

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИК ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Рівень вищої освіти – другий "магістерський" рівень
на тему: „ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ
ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
МУЛЬТИЗОНАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТЕПЛО- І ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ
БУДИНКУ”

Виконав: студент 6 курсу групи Ен-61
спеціальності: 141 „Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”

(шифр і назва)

Станицький Дмитро Юрійович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н Гальчак В.П.

(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: к.т.н., доцент Пташник В.Р.

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
“ ” _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Станицькому Дмитру Юрійовичу

1. Тема роботи: „ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МУЛЬТИЗОНАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТЕПЛО- І ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ БУДИНКУ”

Керівник роботи: Сиротюк Сергій Валерійович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 18.12.2024 року.

3. Вихідні дані: Навчальна, наукова, мет одична т а довідкова літ ерат ура. Мат еріали мереж і "Internet".

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Актуальність теми, мета і завдання дослідження.

4.2. Теоретичні передумови дослідження, розвиток теорії і практики з даного питання.

4.3. Розробка фотоелектричної частини.

4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

4.5. Обґрунтування прийнятих рішень.

Висновки і пропозиції.

Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Ілюстративний матеріал у формі презент ації

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І. М. к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Актуальність теми, мета і завдання дослідження	12.09.2024-27.09.2024	
2	Теоретичні передумови дослідження, розвиток теорії і практики з даного питання	28.09.2024-21.10.2024	
3	Розробка фотоелектричної частини	22.10.2024-15.11.2024	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.11.2024-25.11.2024	
5	Обґрунтування прийнятих рішень	26.11.2024-01.12.2024	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	02.12.2024-04.12.2024	
7	Завершення роботи в цілому	5.12.2024-6.12.2024	

Студент _____ Станицький Д. Ю.
(підпис)

Керівник роботи _____ Гальчак В.П.
(підпис)

УДК 631.3.45.9

Оптимізація структури та параметрів фотоелектричної системи електрозабезпечення мультизональної установки тепло- і холодопостачання будинку. Станицький Д.Ю. - Кваліфікаційна робота Кафедра енергетики. - Дубляни, Львівський НУП, 2024.

56с. текстової частини, 18 рис., 10 табл., 12 джерел, 15 слайдів в PowerPoint.

Проаналізовано актуальність теми, та особливості впровадження в досліджувальний об'єкт. виконано оцінку кліматичних параметрів регіону дослідження.

Виконано розрахунок та аналіз системи фотоелектричної системи енергопостачання для потреб споживання мультизональної VRF-системи.

Проведено аналіз теоретичних основ принципу роботи фотоелектричної частини мультизональної VRF-системи, та обґрунтовано впровадження такої системи в досліджувальний об'єкт.

Обґрунтовано заходи безпечної експлуатації фотоелектричної установки індивідуального житлового будинку. Проведено аналіз та викладено експлуатаційні поради до користування фотогенеруючої складової мультизональної VRF - системи.

Подано результати розрахунків енергетичних потреб лабораторії відновлювальної енергетики Львівського національного університету природокористування. Викладено результати економічних розрахунків та доцільності використання теплової помпи.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта	8
1.2 Оцінка кліматичних параметрів регіону розташування об'єкта	10
1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	11
2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ, РОЗВИТОК ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ З ДАНОГО ПИТАННЯ	15
2.1 Передумови дослідження	15
2.2 Розрахунок фотоелектричної системи	16
3 РОЗРОБКА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ	30
3.1 Опис фотоелектричної частини VRF-системи з інтегрованими сонячними модулями.	30
3.2 Впровадження мультизональних VRF систем в об'єкт дослідження	44
3.3 Засоби захисту фотоелектричної установки	46
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	49
4.1. Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок	49
4.2. Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок	51

4.3. Розробка заходів запобігання травм і аварій під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок	55
4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	57
5 ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	59
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ	63

ВСТУП

Актуальність енергоефективних рішень у сучасному світі де енергоефективність є одним з ключових факторів сталого розвитку, все гостріше постає питання забезпечення будівель автономними та енергоефективними системами опалення та кондиціонування, є беззаперечним. Зростаючі ціни на енергоносії та необхідність зменшення екологічного сліду спонукають до пошуку інноваційних підходів. Одним з таких перспективних рішень є мультизональна VRF-системи (Variable Refrigerant Flow) з інтегрованими сонячними модулями.

Інтеграція VRF-систем з сонячними модулями дозволяє створити гібридну систему, яка не тільки забезпечує комфортну температуру в приміщеннях, але й виробляє електроенергію з відновлюваних джерел. Таке поєднання дозволяє значно знизити енергоспоживання будівлі, зменшити залежність від традиційних джерел енергії та забезпечити автономність.

Для ефективного впровадження цих систем необхідно провести дослідження, враховуючи фактори, такі як кліматичні умови, розмір будівлі, енергетичні потреби та економічні фактори.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у комплексному аналізі роботи інтегрованих сонячних модулів VRF-системи, зокрема її здатності забезпечувати себе енергією. Особливу увагу буде приділено вивченню принципів функціонування та можливостями взаємодії з такою системою.

Актуальність дослідження обумовлена зростаючими вимогами до енергоефективності будівель та розвитком технологій відновлюваної енергетики.

У даній кваліфікаційній роботі ми зосередимося на детальному аналізі інтегрованих в VRF-систему сонячного модуля.

Результати проведеного дослідження дозволять зробити висновки щодо перспектив використання в Україні та сформулювати рекомендації щодо їхнього оптимального застосування в різних типах будівель.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта

Об'єктом дослідження в комплексній кваліфікаційній роботі є навчальна лабораторія відновлювальних джерел енергії та енергозбереження Львівського національного університету природокористування (ЛНУП), розташована в м. Дубляни, Львівської області.

Будівля лабораторії являє собою двоповерхову споруду, адаптовану для проведення наукових досліджень у галузі відновлюваної енергетики.

На першому поверсі знаходиться просторий експериментальний зал, призначений для розміщення великогабаритних макетів сонячних батарей, вітрогенераторів та дослідницьких установок, навчальна аудиторія, а також приміщення, де розташована дослідницько-лабораторна установка, що поєднує використання відновлюваних джерел тепла з ґрунту та сонця, в свою чергу забезпечує лабораторію гарячою водою та теплом.

На другому поверсі розміщені навчальні аудиторії, де студенти отримують теоретичні знання в галузі відновлювальних джерел енергії, які обладнані навчальними стендами, що імітують роботу сонячних батарей, вітрогенераторів та інших типів енергетичних установок. Студенти мають можливість проводити експерименти з використанням цих стендів, вивчаючи принципи їх роботи та освоюючи навички експлуатації.

Для забезпечення безперебійної роботи лабораторії передбачено потужне трифазне електропостачання, яке живить не тільки основне обладнання, але й допоміжні системи, освітлення та комп'ютерні мережі.

Будівля лабораторії має багату історичну спадщину. Спочатку, у 1881 році, вона була зведена як частина навчального маєтку високої рільничої школи в Дублянах і використовувалася для утримання худоби. У 1922 році, завдяки

зусиллям архітектора Андрія Шиманського, будівля була розширена та доповнена новими елементами, що надає їй унікального архітектурного вигляду.

У другій половині ХХ століття будівля зазнала низку трансформацій. У 70-х роках вона була переобладнана під столярний цех при Львівському сільськогосподарському інституті, а згодом, на початку 90-х, вона була передана для використання науково-дослідних потреб і під склади агрономічного факультету. Лише на початку ХХІ століття будівля знайшла своє нове призначення – стала осередком наукових досліджень у галузі відновлюваної енергетики.

У 2005 році, завдяки співпраці Львівського державного аграрного університету та німецької компанії "AURORA WINDPOWER G.M.B.H.", було створено консорціум "Поновлювальна енергетика ЛДАУ-АВРОРА ВІНДПОВЕР". Для реалізації функцій консорціуму Львівський національний університет природокористування надав у користування приміщення загальною площею 320 м² з підключенням до електромережі, водопостачання та каналізації. приміщення, яке було ретельно обладнане під сучасну лабораторію.

Основними завданнями було навчання студентів, перепідготовка фахівців у лабораторіях консорціуму, проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, а також виготовлення експериментальних та перспективних зразків на замовлення фізичних та юридичних осіб, включаючи замовлення з-за кордону.

Плідна співпраця з компанією "ECO-ST" дозволила лабораторії вийти на якісно новий рівень. Завдяки фінансовій підтримці та експертній допомозі партнерів, у другій половині 2022 року було проведено комплексну модернізацію навчальних приміщень та оновлено матеріально-технічну базу. В результаті цих змін, лабораторія отримала сучасне обладнання, яке відповідає найвищим світовим стандартам. Це дозволило не лише покращити умови навчання студентів, але й розширити можливості для проведення наукових досліджень.

1.2 Оцінка кліматичних параметрів регіону розташування об'єкта

Будівля розташована в помірно-континентальному кліматі, для якого є характерні станом на 2022 рік такі параметри, у літку (+21,21°...+32,26°C), взимку (-2,53°... -19,61°C) зі стійким сніговим покривом.

У табл. 1.1 наведені середньомісячні температурні дані згідно яких будуть проводитись розрахунки необхідної теплової потужності для обігріву навчальних приміщень. Середнє значення температурних даних обиралось за 2022 рік.

Таблиця 1.1 - Середньомісячна температура повітря на висоті 2 м над поверхнею землі за 2022 рік.

Місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
Тсер.	-1.66	1.01	1,87	6,8	14,35	19,9	20,54	21,21	12,73	10,88	3,12	-2,53

Відповідно за даними табл. 1.1 будуємо графік зміни середньомісячної температури.

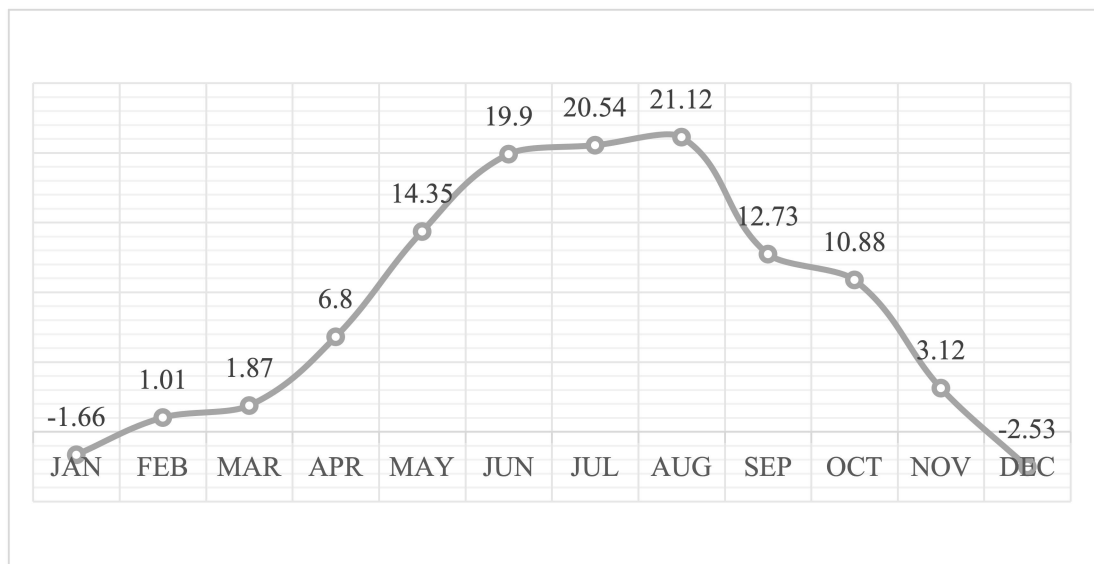


Рисунок 1.1 – Середньомісячні температурні дані за 2022 рік

Кліматичні дані отримувались за допомогою метеорологічного сайту “POWER Data Access Viewer” Національного аерокосмічного агентства США (NASA) (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

У сучасних реаліях, коли енергетична незалежність набуває стратегічного значення, інвестиції в автономні джерела енергії стають не просто вибором, а необхідністю. VRF-системи, доповнені інтегрованими сонячними модулями, пропонують рішення, яке не лише забезпечує комфортну температуру в приміщеннях, а й надає енергетичну автономію, зменшуючи залежність від централізованого енергопостачання.

Ця технологія поєднує в собі переваги сучасних систем кондиціонування та відновлюваних джерел енергії. VRF-системи відомі своєю високою ефективністю та можливістю точного регулювання температури в кожному окремому приміщенні. З інтеграцією сонячних модулів, ми отримуємо можливість використовувати безкоштовну енергію сонця для живлення системи, що значно знижує витрати на електроенергію та зменшує вуглецевий слід.

Обравши VRF-систему з сонячними модулями, ви отримуєте не лише комфорт і економію, а й внесок у збереження довкілля. Ці системи ідеально підходять для приватних будинків, комерційних приміщень, а також для об'єктів критичної інфраструктури, де надійність енергопостачання є пріоритетом.

Завдяки можливості накопичення надлишкової електроенергії в акумуляторах, така система забезпечує себе безперебійним енергопостачанням, яке в свою чергу можна використовувати для інших потреб власника такої системи. Це особливо актуально в умовах нестабільної роботи енергомереж.

Встановлення мультизональної установки є дуже цікавим та привабливим рішенням для забезпечення оптимального температурного режиму в навчальних закладах. Така система дозволяє створювати індивідуальний мікроклімат у кожному приміщенні, що позитивно впливає на здоров'я учнів та вчителів, а також підвищує продуктивність навчального процесу.

