{md} за допомогою батарей, але допускаючи лише 15 % від максимального добового розряду і припускаючи температурний поправочний коефіцієнт ($F_{CT} = 1$). Після того, як відома енергія в Вт·год акумулятора, її ділять на напругу акумулятора (в даному випадку 48 В) і отримують мінімальну

ємність, необхідну для системи накопичення відповідно до максимального добового розряду.

Номінальна ємність акумулятора в функції максимального сезонного розряду (C_{ne}):

$$C_{ne} = \frac{L_{md} \cdot N}{P_{D_{max,e}} \cdot F_{CT}} = \frac{15192 \cdot 1}{0,7 \cdot 1} = 21702,85 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.6)$$

$$C_{ne.a} = \frac{C_{ne}}{V_{BAT}} = \frac{21702,85}{48} = 452,14 \text{ А} \cdot \text{год} \quad (3.7)$$

Отже, є необхідність генерувати щоденну енергію L_{md} за допомогою батарей, але вона може бути отримана протягом 1 дня без сонця, не допускаючи більшого розряду, ніж 70%, і припускаючи температурний коефіцієнт корекції ($T_{FC}=1$). Після того, як відома енергія в Вт·год акумулятора, її ділять на напругу акумулятора (в даному випадку 48 В) і отримують мінімальну ємність, яка необхідна для системи накопичення відповідно до днів автономної роботи.

Таким чином, необхідно вибрати батареї з найбільшою номінальною ємністю, яка повинна бути не менше $C = 452,14 \text{ А} \cdot \text{год}$.

3.6 Розрахунок контролера заряду

Для цього необхідно розрахувати максимальний струм, який може витримати контролер, як на вході, так і на виході.

Щоб розрахувати вхідний струм регулятора, необхідно знайти добуток струму короткого замикання модуля, в даному випадку JAM60S10 320-340/PR - $I_{sc}=10,46 \text{ А}$, і помножити його на кількість паралельно з'єднаних стрінгів (струм кожного стрінгу в паралелі буде приблизно однаковим), розраховану раніше:

$$I_{ex} = 1,25 \cdot I_{sc} \cdot N_p = 1,25 \cdot 10,46 \cdot 5 = 65,375 \text{ А} \quad (3.8)$$

де N_p - кількість панелей для кожного паралельного стрінгу, в даному випадку 5.

1,25 - це коефіцієнт безпеки, щоб уникнути випадкового пошкодження контролера.

Для розрахунку вихідного струму необхідно оцінити потужності навантажень постійного та змінного струму:

$$I_{\text{вих}} = \frac{1,25 \cdot \left(P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}} \right)}{V_{BAT}} = \frac{1,25 \cdot \left(\frac{3500}{0,95} \right)}{V_{BAT}} = 95,94 \text{ A} , \quad (3.9)$$

де P_{DC} - потужність постійних навантажень,

P_{AC} - потужність змінного навантаження,

η_{inv} - коефіцієнт корисної дії інвертора, близько 90-95 %.

Отже, регулятор повинен витримувати струм не менше 65,375 А на вході та 95,94 А на виході.

3.7 Розрахунок інвертора

Нарешті, для розрахунку інвертора слід обчислити лише суму потужностей навантажень змінного струму. У цьому випадку це буде кавоварка (1 кВт), опалення (3 кВт) і холодильник (40 Вт), і застосувати запас міцності 20 %. Отже:

$$P_{inv} = 1,2 \cdot P_{AC} = 1,2 \cdot 4040 = 4848 \text{ Вт} . \quad (3.10)$$

Отже, знадобиться інвертор потужністю приблизно 5000 Вт.

3.8 Розрахунок кабелю

Перш за все, наведемо характеристики для мідної та алюмінієвої проводки.

$$\rho_{Cu@20^{\circ}C} = 0,018 \Omega \cdot \text{мм}^2 / \text{м} \quad \alpha_{Cu} = 0,0039 \frac{1}{^{\circ}C} ,$$

$$\rho_{Al@20^{\circ}C} = 0,027\Omega \cdot \text{мм}^2 / \text{м} \quad \alpha_{Al} = 0,0043 \frac{1}{^{\circ}C}.$$

Після того, як ці значення відомі, складається таблиця розрахунку питомого опору відповідно до температури, до якої буде піддаватися система, і вона отримується з наступного рівняння:

$$\rho = \rho_{20^{\circ}C} \cdot \left(1 + \alpha \cdot (T - 20^{\circ}C)\right). \quad (3.11)$$

Тепер, враховуючи довжину (120 м) і переріз (35 мм²) кабелів, необхідно розрахувати опір обох типів кабелів:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}. \quad (3.12)$$