З переваг можна зазначити наступне:

Індивідуальний контроль температури: Кожне приміщення, будь то клас, кабінет чи спортивний зал, може мати свою власну налаштовану температуру, що

особливо важливо для навчальних закладів, де різні приміщення мають різні функціональні призначення та вимоги до температурного режиму.

Енергоефективність та автономність: Мультизональні системи з інтегрованими сонячними модулями дозволяють точно контролювати споживання енергії, оскільки кожне приміщення обігрівается або охолоджується лише тоді, коли це необхідно, а потреба в електричній енергії буде повністю або частково покриватись фотоелектричними панелями. При надлишковому виробленні енергії, її можна спрямувати на потреби закладу.

Гнучкість: Адаптивність встановлення у вже існуючих будівлях, подальша адаптація до змін у плануванні приміщень та розширенні системи в майбутньому.

Покращення якості повітря: Багато мультизональних систем можуть інтегруватися з системами вентиляції, забезпечуючи постійний приплив свіжого повітря та очищення повітря від пилу та алергенів. Це особливо важливо для навчальних закладів, де велика кількість людей перебуває в закритих приміщеннях протягом тривалого часу.

Використання в навчальному процесі: VRF-система несе чи малу цінність для навчання майбутніх інженерів.

У контексті об'єкта кваліфікаційної роботи лабораторії Відновлювальних джерел енергії, зокрема його другий поверх, розташований безпосередньо під дахом будівлі, що обумовлює значні теплові втрати в холодну пору року та перегрівання приміщень у спекотні періоди. Для забезпечення комфортного та енергоефективного температурного режиму пропонується встановити мультизональну VRF-систему.

Очікувані результати від застосування VRF-системи:

- Стабільний температурний режим: Забезпечення комфортної температури в лабораторії протягом усього року, незалежно від зовнішніх погодних умов.
- Підвищення продуктивності праці: Комфортний мікроклімат сприяє підвищенню концентрації та продуктивності праці науковців та студентів.
- Зниження енерговитрат: Завдяки високій енергоефективності системи, можна досягти значного зниження витрат на опалення та кондиціонування.

Запропонована мультizonальна VRF-система з інтегрованими сонячними модулями відкриває широкі перспективи для організації ефективного навчального процесу в лабораторії. Така система може стати не лише джерелом енергії, а й потужним інструментом для набуття студентами практичних навичок та глибоких теоретичних знань у сфері енергоефективності та відновлюваних джерел енергії.

Навчальні можливості:

- **Лабораторні роботи:** Студенти зможуть проводити різноманітні експерименти, досліджуючи роботу окремих компонентів системи, аналізуючи ефективність різних режимів роботи та вивчаючи вплив зовнішніх факторів на продуктивність сонячних модулів.
- **Моделювання та симуляція:** За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення студенти зможуть створювати моделі роботи системи та проводити симуляції в різних умовах, що дозволить їм глибше зрозуміти принципи функціонування та оптимізувати роботу системи.
- **Монтаж та налагодження:** Безпосередня участь у монтажі та налагодженні окремих елементів системи дозволить студентам отримати практичні навички, необхідні для роботи в цій галузі.
- **Аналіз даних:** Збір та аналіз даних про роботу системи дозволить студентам розробити алгоритми оптимізації енергоспоживання та підвищення ефективності системи в цілому.
- **Проектування:** На основі отриманих знань студенти зможуть розробляти власні проекти з використанням подібних систем, враховуючи специфіку різних об'єктів.

Навчання спеціалістів:

Для підготовки висококваліфікованих спеціалістів у сфері кліматичного контролю та сонячної енергетики на базі цієї системи можна організувати спеціальні курси та тренінги. Програма навчання може включати:

- **Глибокий теоретичний блок:** детальний розгляд принципів роботи VRF-систем, сонячних модулів, систем накопичення енергії та інверторів.

- Практичні заняття: монтаж, налагодження та обслуговування системи, аналіз даних, усунення неполадок.
- Проектування систем: розрахунок теплових навантажень, підбір обладнання, розробка схем монтажу.
- Економічний аналіз: оцінка ефективності інвестицій в системи з відновлюваними джерелами енергії.

Переваги такого підходу:

- Актуальність: Навчання засноване на реальному обладнанні та актуальних технологіях.
- Комплексність: Студенти отримують знання з різних дисциплін: енергетики, теплотехніки, автоматизації.
- Практична спрямованість: Набуття практичних навичок, необхідних для роботи в галузі.
- Підготовка фахівців: Випускники будуть готові до роботи в сфері енергоефективності та відновлюваних джерел енергії.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ, РОЗВИТОК ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ З ДАНОГО ПИТАННЯ

У цьому розділі кваліфікаційної роботи, яка являється частиною комплексної кваліфікаційної роботи, буде описано суцільно електро генеруючу частину, мультизональної VRF-системи з інтегрованими сонячними модулями.

2.1 Передумови дослідження

Питання створення комфортного температурного режиму в приміщеннях лабораторії відновлювальних джерел енергії є надзвичайно актуальним. Вибір системи кондиціонування для такого об'єкта має відповідати не лише вимогам до забезпечення комфорту, але й принципам енергоефективності та використання відновлюваних джерел енергії.

З огляду на вищезазначені вимоги, для лабораторії було обрано мультизональну VRF-систему. Цей вибір обумовлений її високою гнучкістю, енергоефективністю та можливістю забезпечення як охолодження, так і опалення приміщень.

Однак, для досягнення максимальної енергоефективності та демонстрації можливостей використання відновлюваних джерел енергії, було прийнято рішення про інтеграцію VRF-системи з фотоелектричною установкою. Розрахунок потужності та конфігурації фотоелектричних панелей проведено на основі отриманих даних рохрахованого споживання VRF-системи в рамках окремого розділу кваліфікаційної роботи.

Використання сонячної енергії для живлення VRF-системи дозволить:

Зменшити залежність від традиційних джерел енергії, за рахунок виробництва електроенергії безпосередньо на об'єкті зменшується споживання електроенергії з мережі.

Знизити експлуатаційні витрати: Зменшення споживання електроенергії призводить до зниження витрат на оплату рахунків за електроенергію.

Продемонструвати ефективність використання відновлюваних джерел енергії. Встановлення фотоелектричної установки в лабораторії відновлювальних джерел енергії є наочним прикладом практичного застосування технологій використання сонячної енергії.

Таким чином, комбінація VRF-системи та фотоелектричних панелей дозволить створити енергоефективну та екологічно чисту систему кондиціонування, яка не тільки забезпечить комфортні умови в приміщеннях лабораторії, але й стане демонстраційним майданчиком для вивчення та впровадження сучасних енергозберігаючих технологій.

2.2 Розрахунок фотоелектричної системи

Для розрахунків використовують значення середньоденних надходжень складових сонячної радіації на горизонтальну поверхню, взятих з сайту Національного аерокосмічного агентства США (NASA), таблиця 2.1

Таблиця 2.1 – Дослідження надходження сонячної енергії на сприймаючу площину в регіоні дослідження

Lat 49	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Lon 24													Average
Tilt 0	1,05	1,83	2,82	3,83	4,86	5,02	4,95	4,49	3,03	1,86	1,09	0,83	2,98
Tilt 34	1,65	2,6	3,42	4,1	4,79	4,78	4,78	4,7	3,52	2,5	1,62	1,35	3,32
Tilt 49	1,79	2,74	3,43	3,93	4,43	4,33	4,36	4,44	3,48	2,59	1,74	1,47	3,23
Tilt 64	1,84	2,74	3,28	3,59	3,89	3,81	3,8	3,99	3,27	2,55	1,76	1,52	3
Tilt 90	1,69	2,41	2,68	2,69	2,75	2,62	2,67	2,88	2,58	2,19	1,6	1,42	2,35

Вище подано приклад даних для м. Львова та околиць (географічні координати 49° п. ш. і 24° с. д.) (табл. 2.1), де параметри сонячної енергії виражені у кВт·год/м².

Для сонячної фотоелектричної панелі, яка буде працювати в мережевому режимі розрахунок середньоденного виробництва електроенергії виконується за формулою

$$W_{fc}^{\partial} = \eta \cdot H_{\beta}^{\partial} \cdot S \cdot \eta_{in}, \quad (2.1)$$

де η - коефіцієнт корисної дії фотоелектричної панелі;

H_{β}^{∂} - інтенсивність надходження сонячної енергії, кВт·год.;

S – площа сприймаючої поверхні фотоелектричної панелі, м²;

η_{in} - коефіцієнт корисної дії мережевого інвертора.

Визначимо місячне виробництво електроенергії фотоелектричною панеллю за формулою

$$W_{fc}^m = W_{fc}^{\partial} \cdot n_{md}, \quad (2.2)$$

де n_{md} – кількість днів у місяці, днів.

Для розрахунку електроенергії для мультизональної VRF-системи нами було визначено вхідні числові значення параметрів фотомодуля, таблиці 2.2, та місячного споживання протягом року, таблиця 2.3

Таблиця 2.2- Технічні характеристики фотоелектричного модуля

Марка панелі	ККД панелі, %	Площа панелі, м2	Втрати в інверторі, %	Втрати в кабелях, %
Longi Solar LR5-72HPH-550M	0,215	2,621	0,96	0,98

Розрахунок генерації буде проводитися для річного, опалювального та кондиціонування періоду забезпечення електрогенерації, в подальшому на основі розрахунку буде обиратись найбільш оптималь для об'єкту варіант, з врахуванням потреб та можливостей.

На основі результатів розрахунку для кожного варіанту, за формулами (2.1)-(2.2), складаємо таблиці потреб, в яких додатково вираховуємо енергетичний

баланс, та будуюмо графіки для наглядної візуалізації і розуміння балансу генерації.

Таблиця 2.3 – Потреба в електроенергії для мультизональної VRF-системи кліматичного контролю за

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Всього
Місячне споживання електроенергії на опалення, кВт·год	1685,18	1258,53	1579,28	545,82	0	0	0	0	0	496,2	1308,21	2032,05	8903,27
Місячне споживання електроенергії на кондиціонування, кВт·год	0	0	0	286,05	867,2	1020,38	1062,67	1016,48	731,46	625,25	0	0	5609,76

Для річного періоду, потрібно обрати середньодобове надходження сонячної радіації під кутом 49 град, що забезпечить оптимум генерації протягом року, (рис. 2.1)

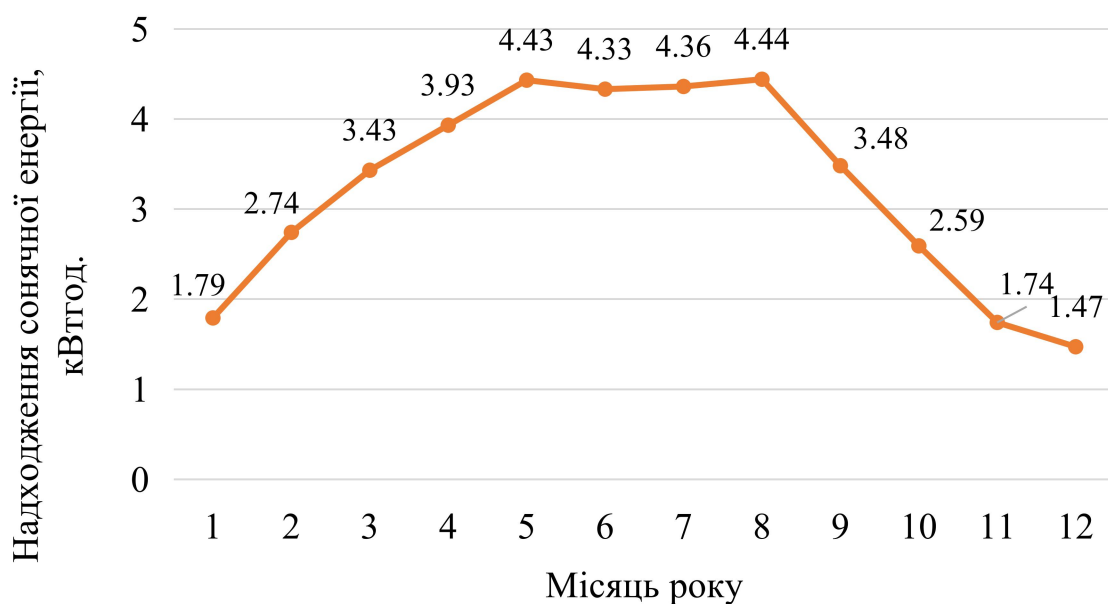


Рисунок 2.1 - Надходження сонячної енергії на сприймаючу площину в регіоні дослідження під кутом 49 градусів

На основі показників сонячної радіації, відповідно до форму (2,1)і (2,2), складаємо табл. 2.4

Для оптимального забезпечення електроенергією кліматичної системи протягом року приймаємо відповідно продуктивності фотопанелей і потреби, кількість необхідних для забезпечення потреб фотопанелі в кількості - 24-х одиниць, отриману генеруючу продуктивність - $W_{PVS,кВт*год}$, вписуємо в табл. 2.4

Таблиця 2.4 – Розрахунок продуктивності сонячної електроустановки

Параметр	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H_b , кВт*год.	1,79	2,74	3,43	3,93	4,43	4,33	4,36	4,44	3,48	2,59	1,74	1,47
W_{pv}^d , кВт*год	0,949	1,453	1,818	2,083	2,348	2,295	2,311	2,354	1,845	1,373	0,922	0,779
W_{pv}^m , кВт*год	29,42	42,14	56,36	62,49	72,79	68,85	71,64	72,97	55,35	42,56	27,66	23,37
$W_{PVS,кВт}$ *ГОД	706,1	1011, 4	1352, 6	1499, 8	1747	1652, 4	1719, 4	1751, 3	1328, 4	1021, 4	663,8	560,9

Відповідно отриманим результатам складаємо таблицю 2.5 та будуємо графік енергетичного балансу фотоелектричної установки для забезпечення електроенергією VRF-систему протягом року (рис 2.2)

З розрахунку бачимо, що при співвідношені місячного споживання та виробництва протягом року виникає нестача 3667,77 кВт*год, а згенерований надлишок складає - 4169,24 кВт*год.

Таблиця 2.5 – Результати побудови енергетичного балансу фотоелектричної установки для забезпечення електроенергією систему протягом року

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Місячне споживання електроенергії на опалення, кВт·год	1685.18	1257.53	1579.28	544.82	0	0	0	0	0	496.2	1308.21	2032.05
Місячне споживання електроенергії на кондиціонування, кВт·год	0	0	0	286.05	867.2	1020.38	1062.67	1016.48	731.46	625.52	0	0
Місячне виробництво електроенергії ФЕУ, кВт·год.	706.1	1011.4	1352.6	1499.8	1747	1652.4	1719.4	1751.3	1328.4	1021.4	663.8	560.9
Енергетичний баланс, кВт·год.	-979.08	-246.13	-226.68	668.93	879.8	632.02	656.73	734.82	596.94	-100.32	-644.41	-1471.15

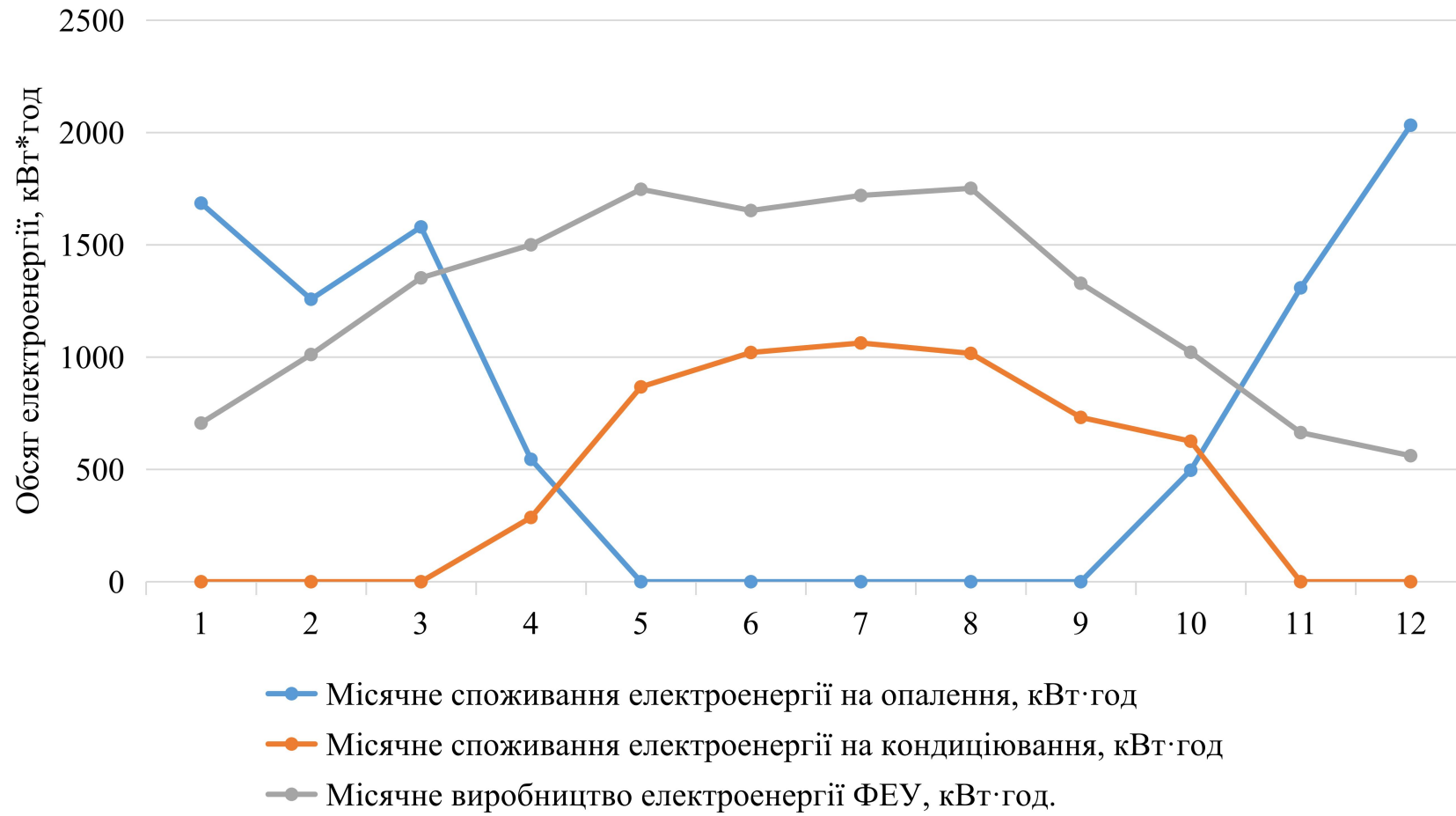


Рисунок 2.2 – Енергетичний баланс фотоелектричної установки для забезпечення електроенергією VRF-системи протягом року

Для річного періоду, потрібно обрати середньодобове надходження сонячної радіації під кутом 64 град, що забезпечить оптимум генерації протягом сезону опалення, (рис 2.3)

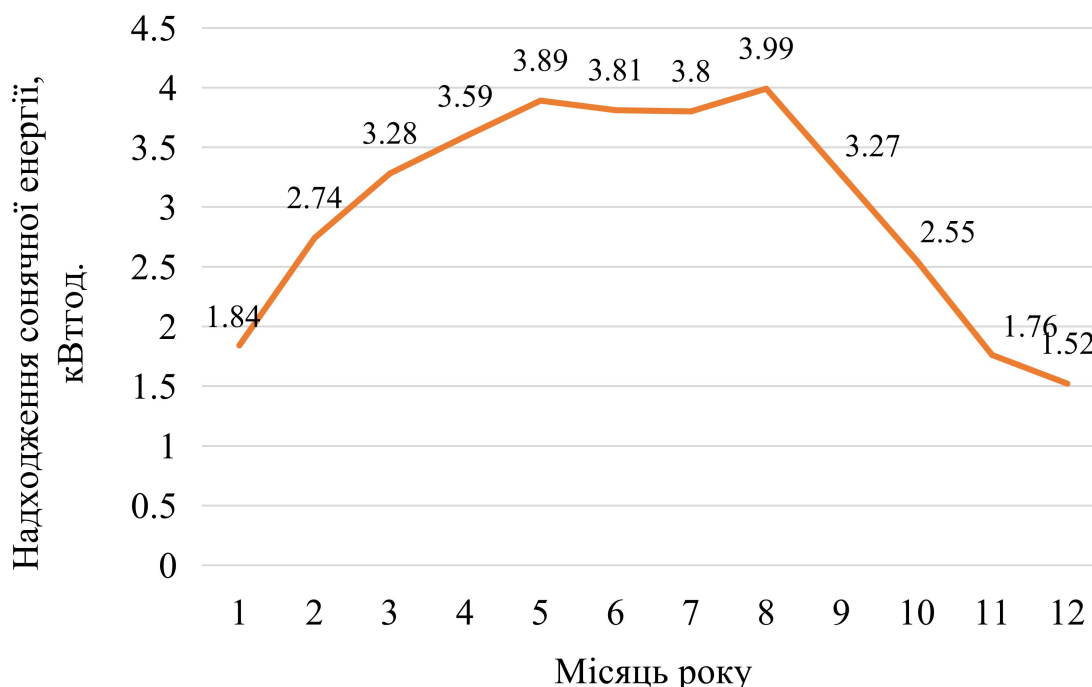


Рисунок 2.3 - Надходження сонячної енергії на сприймаючу площину в регіоні дослідження

На основі показників сонячної радіації, відповідно до форму (2,1) і (2,2), складаємо табл. 2.5

Для оптимального забезпечення електроенергією кліматичної системи протягом року приймаємо відповідно продуктивності фотопанелей і потреби, кількість необхідних для забезпечення потреб фотопанелі в кількості - 20-х одиниць, отриману генеруючу продуктивність - $W_{PVS, кВт*год}$, вписуємо в табл. 2.5

Таблиця 2.5 – Розрахунок продуктивності сонячної електроустановки

Параметр	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H_b , кВт·год.	1,84	2,74	3,28	3,59	3,89	3,81	3,8	3,99	3,27	2,55	1,76	1,52
W_{pv}^d , кВт*год	0,975	1,453	1,739	1,903	2,062	2,02	2,014	2,115	1,733	1,352	0,933	0,806
W_{pv}^m , кВт*год	30,23	42,14	53,91	57,09	63,92	60,6	62,43	65,57	51,99	41,91	27,99	24,18
$W_{PVs,кВт*Г}$ ОД	604,6	842,8	1078, 2	1141, 8	1278, 4	121 2	1248, 6	1311, 4	1039, 8	838,2	559,8	483,6

Відповідно отриманим результатам складаємо табл. 2.5 та будуємо графік енергетичного балансу фотоелектричної установки для забезпечення електроенергією VRF-систему протягом року (рис. 2.4)

З розрахунку бачимо, що при співвідношенні місячного споживання та виробництва протягом року виникає нестача 4576,83 кВт*год, а згенерований надлишок складає - 1702,94 кВт*год.

Таблиця 2.6 – Результати побудови енергетичного балансу фотоелектричної установки для забезпечення електроенергією для сезону опалення

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Місячне споживання електроенергії на опалення, кВт·год	1685.2	1257.53	1579.28	544.82	0	0	0	0	0	496.2	1308.2	2032.1
Місячне споживання електроенергії на кондиціювання, кВт·год	0	0	0	286.05	867.2	1020.38	1062.67	1016.48	731.46	625.52	0	0
Місячне виробництво електроенергії ФЕУ, кВт·год.	604.6	842.8	1078.2	1141.8	1278.4	1212	1248.6	1311.4	1039.8	838.2	559.8	483.6
Енергетичний баланс, кВт·год.	-1080.6	-414.73	-501.08	310.93	411.2	191.62	185.93	294.92	308.34	-283.52	-748.4	-1548.5

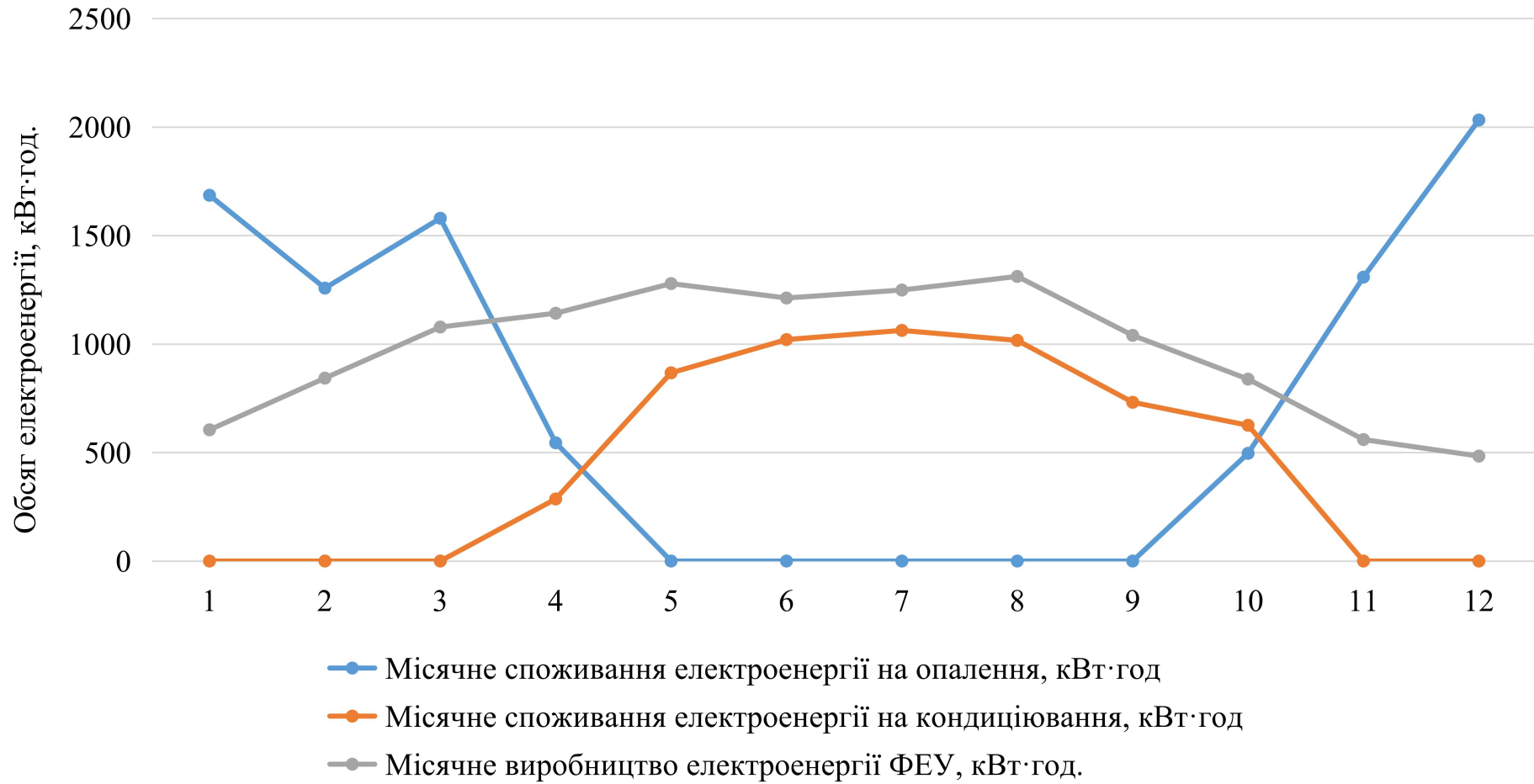


Рисунок 2.4 – Енергетичний баланс фотоелектричної установки для забезпечення електроенергією систему для сезону опалення