Після того, як цей розрахунок зроблено, необхідно подивитися у технічний паспорт панелі, яка буде використовуватися в установці і звернути увагу на напругу холостого ходу (41,55 В) і температурний коефіцієнт холостого ходу (-0,272% / °C), також маючи на увазі, що кількість послідовно з'єднаних панелей дорівнює 5. Таким чином, можна розрахувати як напругу холостого ходу, так і напругу панелей відповідно до температури, якій вони будуть піддаватися, за допомогою наступних формул:

$$V_{OC@T_2} = 41,55V \cdot \left(1 + (T_2 - 25^{\circ}C) \cdot \frac{-0,272\% / ^{\circ}C}{100}\right), \quad (3.13)$$

$$V_{MAX@T_2} = 5 \cdot V_{OC@T_2}. \quad (3.14)$$

Нарешті, щоб розрахувати максимальну загальну потужність системи при певній температурі (T₂), струмі в кабелі та падінні напруги в мідному та алюмінієвому кабелях, слід звернутися до специфікації панелей, де вказані значення максимальної потужності на панель (340 Вт), загальна кількість панелей (10), температурний коефіцієнт $P_{max}(-0,35\%/C)$, і скористатися наступними рівняннями:

$$P_{MAX @ T_2} = 10 \cdot 340W \cdot \left(1 + (T_2 - 25^\circ C) \cdot \frac{-0,35\% / ^\circ C}{100} \right), \quad (3.15)$$

$$I_{Cable @ T_2} = \frac{P_{MAX @ T_2}}{V_{MAX @ T_2}}, \quad (3.16)$$

$$\Delta V_{T_2} = \frac{I_{Cable @ T_2}}{R}. \quad (3.17)$$

Всі розрахунки були зроблені в Microsoft Excel для прискорення процесу. На основі отриманих даних була сформована наступна таблиця 3.4.

Таблиця 3.4 - Дані, отримані в результаті наведених розрахунків

Температура	25	20	15	10	5	0	-5	-10
Напруга від панелей (В)	207,75	210,57	213,41	216,22	219,05	221,87	224,71	227,52
Спад напруги Cu (В)	1,02	1,01	0,99	0,98	0,96	0,94	0,93	0,91
Спад напруги Al (В)	1,54	1,52	1,49	1,46	1,43	1,41	1,38	1,35

Як можна зрозуміти, не всі результати наведені в цій таблиці. Наведені лише трансцендентні дані, а саме: максимальна напруга панелей, падіння напруги при використанні мідного та алюмінієвого кабелю.

З цього розрахунку можна зробити два висновки, один з яких полягає в тому, що проводка, яка буде використовуватися в установці, буде мідною, оскільки вона має менше падіння напруги, ніж алюмінієва. Другий полягає в тому, що використовуваний контролер заряду повинен мати максимальну напругу вище 227,52 В, який в даному випадку має потужність до 250 В.

3.9 Вибір компонентів

3.9.1 Фотоелектричні панелі

Після детального визначення різних типів сонячних панелей виділено 7 важливих моментів для вибору фотоелектричної панелі, яка найкраще відповідає потребам даного проекту, враховуючи технічні характеристики фотоелектричної панелі.

1 - Кількість елементів і напруга. Для власного споживання панелі зазвичай мають 36 комірок (12 В) або 72 комірки (24 В).

2 - Вихідна потужність. Це дані, які визначають потужність, яку має панель для отримання електричної енергії за рахунок сонячної енергії, яку вона отримує. Цей параметр вимірюється за певних умов, які рідко зустрічаються на поверхні, де будуть встановлені фотоелектричні панелі. Однак це значення служить для порівняння двох панелей з однаковими розмірами.

3 - Вихідна потужність при номінальній робочій температурі. Хороші сонячні панелі, окрім деталізації вихідної потужності в певних невикористовуваних параметрах у своєму технічному паспорті, також вказують вихідну потужність при більш поширених температурах. Ці дані є набагато більш функціональними, оскільки вони визначають значення потужності в нормальних умовах.

4 - Допуск. Через різні проблеми, такі як елементи, що формують фотоелектричну панель, вихідна потужність може змінюватися. Ці дані можуть бути вказані у % або Вт. Наприклад, якщо у вас є панель потужністю 100 Вт, а допуск на неї становить +/- 5%, це означає, що ця панель, в залежності від різних факторів, може виробляти від 95 Вт до 105 Вт.

5 - Ефективність. Це параметр потужності, що генерується фотоелектричною панеллю на квадратному метрі при опроміненні 1000 Вт/м². Чим вищий показник ефективності, тим більша потужність сонячної панелі. Ефективність, яку зазвичай має кожен тип фотоелектричних панелей:

- Монокристалічні фотоелектричні панелі мають ефективність від 15% до 21%.

- Полікристалічні фотоелектричні панелі - від 13% до 17%.

- Тонкоплівкові панелі - від 7% до 13%.

6 - Температурний коефіцієнт потужності. Як вже зазначено раніше, деякі фотоелектричні панелі працюють набагато гірше в умовах високих температур, наприклад, полікристалічні фотоелектричні панелі. Температурний коефіцієнт потужності визначає вихідну потужність, яка втрачається у фотоелектричній панелі на кожен градус вище 25°C.

7 - Номінальна робоча температура комірки (НРТК). Це температура, яку має комірка модуля при звичайній температурі навколишнього середовища (20°C) при випромінюванні 800 Вт на квадратний метр. Іншими словами, чим менше елементи модуля перегріваються, тим краще буде працювати фотоелектрична панель. У загальних рисах, чим нижче НРТК, тим ефективніша панель.

Після пояснення всіх типів фотоелектричних панелей і всіх важливих елементів, які необхідно враховувати в технічному паспорті фотоелектричної панелі, можна зробити висновок, що монокристалічні модулі мають вищу ефективність, оскільки внутрішня структура комірок є більш однорідною і, отже, чинить менший опір електронному зміщенню.

Крім того, в монокристалічних модулях розділена комірка підвищує ефективність, оскільки вона покращує роботу модуля в умовах затінення.

Крім того, монокристалічні комірки n-типу мають електронну структуру, яка краще використовує отримане світло, що підвищує їх ефективність. Завдяки більшій кількості елементів, розділених кількома провідниками, якщо якась ділянка модуля затінена, це не вплине на роботу решти елементів, що дозволяє уникнути помилок в колі і підвищити ефективність модуля. Це означає збільшення потужності приблизно на 1,5% на модуль.

Незважаючи на вартість монопанелей, оскільки установка не вимагає великої кількості одиниць, для цього проекту буде обрана сонячна панель 340W

PERC Half-Cell Module Mono - JAM60S10 340/MR зі 120 сонячними елементами, яка має численні переваги, згадані вище, перед іншими панелями.



Рисунок 3.2 - JAM60S10 340/MR

3.9.2 Вибір акумуляторної батареї

Вибір відповідної батареї має вирішальне значення для реалізації цього проекту. З цією метою було проведено поглиблене дослідження кожного типу акумуляторів. З самого початку були обрані батареї, які відповідали таким вимогам, як місце розташування, клімат, ємність, термін служби тощо. Було обрано 3 літій-іонні батареї (літій-залізо-фосфатна, літій-нікель-марганцево-кобальтова та літій-титанатна), а решта - AGM.

По-перше, для найбільш практичного порівняння були обрані різні реальні батареї з двох вищезгаданих типів батарей. Це пов'язано з тим, що в попередньому розділі були описані характеристики кожного з них, і було вирішено відмовитися від LTO і AGM. Отже, ми обрали саме ці акумулятори:

- LiFePo4: Pylontech US2000B, BYD B-Box LV
- NMC: Tesla Powerwall I, LG Chem RESU HV, GNB Li-Ion

На рис. 3.3, наведено експериментальні дані отримані Центром тестування літій-іонних акумуляторів [15].