Для річного періоду, потрібно обрати середньодобове надходження сонячної радіації під кутом 35 град, що забезпечить оптимум генерації протягом сезону кондиціонування, (рис 2.5)

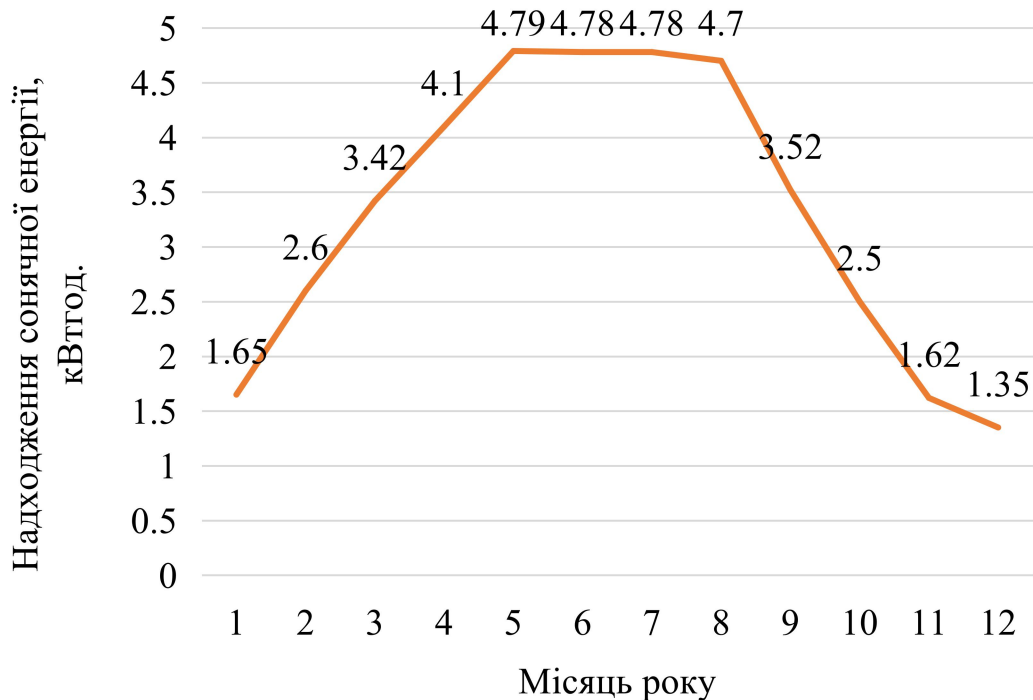


Рисунок 2.5 - Надходження сонячної енергії на сприймаючу площину в регіоні дослідження

На основі показників сонячної радіації, відповідно до форму (2,1) і (2,2), складаємо табл. 2.7

Для оптимального забезпечення електроенергією кліматичної системи протягом року приймаємо відповідно продуктивності фотопанелей і потреби, кількість необхідних для забезпечення потреб фотопанелі в кількості - 13-х одиниць, отриману генеруючу продуктивність - $W_{PVS}, \text{кВт*год}$, вписуємо в табл.2.7

Таблиця 2.7 – Розрахунок продуктивності сонячної електроустановки

Параметр и	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H_b , кВт·год.	1,65	2,6	3,42	4,1	4,79	4,78	4,78	4,7	3,52	2,5	1,62	1,35
W_{pv}^d , кВт*год	0,875	1,378	1,813	2,173	2,539	2,534	2,534	2,492	1,866	1,325	0,859	0,716
W_{pv}^m , кВт*год	27,13	39,96	56,2	65,19	78,71	76,02	78,55	77,25	55,98	41,08	25,77	21,48
W_{PVS} ,кВт* год	352,7	519,5	730,6	847,5	1023, 2	988,3	1021, 2	1004, 3	727,7	534	335	279,2

Відповідно отриманим результатам складаємо (табл. 2.5) та будуємо графік енергетичного балансу фотоелектричної установки для забезпечення електроенергією VRF-систему протягом року (рис 2.6)

З розрахунку бачимо, що при співвідношенні місячного споживання та виробництва протягом року виникає нестача 6322,52 кВт*год, а згенерований надлишок складає - 172,63 кВт*год.

Таблиця 2.8 – Результати побудови енергетичного балансу фотоелектричної установки для забезпечення електроенергією систему кондиціонування

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Місячне споживання електроенергії на опалення, кВт·год	1685.2	1257.5	1579.3	544.82	0	0	0	0	0	496.2	1308.2	2032.1
Місячне споживання електроенергії на кондиціонування, кВт·год	0	0	0	286.05	867.2	1020.38	1062.67	1016.48	731.46	625.52	0	0
Місячне виробництво електроенергії ФЕУ, кВт·год.	352.7	519.5	730.6	847.5	1023.2	988.3	1021.2	1004.3	727.7	534	335	279.2
Енергетичний баланс, кВт·год.	-1332.5	-738.03	-848.68	16.63	156	-32.08	-41.47	-12.18	-3.76	-587.72	-973.2	-1752.9

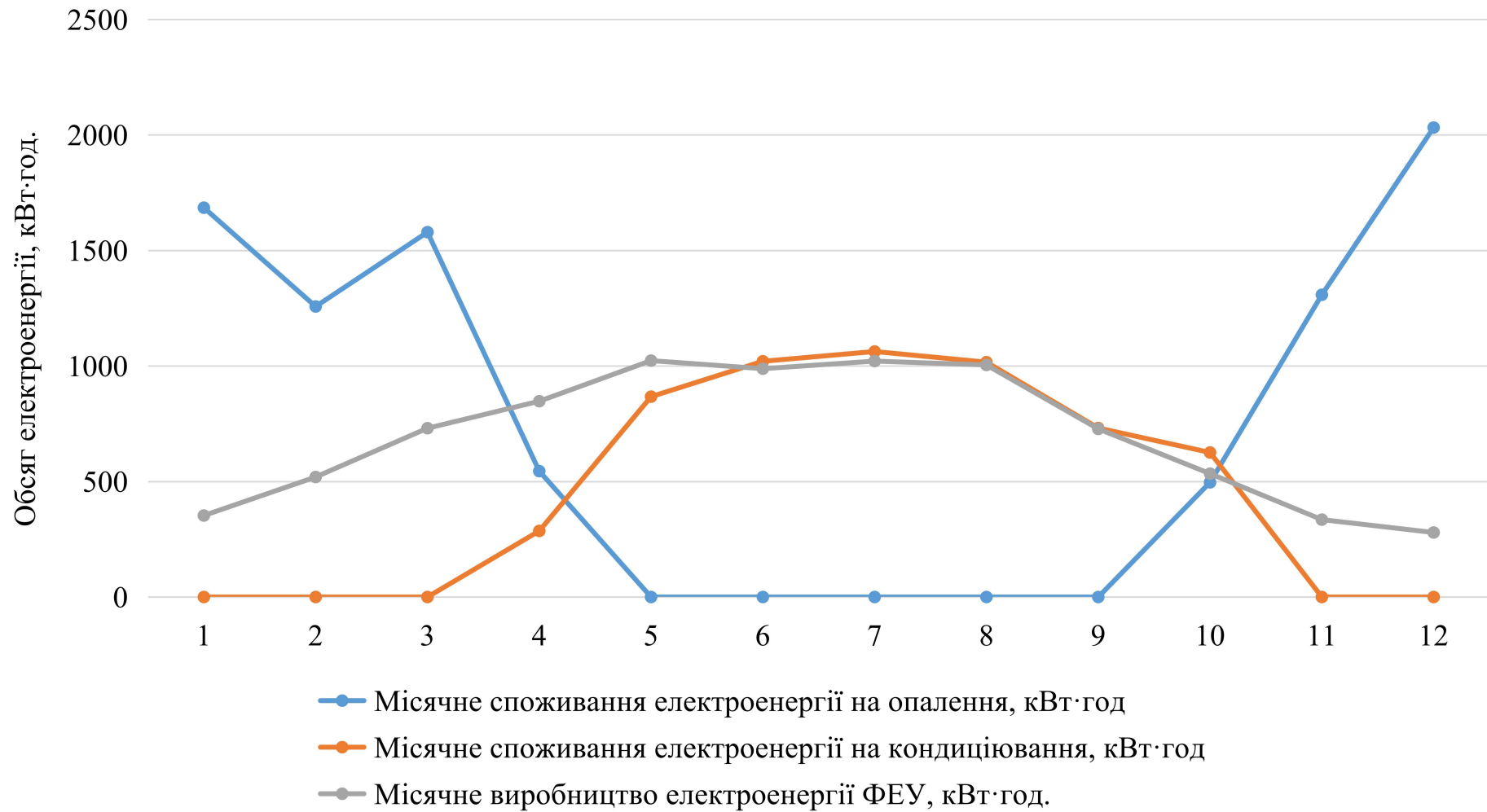


Рисунок 2.6 – Енергетичний баланс фотоелектричної установки для забезпечення електроенергією системи в період необхідного кондиціювання

3 РОЗРОБКА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ

3.1 Опис фотоелектричної частини VRF-системи з інтегрованими сонячними модулями.

Системи кондиціонування з змінним потоком холодоагенту (VRF) є сучасним інженерним рішенням, яке знаходить широке застосування в будівлях різного призначення завдяки своїй високій енергоефективності та гнучкості. Ці системи дозволяють забезпечити індивідуальний температурний режим у кожному приміщенні, що значно підвищує рівень комфорту для користувачів.

Однією з ключових переваг систем VRF є можливість інтеграції з інверторними технологіями. Це дозволяє оптимізувати роботу системи, адаптуючи її потужність до поточних теплових навантажень. Крім того, інверторні технології створюють передумови для інтеграції систем VRF з відновлюваними джерелами енергії, зокрема, фотоелектричними панелями. Таке поєднання дозволяє не тільки знизити енергоспоживання, але й зробити систему більш автономною та екологічно чистою.

Для підвищення енергоефективності та забезпечення безперебійної роботи систем VRF все частіше застосовуються акумулятори енергії. Вони дозволяють накопичувати надлишкову електроенергію, вироблену відновлюваними джерелами, та використовувати її в періоди пікового навантаження або при відсутності зовнішнього джерела живлення. Це особливо актуально для об'єктів, розташованих в районах з нестабільною електромережею.

Таким чином, системи VRF, оснащені інверторними технологіями та акумуляторами енергії, представляють собою перспективне рішення для створення енергоефективних та екологічно чистих систем кондиціонування. Вони дозволяють не тільки забезпечити комфортні умови в приміщеннях, але й

сприяють збереженню енергоресурсів та зменшенню негативного впливу на довкілля.

2.1.1 Технологічний процес роботи та структура.

На сам перед важливо ознайомитись з структурою запропонованої системи генерації та живлення мультизональної VRF-установки. Для цього потрібно ознайомитись з структурною схемою рисунок 2.1.

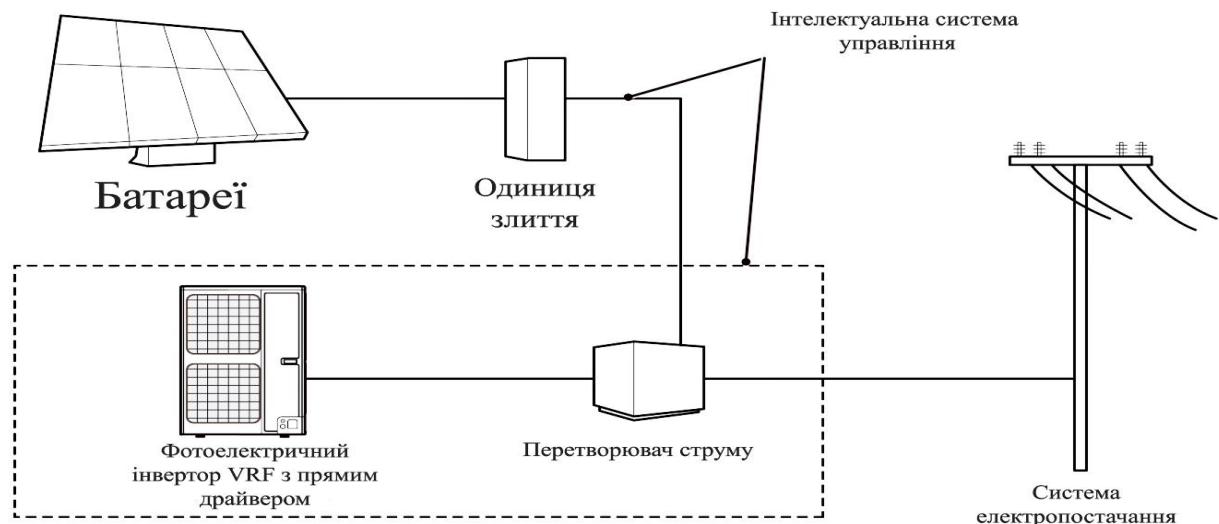


Рисунок 3.1 - Структурне зображення системи живлення мультизональної VRF-системи

На (рис. 3.1) зображено структурну схему системи генерації та живлення мультизональної VRF-установки, яка передбачає використання відновлюваних джерел енергії. Дана система є інноваційним рішенням для забезпечення енергоефективного та екологічно чистого кліматичного контролю приміщень.