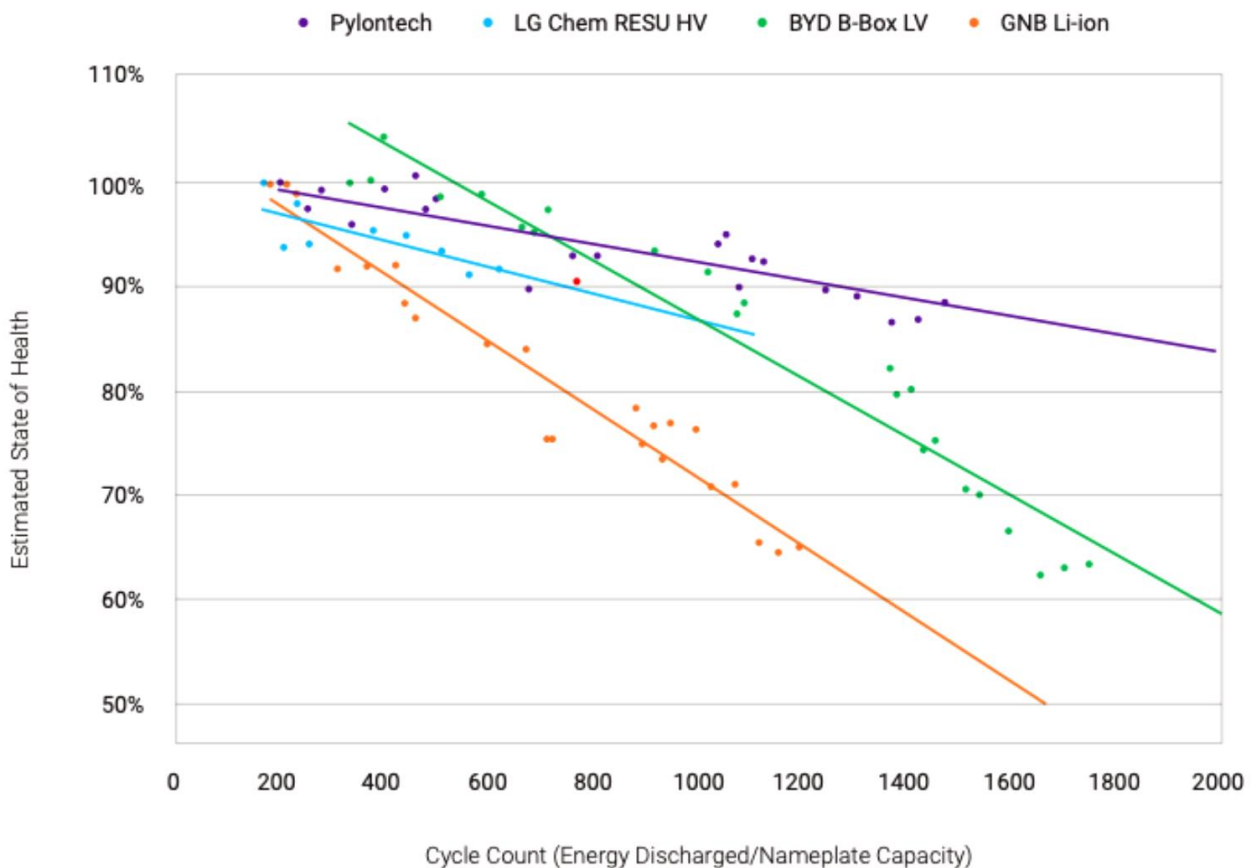


Рисунок 3.3 - Зменшення ємності акумуляторів [15]

Слід зазначити, що на рисунку 3.3 наведені лінії апроксимації, які визначені за допомогою простої лінійної регресії. Хоча лінійна регресія, як видається, добре підходить для деяких зібраних до цього часу даних випробувань, лінійна екстраполяція на майбутнє може бути недоцільною.

Незважаючи на це, з поточних даних видно, що тенденція для Pylontech US2000B є найтривалішою, досягаючи 60% State Of Health (SOH) після 4460 циклів [15].

Крім того, батарея Pylontech має один з найвищих показників ефективності серед згаданих акумуляторів, хоча і не найвищий, але все ж таки 92%..



Рисунок 3.4 - Літієва батарея Pylontech US3000

3.9.3 Контролери заряду

Контролери заряду сонячних батарей з широтно-імпульсною модуляцією, також відомі як ШІМ, є стандартними. Вони простіші, ніж MPPT-контролери, і, відповідно, дешевші. Робота ШІМ-контролерів полягає в повільному зменшенні кількості енергії, що подається на батарею, коли вона наближається до своєї максимальної ємності. Коли батарея повна, ШІМ-контролери підтримують "крапельний" стан, тобто постійно і поступово подають мінімальну кількість енергії, необхідну для підтримання батареї повною, не перевищуючи її ліміту.

Важливим моментом є те, що з ШІМ-контролером ваша система сонячних панелей і домашня батарея повинні мати однакову напругу. Однак у великих системах сонячних панелей, призначених для живлення всього будинку, напруга панелей і напруга акумулятора, як правило, не збігаються. Через цю

вимогу ШІМ-контролери найчастіше використовуються в невеликих системах, тобто з низьковольтними панелями і батареями малої ємності.

Контролери сонячного заряду з відстеженням точки максимальної потужності, також відомі як МРРТ, є найдорожчими і найскладнішими контролерами на сучасному ринку. З точки зору захисту, він дуже схожий на ШІМ, оскільки захист має тип перемикача і зменшує енергію, що надходить до батареї, коли вона досягає своєї максимальної ємності.

Однією з головних переваг контролерів заряду МРРТ є те, що їх можна підключати між сонячною панеллю і батареєю різної напруги, тобто це ідеальний компонент для великомасштабних установок. Ще одна перевага полягає в тому, що МРРТ-контролери коригують вхідний опір для досягнення максимально можливої потужності сонячної батареї. Крім того, вони також можуть змінювати свою вихідну потужність відповідно до потужності батареї, до якої вони підключені. Ці зміни потужності, навіть якщо вони мінімальні, є значними, і це кваліфікує цей тип контролерів як більш ефективний та інтелектуальний, ніж ШІМ-контролери, оскільки вони не витрачають енергію даремно, а використовують її раціонально.

З огляду на це, обраним контролером заряду є МРРТ, оскільки, хоча він і дорожчий, він найкраще підходить для встановлюваної системи, оскільки з цим типом контролера заряду, як пояснювалося вище, ви можете підключити сонячну панель і акумуляторну батарею різної напруги, що ідеально підходить для автономних установок.

На рис. 3.5 наведено приклад для порівняння цих двох технологій та обґрунтування прийнятого рішення використати МРРТ.

В обох випадках доступна сонячна панель на 24 В з $V_{mp} = 32$ В. Ця панель підключена до 12-акумуляторної батареї за допомогою ШІМ-контролера заряду в першому випадку, а в другому - за допомогою МРРТ.

Як видно, при використанні ШІМ напруга кожної панелі повинна зменшитися, щоб зрівнятися з напругою акумулятора, що означає значне

зменшення вихідної енергії. З іншого боку, з ШІМ кожна панель працює на максимальній потужності, виробляючи, відповідно, більше енергії.

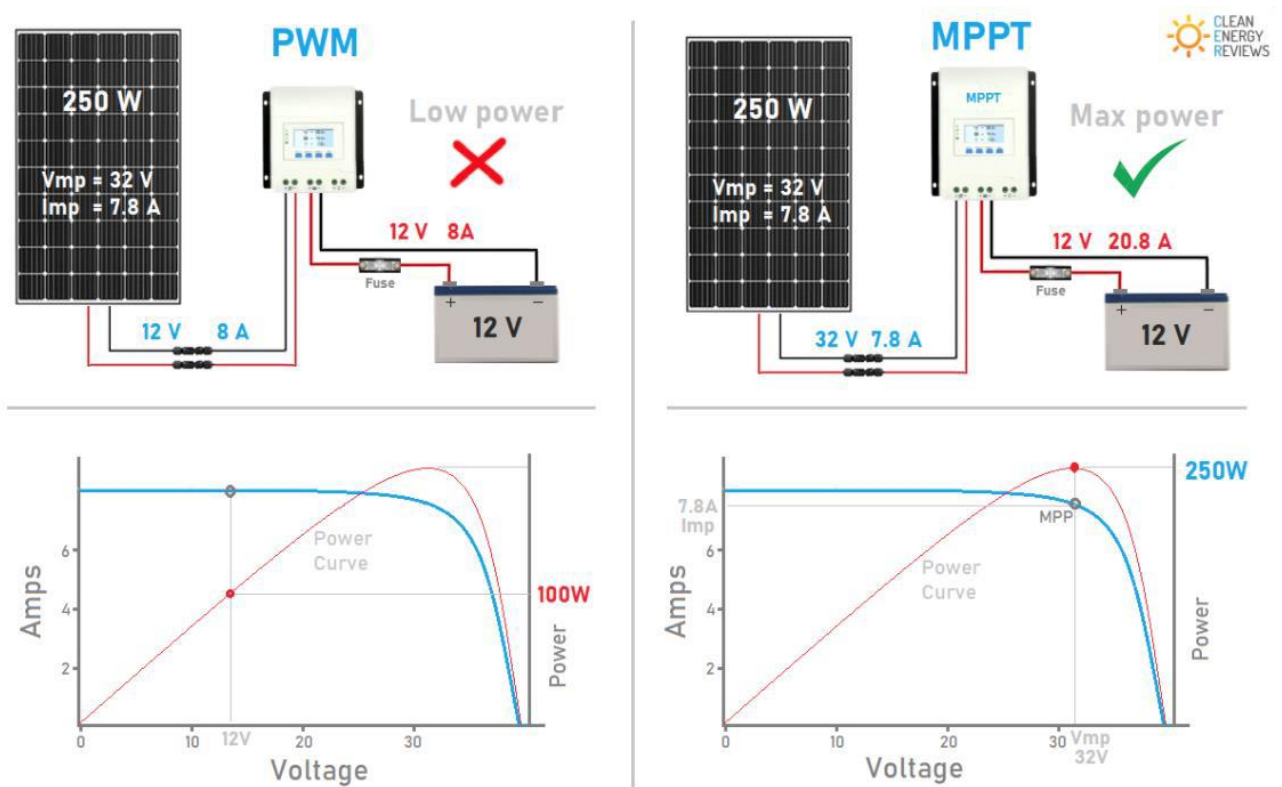


Рисунок 3.5 - Порівняння ШІМ і МРРТ [18]

Після того, як рішення стало зрозумілим, для цього проекту було обрано Контролер заряду SmartSolar MPPT250/100-Tr (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 - Контролер заряду SmartSolar MPPT250/100-Tr

Після вибору контролера заряду для системи настав час визначитися з кількістю панелей, які будуть з'єднані послідовно і паралельно. Оскільки MPPT не може приймати більше 250 В постійного струму, а напруга кожної панелі в розімкнутому контурі становить 41,36 В, максимальна кількість послідовно з'єднаних панелей становитиме 5. Знаючи, що для живлення системи необхідно 10 панелей, остаточна схема буде мати 2 паралельні стрінги по 5 панелей в кожній, що дозволить утримувати напругу нижче 250 В і подвоїти струм.