Основні компоненти системи та їх функції:

1) Сонячні панелі – це пристрої, які перетворюють сонячне світло безпосередньо в електричний струм. Вони складаються з великої кількості фотоелементів, зазвичай виготовлених з кремнію. Коли сонячне світло потрапляє на фотоелемент, воно збуджує електрони, створюючи електричний струм.

Альтернативи та доповнення до сонячних панелей, у випадку, якщо генерація сонячної енергії недостатня або тимчасово відсутня, можна розглянути такі альтернативи або доповнення:

- Акумулятори: Зберігають енергію, вироблену сонячними панелями, для використання в нічний час або при несприятливих погодних умовах.
 - Вітрогенератори: Перетворюють кінетичну енергію вітру в електричну.
 - Гідроелектростанції: Використовують енергію рухомої води для виробництва електроенергії.
 - Біогазові установки: Перетворюють біомасу (органічні відходи) на біогаз, який потім спалюється для виробництва електроенергії.
- 2) “Одинниця злиття” в контексті запропонованої схеми цю роль може виконувати, як група акумуляуючих батарей так і комутуючий колектор до якого підключається група сонячних батарей, тощо.
 - 3) Інвертор VRF-системи з прямим приводом: Перетворює постійний струм від сонячних панелей та батареї на змінний струм, необхідний для живлення VRF-системи.
 - 4) Система електропостачання: Забезпечує підключення системи до загальної електромережі для покриття додаткових енергетичних потреб.
 - 5) Інтелектуальна система управління: Контролює роботу всіх компонентів системи, оптимізує споживання енергії та забезпечує максимальний комфорт.

Принцип роботи:

1. Сонячні панелі генерують електроенергію, яка надходить на інвертор з прямим приводом.
2. Інвертор перетворює постійний струм на змінний і подає його на VRF-систему та/або на акумулятор для заряджання.
3. В період відсутності сонячної радіації або при підвищеному навантаженні на систему кондиціонування, акумулятор віддає накопичену енергію в мережу.
4. Інтелектуальна система управління оптимізує роботу всіх компонентів системи, забезпечуючи максимальну ефективність використання енергії та підтримуючи задані параметри мікроклімату в приміщенні.

Не менш важливою особливістю є можливість об'єднання в одну енергетичну систему декількох і більше VRF-систем, зображення на (рис. 2.2).

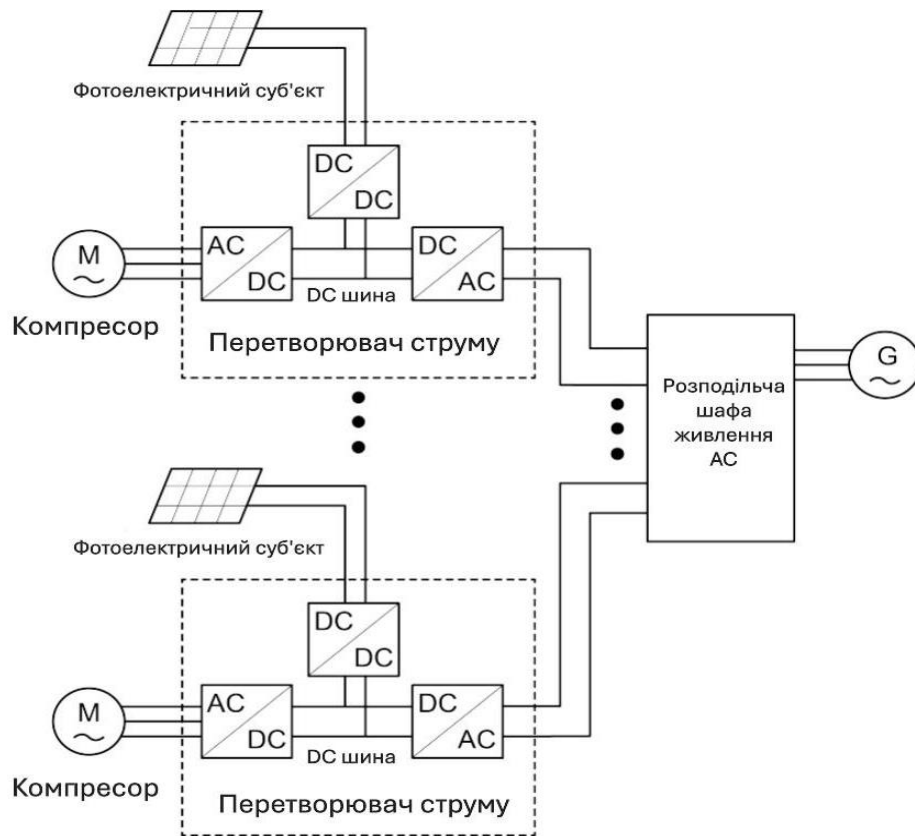


Рисунок 3.2 - Схема об'єднання енергетичних систем VRF-систем з фотоелектричними модулями

Ключова перевага об'єднання в одну систему є синхронна робота елементів системи, що забезпечує не лише підвищення її ефективності, але й створює умови для взаємодоповнюваності та резервування. Глибоке розуміння режимів функціонування таких інтегрованих систем дозволяє оптимізувати їх роботу, забезпечити надійність та підвищити загальну ефективність. Зокрема, аналіз режимів роботи дає змогу визначити оптимальні стратегії управління енергопотоками, розподілу навантажень та забезпечення безперебійності живлення.

Фотоелектричні інвертори з прямим приводом, інтегровані в мультизональні системи кондиціонування (VRF), забезпечують ефективне використання сонячної енергії для охолодження та опалення приміщень.

Розглянемо детальніше п'ять основних режимів роботи такого інвертора на прикладі живлення зовнішнього блоку VRF-системи.

Перший режим роботи “Прямого живлення”.

У режимі прямого живлення від мережі, зовнішній блок VRF-системи функціонує як традиційний кондиціонер, споживаючи електроенергію з загальної мережі. Коли фотоелектрична установка не генерує достатню кількість електроенергії для забезпечення роботи системи, дефіцит потужності компенсується за рахунок енергії, що надходить з мережі. Такий режим роботи є найбільш простим у реалізації та забезпечує стабільну роботу системи навіть за відсутності сонячної радіації. Зображення схеми роботи (рис. 3.3)

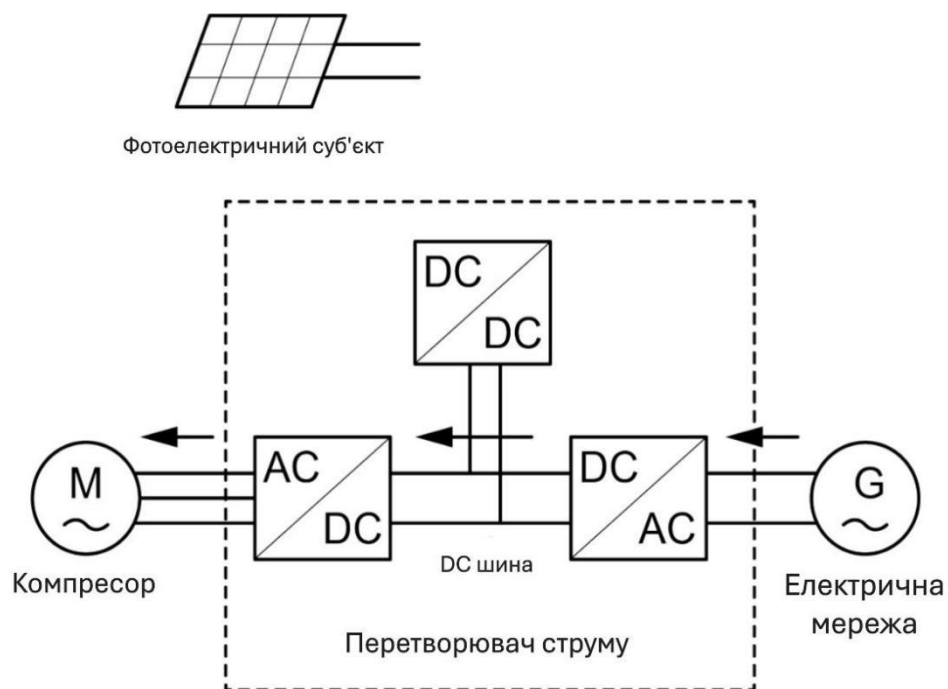


Рисунок 3.3 - Схематичне зображення режиму роботи “Прямого живлення”

Другий режим роботи “Генератора електроенергії в мережу”

Режим виробництва електроенергії в мережу. В цьому режимі, коли попит на охолодження або опалення відсутній або мінімальний, система переходить в режим генерації електроенергії, яка надходить безпосередньо в електричну мережу. Схематичне зображення роботи (рис. 3.4)

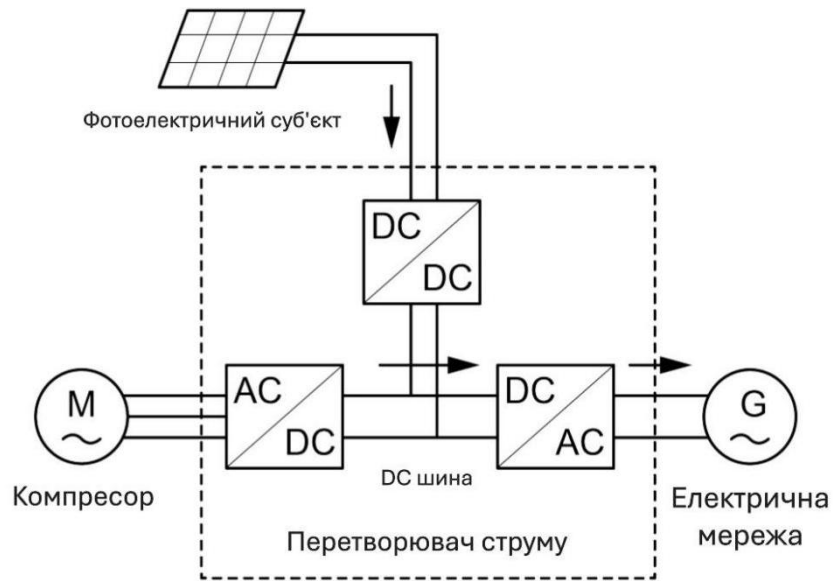


Рисунок 3.4 - Схематичне зображення режиму роботи "Генератора електричної енергії в мережу"

Принцип роботи зяключається в тому, що сонячне світло, потрапляючи на фотоелектричні панелі, перетворюється на постійний електричний струм. Далі, за допомогою інвертора, цей струм перетворюється на змінний струм з параметрами, що відповідають параметрам мережі. Отримана електроенергія надходить в електричну мережу, забезпечуючи додаткове джерело живлення для споживачів.

Переваги режиму:

Енергонезалежність: Забезпечує додаткове джерело електроенергії, що дозволяє знизити залежність від централізованого енергопостачання.

Екологічність: Сприяє зменшенню викидів парникових газів та інших шкідливих речовин в атмосферу.

Економічна ефективність: Дозволяє знизити витрати на електроенергію за рахунок використання власного джерела.