3.9.4 Сонячний інвертор

Вибір інвертора ґрунтується на тому, що згідно попередніх розрахунків інвертор повинен мати потужність 5 кВт [19,20]. Тому вибирається інвертор тієї ж марки, що і контролер навантаження, Victron MultiPlus-II 48I | 5000 | 70, як показано на рисунку 3.7



Рисунок 3.7 - Інвертор Victron MultiPlus-II 48I | 5000 | 70

3.10 Висновки до розділу

1. Оцінено споживання електроенергії, яке матиме будиночок протягом кожного з місяців експлуатації, а це всі місяці, окрім січня, листопада та грудня. Слід зазначити, що споживання не є однаковим для кожного місяця, оскільки будинок буде споживати набагато більше під час відпусток у червні, липні та серпні, але він також буде виробляти більше енергії, оскільки у цей час більше сонячного світла..
2. На основі проведених розрахунків відібрані компоненти фотоелектричної установки.
3. У проекті передбачено можливість збільшення виробництва фотоелектричної сонячної енергії без зміни будь-якого іншого компонента. Це можна зробити шляхом додавання ще 5 панелей, тобто ще одного паралельного кола - стрінга. Це не вплине на напругу, лише на потужність та струм.
4. Встановлено, що фотоелектрична потужність 3,4 кВт отримується лише протягом короткого періоду найхолодніших і найсонячніших днів. Тобто не кожен день. Зазвичай фотоелектрична потужність дещо нижча.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Фізичні основи електробезпеки

Величина струму, що проходить через тіло людини при її попаданні під напругу, в найбільшій мірі визначає тяжкість ураження. Для розробки технічних і організаційно-технічних заходів і засобів профілактики електротравм важливо знати, від яких конструктивних особливостей електроустановок, їх робочих параметрів і стану залежить можлива величина струму через людину при потраплянні під напругу. Крім того, важливо, щоб весь електротехнічний персонал, усі працівники, робота яких пов'язана з експлуатацією електроустановок, чітко розуміли, чим обумовлена, що є причиною тієї чи іншої вимоги з електробезпеки. Таке знання, розуміння вимог чинних нормативів з електробезпеки сприятиме дотриманню їх працівниками, і якраз розуміння цих вимог відрізняє працівників п'ятої групи з електробезпеки від четвертої, і є обов'язковою складовою їх професійної підготовки з питань безпеки [21,22].

У реальній електричній мережі (повітряній чи кабельній) опір ізоляції проводів відносно землі розподіляється по всій довжині мережі — опорні, підвісні, натяжні ізолятори, ізоляція кабелю. Чим більша протяжність мережі, тим більше ізоляторів, які працюють паралельно, і менший загальний опір ізоляції проводів відносно землі. Необхідний опір ізоляції регламентується чинними нормативами. На практиці ізоляція струмопроводів виконується з реальних діелектриків, питомий опір яких не дорівнює нескінченності. Внаслідок старіння ізоляції, її частого зволоження, забруднення, нагріву, дії агресивного середовища тощо, питомий опір ізоляції знижується. Тому кожна ділянка довжини проводу має опір ізоляції певного значення або провідність, яка відрізняється від нуля, а при роботі реальної мережі мають місце постійні втрати струму (виток струму) через ізоляцію і землю. Таким чином, незважаючи на наявність ізоляції, струмопроводи електричної мережі електрично

зв'язані між собою і землею провідниками (ізоляцію) з великим опором.

Відповідно до зазначеного вище, кожна ділянка довжини проводу електромережі, що знаходиться під напругою, крім опору ізоляції має певну ємність відносно землі. Тому при дотиці людини до неізольованої струмовідної частини (проводу тощо) функціонуючої електромережі струм через людину обумовлюється величиною напруги дотику і ємністю зазначеної вище системи. Ємнісна складова струму через людину при потраплянні під напругу в розгалужених мережах може досягати небезпечних для людини значень. Тому навіть при відключенні мережі від джерела живлення для ремонтно-профілактичних робіт тощо, необхідно заземлити кожен провід переносним заземленням і тільки після цього та перевірки відсутності напруги допускати персонал до роботи.

4.2 Причини електротравм, напруга кроку

Як і при інших видах травм, при електротравмах виділяють технічні, організаційно-технічні, організаційні і організаційно-соціальні їх причини [21,22].

До технічних причин належать: недосконалість конструкції електроустановки і засобів захисту, допущені недоліки при виготовленні, монтажі і ремонті електроустановки.