Третій режим роботи "Самозабезпечення енергією"

Режим самозабезпечення енергією. Це означає, що електроенергія, вироблена сонячними батареями, повністю покриває потреби системи кондиціонування. Схематичне зображення (рис. 3.5)

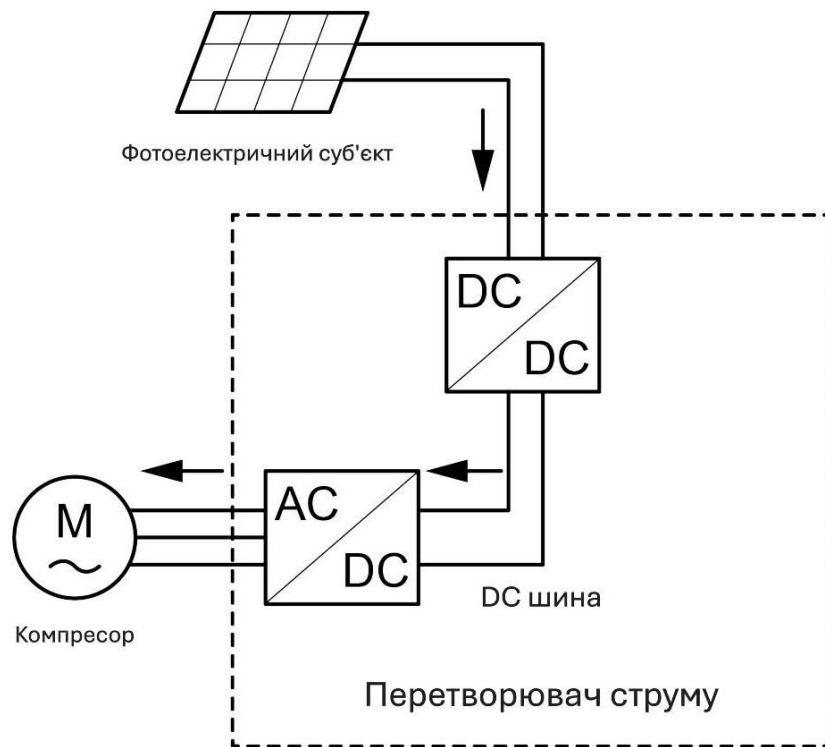


Рисунок 3.5 - Схематичне зображення режиму роботи "Самозабезпечення енергіє"

Принцип роботи:

Сонячне світло, потрапляючи на фотоелектричні панелі, перетворюється на постійний електричний струм. Далі, за допомогою інвертора, цей струм перетворюється на змінний струм з параметрами, що відповідають параметрам системи кондиціонування. Отримана електроенергія живить компресор, вентилятори та інші компоненти системи, забезпечуючи охолодження або опалення приміщення.

Умови для роботи в режимі самозабезпечення:

Потужність фотоелектричної установки: Потужність сонячних панелей повинна бути достатньою для покриття максимального споживання електроенергії системою кондиціонування.

Інтенсивність сонячної радіації: Ефективність роботи системи безпосередньо залежить від кількості сонячного світла, що потрапляє на фотоелектричні панелі.

Налаштування системи керування: Система автоматичного керування повинна забезпечувати оптимальне розподілення електроенергії між різними споживачами.

Четвертий режим роботи “Надлишкового виробництва енергії”

Режим надлишкового виробництва електроенергії в системах Multi VRF характеризується ситуацією, коли потужність, вироблена фотоелектричними панелями, перевищує поточну потребу мультизональної системи в електроенергії. В такому випадку надлишкова електроенергія може бути спрямована на різноманітні потреби, зокрема, на покриття загального навантаження будівлі або подачу в електричну мережу. Схематичне зображення (рис 3.7)

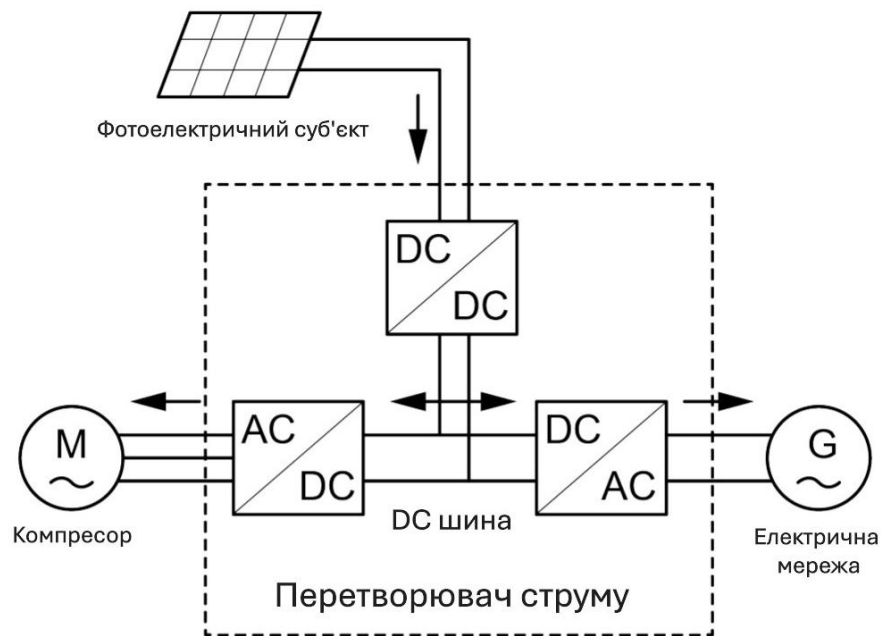


Рисунок 3.7 - Схематичне зображення режиму роботи “Надлишкового виробництва енергії”

Принцип роботи полягає в тому що:

Сонячна енергія, що потрапляє на фотоелектричні панелі, перетворюється на постійний електричний струм. Цей постійний струм надходить на інвертор, який здійснює перетворення в змінний струм, відповідний параметрам електромережі. Отримана змінна електрична енергія спочатку використовується для живлення системи кондиціонування, забезпечуючи її роботу. Якщо потужність,

вироблена фотоелектричними панелями, перевищує потреби системи кондиціонування, надлишкова електроенергія через двонаправлений лічильник подається в електричну мережу. Таким чином, система не лише забезпечує власні енергетичні потреби, але й може стати додатковим джерелом електроенергії для зовнішньої мережі.

Переваги режиму надлишкового виробництва:

Зменшення залежності від зовнішніх джерел енергії: Забезпечує додаткове джерело електроенергії, що дозволяє знизити витрати на електроенергію.

Збільшення енергоефективності: Ефективне використання сонячної енергії.

Можливість продажу надлишкової електроенергії: При наявності відповідних умов тарифів, надлишкова електроенергія може бути продана енергокомпанії.

П'ятий режим роботи “Недостатньої генерації енергії”

Режим недостатньої генерації фотоелектричної енергії характеризується ситуацією, коли потужність, вироблена фотоелектричними панелями, недостатня для повного забезпечення енергетичних потреб системи кондиціонування. В такому випадку дефіцит електроенергії компенсується за рахунок енергії, що надходить з загальної електричної мережі. Схематичне зображення (рис. 3.8)

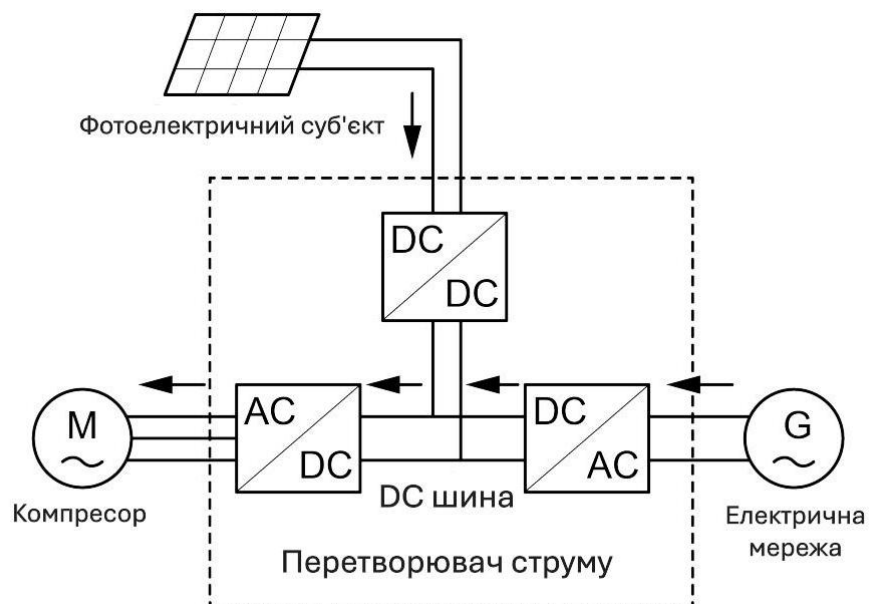


Рисунок 3.8 - Схематичне зображення режиму роботи “Недостатньої генерації енергії”

Принцип роботи:

Сонячне світло, потрапляючи на фотоелектричні панелі, перетворюється на постійний електричний струм. Далі, за допомогою інвертора, цей струм перетворюється на змінний струм. Однак, в умовах недостатньої інсоляції або при підвищеному навантаженні на систему кондиціонування, виробленої електроенергії може бути недостатньо для повного забезпечення потреб системи. В такому випадку дефіцит електроенергії компенсується за рахунок енергії, що надходить з загальної електричної мережі.

Наслідки недостатньої генерації:

Зниження енергоефективності системи: Частина споживаної електроенергії виробляється за рахунок традиційних джерел енергії, що зменшує загальну ефективність системи.

Збільшення витрат на електроенергію: Необхідність дозакуповувати електроенергію з мережі призводить до додаткових витрат.

Зниження автономності системи: Система стає більш залежною від зовнішніх джерел енергопостачання.

Функцію керування фотолелектрично частиною та VRF - системою з внутрішніми блоками електронний блок з вбудованим інвертором, (рис. 3.9).

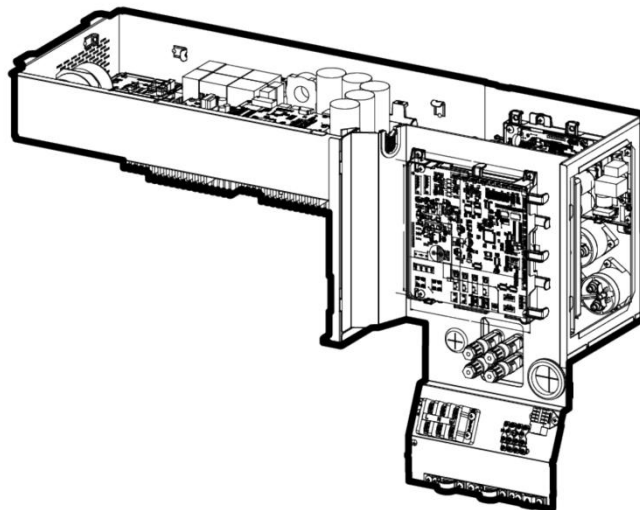


Рисунок 3.9 - Електронний блок управління з вбудованим інвертором

Зазначений електронний блок інтегрує в собі декілька ключових функцій. По-перше, він відповідає за комутацію фотоелектричних панелей, забезпечуючи оптимальне підключення та відключення сонячних батарей залежно від потреб системи. По-друге, блок керує роботою внутрішніх блоків VRF системи, регулюючи температуру та потік повітря в кожному окремому приміщенні. По-третє, він контролює роботу компресора, що є ключовим елементом холодильного циклу VRF системи, оптимізуючи його продуктивність для досягнення заданих параметрів мікроклімату. Нарешті, вбудований інвертор забезпечує перетворення постійного струму, що генерується фотоелектричними панелями, у змінний струм, придатний для живлення системи або передачі в електромережу.

Для розуміння підєднання і комутації системи проведемо аналіз схеми підключення до блоку управління з вбудованим інвертором, зображеної на (рис. 3.10), дозволяє зрозуміти структуру та функціональні особливості системи. Схема відображає підключення зовнішнього блоку (ODU), внутрішніх блоків (IDU), фотоелектричних панелей (PV) та системи керування.

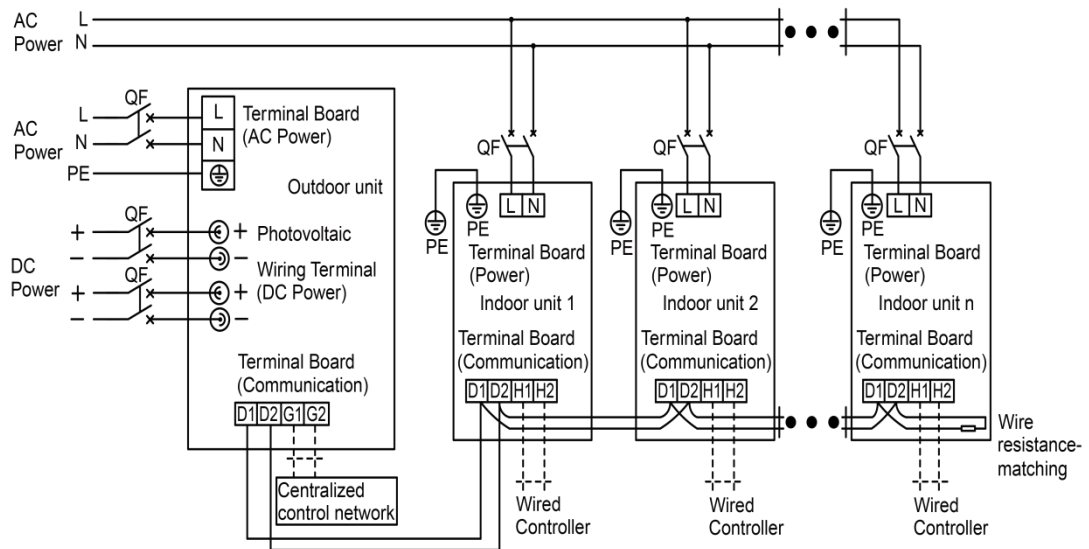


Рисунок 3.10 - Схема підключення до блоку управління

Схема демонструє систему кондиціонування з можливістю живлення від фотоелектричних панелей та централізованим керуванням. Система складається з:

Зовнішній блок (ODU): Містить основні компоненти системи кондиціонування, такі як компресор та теплообмінник.

Внутрішні блоки (IDU): Розташовані в приміщеннях, що кондиціонуються, та забезпечують розподіл охолодженого або нагрітого повітря.

Фотоелектричні панелі (PV): Генерують постійний струм (DC) з сонячної енергії.

Блок керування з інвертором: Керує роботою всієї системи, включаючи комутацію PV панелей, роботу компресора та внутрішніх блоків. Інвертор перетворює постійний струм від PV панелей у змінний струм (AC).

Централізована мережа керування: Забезпечує координацію роботи всіх компонентів системи.

Провідні контролери: Дозволяють індивідуально керувати кожним внутрішнім блоком.

Електричні з'єднання:

Живлення змінним струмом (AC Power): До зовнішнього блоку підводиться живлення змінним струмом (L – лінія, N – нейтраль, PE – заземлення). Також живлення AC підводиться до кожного внутрішнього блоку окремо.

Живлення постійним струмом (DC Power): Фотоелектричні панелі підключаються до зовнішнього блоку за допомогою роз'ємів PV+ та PV-.

Захист (QF): Кожен ланцюг живлення (AC та DC) захищений автоматичним вимикачем (QF) для запобігання короткому замиканню та перевантаженню.

Комунікація (D1, D2, G1, G2, H1, H2): Між зовнішнім блоком, внутрішніми блоками та централізованою мережею керування існують комунікаційні лінії, що забезпечують обмін даними та керування системою.

Клемні колодки: Використовуються для зручного та безпечного підключення проводів.

Узгодження опору дроту: Для забезпечення якісної комунікації між блоками передбачено узгодження опору дроту.

Функціональні особливості

Живлення від PV панелей: Система може використовувати енергію, згенеровану фотоелектричними панелями, для живлення системи кондиціонування, що дозволяє знизити споживання електроенергії з мережі.

Централізоване керування: Централізована мережа керування дозволяє координувати роботу всіх компонентів системи та оптимізувати її ефективність.

Індивідуальне керування внутрішніми блоками: Провідні контролери дозволяють користувачам встановлювати бажану температуру та інші параметри для кожного окремого приміщення.

Захист від перевантаження та короткого замикання: Автоматичні вимикачі забезпечують безпеку роботи системи.

Схема відображає складну, але ефективну систему кондиціонування з можливістю використання відновлюваної енергії та централізованого керування. Вбудований інвертор відіграє важливу роль у забезпеченні інтеграції фотоелектричної системи з системою кондиціонування. Важливо дотримуватися інструкцій з підключення та експлуатації системи для забезпечення її безпечної та надійної роботи

Комутація сонячних панелей є ключовим аспектом створення ефективної фотоелектричної системи, що забезпечує оптимальне використання сонячної енергії. Комутація передбачає електричне з'єднання окремих фотоелектричних модулів (PV-панелей) для досягнення необхідних параметрів напруги та струму, що відповідають характеристикам інвертора або іншого обладнання системи. Існує два основних методи комутації: послідовне та паралельне з'єднання, а також їх комбінації.

Послідовне з'єднання передбачає з'єднання позитивного полюса однієї PV-панелі з негативним полюсом наступної, і так далі, утворюючи ланцюжок. При послідовному з'єднанні напруга окремих панелей сумується, тоді як струм залишається незмінним. Цей метод використовується для збільшення загальної напруги системи, що є важливим для роботи з інверторами, які вимагають певний рівень вхідної напруги. Важливо враховувати, що при послідовному з'єднанні вихідні параметри всього ланцюжка будуть визначатися найменш ефективною панеллю. Наприклад, часткове затінення однієї з панелей у ланцюжку призведе до зниження продуктивності всієї послідовності.

Паралельне з'єднання передбачає з'єднання позитивних полюсів усіх PV-панелей між собою, а також з'єднання негативних полюсів. При паралельному з'єднанні струм окремих панелей сумується, тоді як напруга залишається незмінною. Цей метод використовується для збільшення загального струму системи, що може бути необхідно для живлення пристроїв з високим споживанням струму або для компенсації втрат струму внаслідок опору проводів. Паралельне з'єднання менш чутливе до часткового затінення, оскільки затінення однієї панелі впливає лише на струм цієї конкретної панелі, не впливаючи на роботу інших.

На практиці часто використовується комбіноване послідовно-паралельне з'єднання, яке дозволяє одночасно досягти необхідних параметрів як напруги, так і струму. Цей метод особливо корисний при створенні великих фотоелектричних систем, де необхідно оптимізувати роботу системи з урахуванням характеристик інвертора та умов освітлення.

Для з'єднання PV-панелей використовуються спеціальні конектори MC4 (Multi-Contact 4), зображення (рис. 3.11). Ці конектори забезпечують надійне та герметичне з'єднання, стійке до впливу зовнішніх факторів, таких як волога, ультрафіолетове випромінювання та перепади температур. Конструкція конектора MC4 включає в себе металеві контакти з фіксуючим механізмом та ізоляційний корпус з ущільнювачами. Це забезпечує захист від випадкового роз'єднання та запобігає потраплянню вологи всередину з'єднання, схема з'єднання (рис. 3.12)

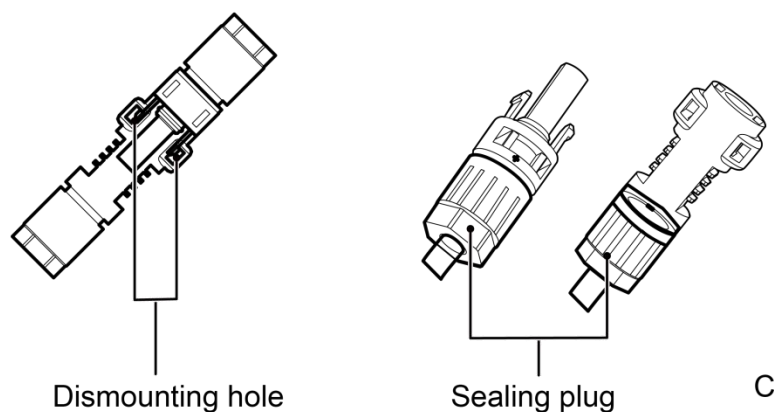


Рисунок 3.11 Конектор MC4

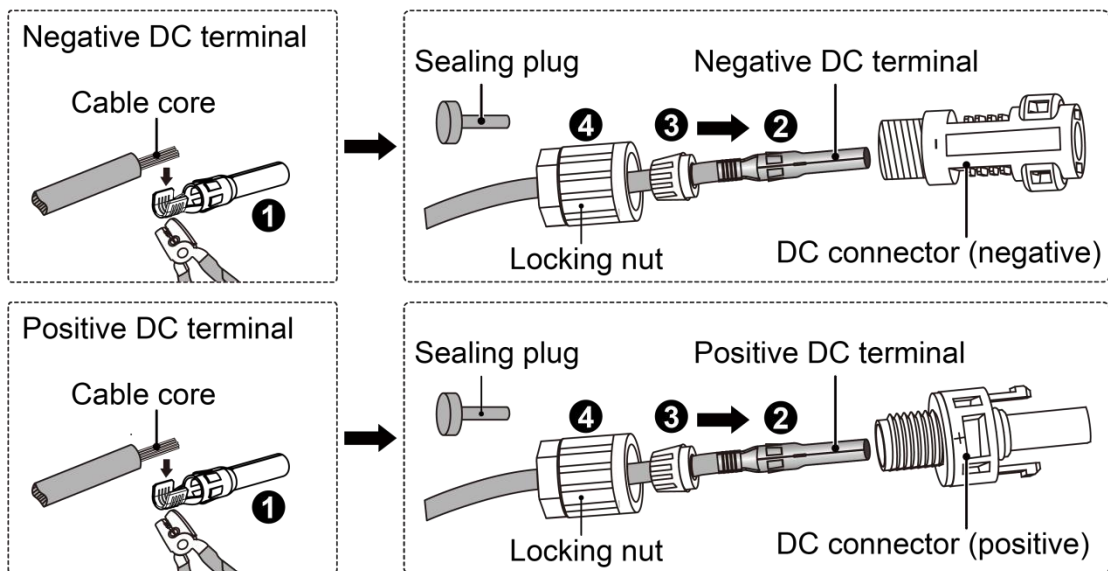


Рисунок 3.12 Схема з'єднання конектора з кабелем

Правильний вибір методу комутації та використання якісних конекторів, таких як MC4, є важливими факторами для забезпечення ефективної та безпечної роботи фотоелектричної системи. Неправильна комутація може призвести до зниження продуктивності системи, пошкодження обладнання або навіть виникнення небезпечних ситуацій. Тому, при проектуванні та монтажі фотоелектричних систем, необхідно звертатися до кваліфікованих фахівців.

3.2 Обґрунтування впровадження фотоелектричної системи

Впровадження мультizonальної VRF-системи в лабораторії Відновлювальних джерел енергії є раціональним рішенням, яке відповідає як технічним, так і освітнім потребам цього закладу. По-перше, така система дозволяє забезпечити комфортний мікроклімат в усіх приміщеннях лабораторії, незалежно від їх функціонального призначення, завдяки можливості індивідуального регулювання температури в кожному з них. Це особливо актуально для будівель зі старим фондом, де традиційні системи опалення та кондиціонування не завжди здатні забезпечити необхідний рівень комфорту.

По-друге, інтеграція VRF-системи з фотоелектричними панелями дозволяє значно підвищити енергоефективність системи в цілому. Сонячна енергія може

бути використана для живлення компресорів зовнішніх блоків VRF-системи, що дозволить знизити витрати на електроенергію та зменшити залежність від централізованих енергомереж. Це відповідає концепції лабораторії Відновлювальних джерел енергії, яка орієнтована на дослідження та впровадження нових енергоефективних технологій.

Крім того, така система має значний навчальний потенціал. Студенти зможуть наочно спостерігати за роботою сучасної енергоефективної системи, вивчати принципи її функціонування та аналізувати отримані дані. Це сприятиме підвищенню кваліфікації майбутніх фахівців в галузі енергетики та відновлюваних джерел енергії.

Важливим аргументом на користь такого рішення є також можливість забезпечення автономності лабораторії. Враховуючи відсутність централізованого опалення та обмежені можливості підключення до інших джерел енергії, інтегрована система з фотоелектричними панелями дозволить забезпечити як охолодження, так і опалення приміщень, особливо в перехідні періоди року.

Таким чином, впровадження VRF-системи з інтегрованими сонячними модулями в лабораторії Відновлювальних джерел енергії є комплексним рішенням, яке дозволяє:

- 1) Підвищити енергоефективність будівлі;
- 2) Забезпечити комфортний мікроклімат у всіх приміщеннях;
- 3) Зменшити залежність від централізованих енергомереж;
- 4) Створити навчальну платформу для підготовки фахівців в галузі енергоефективності;
- 5) Продемонструвати на практиці можливості сучасних систем кондиціонування та відновлюваних джерел енергії.

Це рішення відповідає сучасним тенденціям розвитку енергетики та сприяє створенню більш стійких та енергоефективних будівель.

3.3 Засоби захисту фотоелектричної установки

Засоби аварійного відключення та запобігання поломок фотоелектричної системи є критично важливими для забезпечення безпечної та надійної експлуатації цих систем. Вони спрямовані на мінімізацію ризиків ураження електричним струмом, запобігання пожежам, захист обладнання від пошкоджень та забезпечення безперервності генерації електроенергії. Розглянемо основні аспекти цієї теми.

Засоби аварійного відключення призначені для швидкого та безпечного відключення фотоелектричної системи від мережі або від навантаження в разі виникнення аварійної ситуації. До них належать:

- Роз'єднувачі постійного струму (DC disconnects): Встановлюються між фотоелектричними модулями та інвертором. Вони дозволяють фізично розірвати електричне коло постійного струму, що є особливо важливим під час проведення технічного обслуговування або в разі пожежі. Роз'єднувачі повинні бути розраховані на відповідну напругу та струм.
- Роз'єднувачі змінного струму (AC disconnects): Встановлюються між інвертором та мережею. Вони дозволяють відключити інвертор від мережі змінного струму.
- Аварійні вимикачі (Emergency shutdown switches): Розміщуються в легкодоступних місцях та дозволяють швидко відключити всю фотоелектричну систему в разі надзвичайної ситуації.
- Автоматичні вимикачі (Circuit breakers): Захищають електричні кола від перевантаження та короткого замикання. Вони автоматично розривають коло при перевищенні допустимих значень струму.

Засоби запобігання поломок спрямовані на попередження виникнення аварійних ситуацій та пошкоджень обладнання. До них належать:

- Захист від перенапруг (Surge protection devices, SPD): Захищають обладнання від імпульсних перенапруг, що можуть виникати внаслідок грозових

розрядів або комутаційних процесів в мережі. SPD встановлюються як на стороні постійного, так і змінного струму.

- **Захист від зворотного струму (Reverse current protection):** Запобігає протіканню зворотного струму через фотоелектричні модулі, що може призвести до їх пошкодження. Для цього використовуються діоди або спеціальні електронні схеми.
- **Системи моніторингу та діагностики (Monitoring and diagnostic systems):** Збирають дані про роботу фотоелектричної системи, такі як напруга, струм, потужність, температура та інші параметри. Аналіз цих даних дозволяє виявляти відхилення від нормальних режимів роботи та прогнозувати можливі поломки.
- **Захист від заземлення (Grounding):** Забезпечує безпечне відведення струму в землю в разі пошкодження ізоляції. Правильне заземлення є обов'язковим для всіх елементів фотоелектричної системи.