До основних організаційних причин електротравм належать:

- відсутність (непризначення наказом) на підприємстві особи, відповідальної за електрогосподарство або невідповідність кваліфікації цієї особи чинним вимогам;
- недостатня укомплектованість електротехнічної служби працівниками відповідної кваліфікації;
- відсутність на підприємстві посадових інструкцій для електротехнічного персоналу та інструкцій із безпечного обслуговування та експлуатації електроустановок;

- недостатня підготовленість персоналу з питань електробезпеки, несвоєчасна перевірка знань, невідповідність групи з електробезпеки персоналу характеру робіт, що виконуються;
- недотримання вимог щодо безпечного виконання робіт в електроустановках за нарядами-допусками, розпорядженнями та в порядку поточної експлуатації;
- неефективний нагляд, відомчий і громадський контроль за дотриманням вимог безпеки при виконанні робіт в електроустановках та їх експлуатації.

До основних організаційно-соціальних причин електротравм належать: змушене виконання не за спеціальністю електробезпечних робіт; негативне ставлення до виконуваної роботи, обумовлене соціальними чинниками; залучення працівників до понадурочних робіт; порушення виробничої дисципліни; залучення до роботи осіб віком до 18 років.

При переміщенні людини в зоні розтікання струму в землі її ноги будуть торкатися ділянок землі з різними потенціалами, а на людину буде діяти напруга, яка визначається різницею цих потенціалів і відома під назвою *напруга кроку* - різниця потенціалів між двома точками на поверхні землі в зоні розтікання струму, які знаходяться на відстані кроку (0,8 м) одна від одної. З наближенням до місця замикання на землю величина напруги кроку буде зростати, і вона може досягти небезпечних для людини значень вже при напрузі електроустановок 0.4 кВ, а в сиру погоду та за зволоженого ґрунту і при меншій напрузі. Тому Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів при наявності замикання на землю забороняють наближатися до місця замикання ближче 8 м поза приміщенням і 4 м в приміщенні без застосування засобів захисту - діелектричні боти, галоші, суха дошка, сухе гумове взуття тощо.

У цілому, заходи захисту людини від дії напруги кроку зводяться до розірвання мережі струму через людину по петлі "нога-нога", або різкого збільшення опору в цій петлі за рахунок використання різних підручних

засобів. За необхідності невідкладного входу в зону небезпечних напруг кроку для надання допомоги потерпілим і т.ін. і відсутності під рукою засобів захисту, доцільно переміщуватися в цій зоні обережно, пересуваючи ступні по землі так, щоб вони постійно торкалися одна другої.

4.3 Організаційні та технічні заходи електробезпеки

До роботи на електроустановках допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли інструктаж та навчання з безпечних методів праці, перевірку знань правил безпеки та інструкцій відповідно до займаної посади та кваліфікаційної групи з електробезпеки, і які не мають проти показів, визначених Міністерством охорони здоров'я України [21,22].

Для забезпечення безпеки робіт у діючих електроустановках належить виконувати наступні організаційні заходи:

- призначення осіб, які відповідають за організацію та проведення робіт;
- оформлення наряду чи розпорядження на проведення робіт;
- організація нагляду за проведенням робіт;
- оформлення закінчення робіт, перерв у роботі, переведення на інші робочі місця.

До технічних заходів, які необхідно виконувати в діючих електроустановках для забезпечення безпеки робіт належать:

1. При проведенні робіт зі зняттям напруги в діючих електроустановках чи поблизу них:

- вимкнення установки (частини установки) від джерела живлення електроенергії;

механічне блокування приводів апаратів, які здійснюють вимкнення, зняття запобіжників, від'єднання кінців лінії, яка

- здійснює електропостачання та інші заходи, що унеможливають випадкову подачу напруги до місця проведення робіт;

- встановлення знаків безпеки та захисних огорож біля струмопровідних частин, що залишаються під напругою і до яких в процесів роботи можливе доторкання або наближення на недопустиму відстань;

- встановлення заземлення (ввімкнення заземлювальних ножів чи встановлення переносних заземлень);

- огороження робочого місця та вивішування плакатів безпеки;

2. При проведенні робіт на струмопровідних частинах, які знаходяться під напругою та поблизу них:

виконання робіт за нарядом не менш ніж двома працівниками зі застосуванням електрозахисних засобів, під постійним наглядом, із забезпеченням безпечного розташування працівників, використовуваних механізмів та пристосувань.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Технологія фотоелектричних панелей постійно розвивається, тому вибір компонентів установки був повністю заснований на дослідженнях і порівняннях сучасних компонентів.

2. У ході розробки даної роботи були вивчені різні можливі варіанти розташування сонячних панелей з урахуванням тіней, годин сонячного сяйва, опромінення, температури, вітру, опадів і хмарності.

3. В результаті встановлено, що найбільш ефективний кут нахилу панелей буде між 45 і 50 градусами, враховуючи, що чим менший нахил, тим більше випромінювання буде в квітні, травні, червні, липні та серпні, в той час як у вересні, жовтні, лютому та березні, при більшому нахилі, панелі будуть вловлювати більше сонячного випромінювання.

4. При проведенні розрахунків було враховано, що споживання не є постійним протягом року, тобто в залежності від місяця воно буде більшим або меншим. На лютий і березень припадає 1 кВт·год/день, на квітень, травень, вересень і жовтень - 3,8 кВт·год/день, на червень і серпень - 9,1 кВт·год/день, і, нарешті, липень очолює список з показником 15,2 кВт·год/день. Однак слід мати на увазі, що отримані цифри є оцінками споживання, і реальні значення споживання можуть дещо відрізнятись.

5. Проведено розрахунок кожного з компонентів установки, в результаті чого були отримані наступні результати: 10 фотоелектричних панелей (340 Вт кожна), 3 акумуляторні батареї номінальною ємністю 452,14 А·год кожна, 1 контролер заряду MPPT з максимальною напругою холостого ходу 250 В та інвертор потужністю 5000 Вт.

6. Очікується, що панелей загальною потужністю 3,4 кВт буде достатньо для майже повного заряду батарей (близько 10 кВт) протягом багатьох місяців роботи. Слід зазначити, що найскладнішими місяцями будуть лютий і жовтень через дефіцит опромінення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Technical articles. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.victronenergy.com/blog/category/technical-articles/>. 02.02.2024 р.
2. Коваль В. П. Суміщене електропостачання від поновлювальних джерел енергії / Вадим Коваль // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій— присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 294.
3. Коваль В.П. Фотоелектрична станція для забезпечення власних потреб // В.П. Коваль, Д.Ф.Паловці, Abul Kalam Azad / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С .
4. Bohdan Orobchuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Serhii Babiuk, Vadym Koval (2023) Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAР 2023). Ternopil, Ukraine, November 22-24, 2023, Vol. 3628, Pages 574-585.
5. Герєга С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей / Степан Герєга, Вадим Коваль, Ярослав Філюк // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 202.
6. Коваль В.П. Вплив ємності акумулятора на ефективність роботи фотоелектричної станції//В.П.Коваль / Інноваційні технології в світлотехніці та електроенергетиці : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 16–17 трав. 2024 р. / Нац. акад. наук вищ. освіти України, Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва

ім. О. М. Бекетова, Нац. наук. центр «Ін-т метрології» [та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – С. 75-77.

7. Понтус О.В. Особливості проектування та введення в експлуатацію промислової сонячної електростанції // О.В. Понтус, Р.А. Карпишин, В.П.Коваль / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С .

8. Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing // Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021”, 2021

9. Коваль В. П. Автоматизована вимірювальна установка для дослідження електричних характеристик фотоелектричних модулів/ В. П. Коваль, Б.Я. Оробчук, Л.М. Костик, Я.М.Осадца// Вісник Хмельницького національного університету. – 2022. – № 5. – С. 168-173.

10. Коваль В. Залежність енергоефективності сонячних елементів від експлуатаційних факторів / В. Коваль // Збірник тез доповідей XVII наукової конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя, 20-21 листопада 2013 року. — Т. : ТНТУ, 2013. — Том I : Природничі науки та інформаційні технології. — С. 53.

11. Іме А.Н. Підвищення ефективності сонячних панелей шляхом використання водяного охолодження/Аях Нсікак Іме, В.П. Коваль//Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 25-26 листопада 2020 року.—Т.: ТНТУ, 2020.—Том 2.—С. 80–81.

12. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2015. – № 3. – С. 2-10

13. How solar panel cost and efficiency have changed over time. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://www.energysage.com/solar/solar-panel-efficiency-cost-over-time/>.

04.02.2024 р.

14. Tegio, R. A. (2018). The difference between standard and perc solar cells. Azo Materials.

15. Battery Basics - Guide to Batteries. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.batterystuff.com/kb/articles/battery-articles/battery-basics.html>. 08.02.2024 р.

16. Climate and Average Weather Year Round in Ternopil' Ukraine. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://weatherspark.com/y/92643/Average-Weather-in-Ternopil%E2%80%99-Ukraine-Year-Round>. 03.04.2024 р.

17. Сонячна панель JA Solar JAM60S10-330 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://e-energy.in.ua/Solar_panels/solnechnaja-panel-ja-solar-jam60s10-330-pr-5bb-percium-half-cell.html. 15.04.2024 р.

18. MPPT Solar Charge Controllers Explained [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/mppt-solar-charge-controllers>. 29.04.2024 р.

19. Коваль В.П. Система релейного керування освітлювальною установкою // В.П. Коваль, О.А.Буняк, І.В.Белякова / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С .

20. Vadym Koval, Serhii Martsenko, Myroslav Zin (2023). Designing and Implementing Intelligent Lighting Control System. The 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 14-16, Vol. 3468, Pages 241-249.

21. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (

бакалаврський) / укл. : О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.

22. В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. Основи охорони праці. — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.