Підбір засобів захисту для лінії постійного струму

Запобіжники

Кожен виробник запобіжників для сонячних станцій подає власну методичку їх підбору. Типова методика полягає у визначенні струму та напруги запобіжника за формулами:

$$I_n \geq \frac{I_{sc}}{K} \cdot 1,4 \qquad U_n \geq U_{oc} \cdot 1,2$$

де I_n , U_n – номінальний струм і напруга запобіжника, А;

I_{sc} – струм короткого замикання ланцюга фотопанелей (стрінга), А; у випадку застосування паралельних стрінгів визначається як добуток суми струмів короткого замикання на кількість приєднаних паралельно фотопанелей);

K – коригуючий температурний коефіцієнт; для температури навколишнього середовища $20\text{ }^\circ\text{C} = 1$;

U_{oc} – напруга розімкненого кола ланцюга фотопанелей, В; визначається як добуток напруги фотопанелі на кількість панелей у ланцюгу.

Міжнародні норми, наприклад, польська PN-HD 60364-7-712: 2007 на стороні постійного струму дозволяє тривалий струм навантаження рівний $1,25 \cdot I_{sc}$.

З іншого боку, стандарт вимагає на стороні постійного струму застосовувати DC перемикач.

На практиці, запобіжники використовуються для проектування установок з паралельним з'єднанням ланцюгів фотоелектричних панелей. Це необхідно з міркувань безпеки, тому що таке з'єднання може спричинити струми, які можуть пошкодити різні компоненти системи, в тому числі фотоелектричні панелі.

У рідкісних випадках, коли напруга розімкнутого ланцюга є набагато нижчою на затискачах одного з ланцюгів, ніж напруга інших, які приєднані паралельно, то вони можуть повністю змінити напрям протікання струму через модулі. Це може спричинити пошкодження спадком напруги.

Значення реверсивного (зворотного) струму визначається як

$$I_{rew} = (N_{PV} - 1) \cdot I_{sc}$$

де N_{PV} – кількість ланцюгів фотопанелей, які приєднані паралельно, шт.

Якщо значення електричного струму буде вище, ніж зворотній струм, який може прийняти фотоелектрична панель, то вона імовірно буде пошкоджена.

Як правило, фотоелектричні панелі можуть приймати зворотній струм, який перевищує струм короткого замикання в 1,5 - 2 рази. З цієї причини, як правило, необхідність в запобіжниках з'являється при трьох або більше паралельних ланцюгів фотоелектричних панелей.

Захист паралельного з'єднання від зворотних струмів здійснюється шляхом додавання до ланцюга блокуючих діодів або плавких запобіжників.

Вибір значення запобіжника здійснюють виходячи з принципу:

$$1,4 \cdot I_{sc} > I_n > 0,9 \cdot I_{rew}$$

де I_n – номінальний струм запобіжника, А;

I_{sc} – струм короткого замикання фотоелектричної панелі, А;

I_{rew} – допустимий зворотній струм фотоелектричної панелі, А; зазвичай вдвічі більший від I_{sc} .

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок

При оцінці технологій виробництва електроенергії з використанням засобів відновлюваної енергетики, зокрема, сонячних фотоелектричних установок потрібно розглянути окремо основні технологічні ланки системи, які в основному призводять до травм, аварій, небезпечних та шкідливих наслідків як для здоров'я людини так і для навколишнього середовища.

При встановленні причинно-наслідкових зв'язків між подіями, що призвели до травми працюючого, необхідно розрізняти поняття "небезпечний виробничий фактор", "травматизм", "нещасний випадок" і "травма" тощо.

У процесі роботи людина може потрапляти в небезпечну зону внаслідок відсутності там необхідного там огороження, сигнальних пристроїв або попереджувальних знаків та написів, порушення відповідних правил, допущеної помилки або внаслідок аварії. При цьому виникає можливість дії на неї небезпечного виробничого фактору. Кожну дію, внаслідок якої людина потрапляє до небезпечної зони, позначено як небезпечну.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які: характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини тощо; спонукають працюючого допускати помилок у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці; відсутність відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці; створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону.

Якщо в наслідок аварії технологічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що наслідком аварії. Це

стосується тих систем, у яких підсистеми одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Для виявлення можливості виникнення травматичної ситуації на виробництві необхідно використовувати різні методи їх прогнозування. Одним із варіантів є логічне моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків.

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також споруд, виробничих процесів і технологій. Але як показали дослідження, будь-яка аварія або катастрофа може бути наслідком однієї із багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій.

Даний метод дає можливість шляхом побудови "дерева" відмов і помилок операторів різних систем вести математичну обробку моделі з метою одержання ймовірності виникнення таких подій, як аварія, травма і катастрофа. Обчисленням рівня безпеки можна спрямувати удосконалення конструкції технічних засобів на зниження їх небезпек, а також вживати термінованих заходів для усунення небезпек з більш високим рівнем.

Метод "дерева несправностей" або "дерева помилок оператора" застосовують для аналізу складних систем. Основні принципи побудови моделі такі: вивчається виробництво, на якому мали місце раніше або можуть мати місце аварії, виробничі травми.

Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи, що характеризують ті чи інші події. Як правило, побудова моделі починається з

головної операції, а наступні розміщуються зверху вниз аж до базових подій (рис. 4.1).

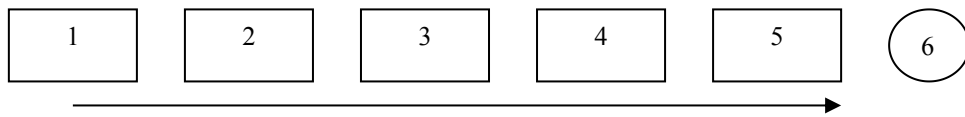


Рисунок 4.1 – Модель дерева помилок: 1-відмова системи – головна подія;

2-послідовність подій, що призводять до відмови (аварія) системи;

3-послідовність подій зображується за допомогою логічних операторів "І", "АБО" та інші; 4-усі входні і вихідні події, що входять до моделі, зображуються у вигляді прямокутників з відповідними написами.;

5-послідовний підхід до базових подій, частоти виникнення яких відомі;

6-базові події зображують у вигляді кружечків із написами всередині, вони є межею аналізу побудованої моделі ("дерева помилок")

Кожен блок рисунка, позначений відповідним номером, означає подію або окремий етап побудови моделі.

Аналіз умов, обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови "дерева" відмов та помилок оператора людино-машинних систем у народному господарстві. Так побудовані операторні або логіко-імітаційні моделі травм.

4.2. Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Для того, щоб оцінку рівня небезпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірностей будь-якого

випадкового явища. Основні принципи даного методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця виявляють виробничі небезпеки аварійні та травмонебезпечні ситуації. При оцінці ситуації визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко імітаційної моделі. Після цього будують модель ("дерево помилок і відмов оператора"). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події. Головна випадкова подія в даному випадку – травма, модель якої побудована на (рис. 4.2). Для побудови даної моделі ("дерева") травми використовують оператори "Г" та "АБО", після цього виконують набір ситуацій, які призвели до цієї події, яку вибрано як головною, після визначення ситуації, що привела до травми визначаємо інші такі події, що входять до кожної такої ситуації. Процес побудови моделі триває поки не будуть здійснені усі базові події, що визначають межу моделі.

Науковцями доведено, що стан робочого місця впливає не тільки на умови роботи, але процес виробництва в цілому. Такі чинники, відсутність засобів індивідуального захисту, невиконання профілактичних заходів щодо огляду робочого місця, нехтування правилами техніки безпеки можуть бути причиною травмування робітника. Людина може втручатися у будь-яку подію, це досить природно. Щодо конкретного випадку, то на першому етапі, це втручання людини у виробничий процес, тобто дотримання правил техніки безпеки, проведення профілактичного огляду перед початком роботи.

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій, застосовуючи формули:

1. Базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "Г" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 \cdot P_2. \quad (4.1)$$

Таблиця 4.1 – Ймовірності подій

Шифр	Назва події	Ймовірність
P ₁	Відсутність захисного заземлення	0,02
P ₂	Пошкодження захисного заземлення	0,04
P ₃	Спрацювання складових установки	0,1
P ₄	Неправильна експлуатація обладнання	0,02
P ₅	Відсутність профілактичних заходів	0,2
P ₆	Відсутність захисного щита	0,12
P ₇	Недотримання правил вибору взуття	0,15
P ₈	Незнання правил техніки безпеки	0,1
P ₉	Відсутність засобів індивідуального захисту	0,2
P ₁₀	Халатність	0,15

2. За допомогою оператора "I" три події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події P_4 обчислюють так:

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (4.2)$$

3. Оператор "I" об'єднує n події з ймовірностями P_1 , P_2 , P_3 , ..., P_n тоді ймовірність вихідної події P буде

$$P = P_1 \cdot P_2 \dots P_n. \quad (4.3)$$

4. Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "АБО" входять до третьої події. Тоді ймовірність P_3 буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2. \quad (4.4)$$

5. Оператор "АБО" об'єднує три базові події з ймовірностями P_1 , P_2 , P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступні події з ймовірністю P_4 Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (4.5)$$

6. Якщо до оператора "АБО" входять чотири і більше випадкових базових події з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх

згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули. Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення, аж поки не залишаться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції. Так поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

Для проведення обчислень ймовірності травми використовуємо логіко-імітаційну модель процесу її формування (рис. 4.2).

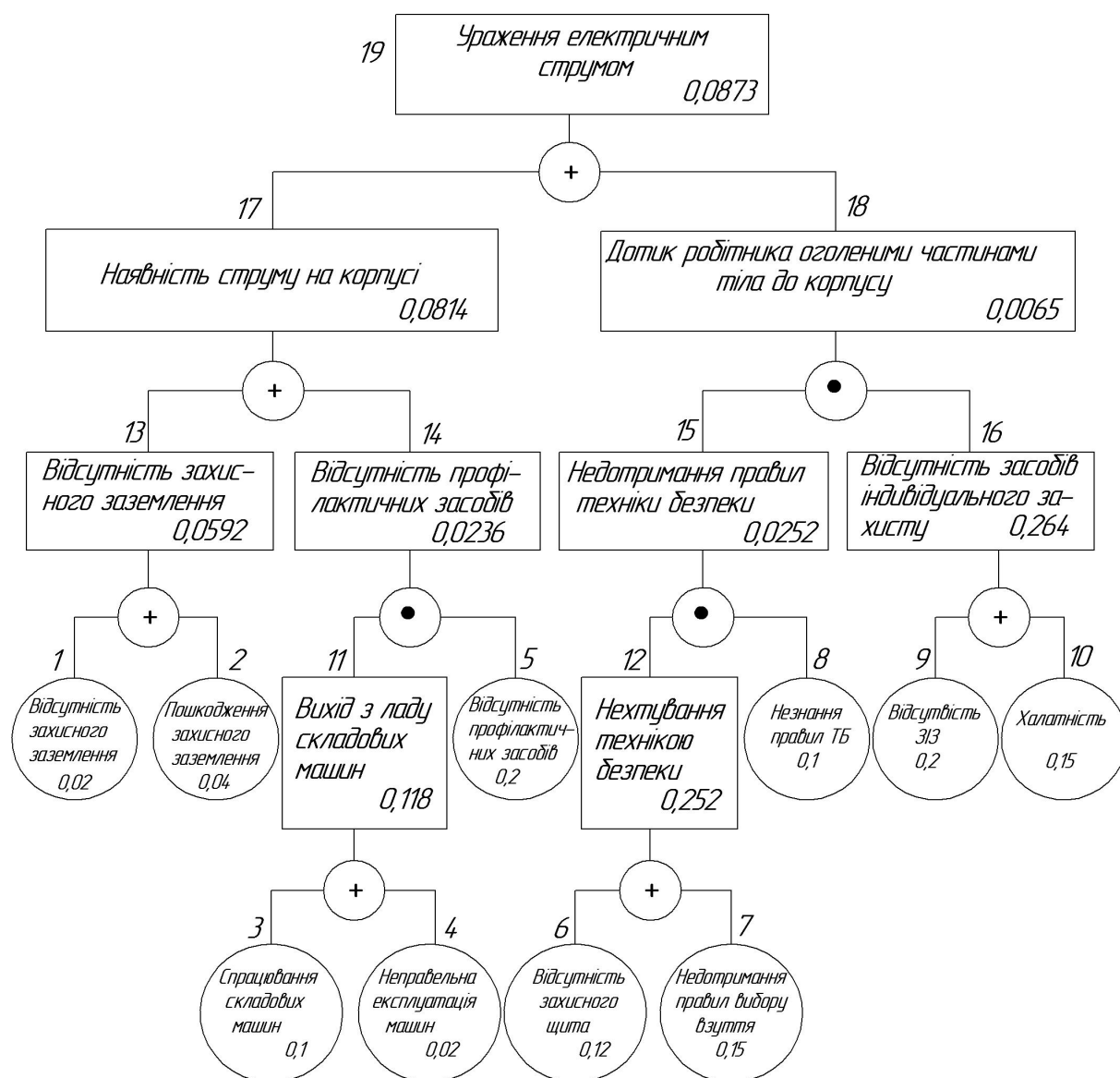


Рисунок 4.2 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травм при експлуатації електрообладнання

Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу (4.4), одержимо ймовірність події 13:

$$P_{13} = 0,2 + 0,4 - 0,2 \cdot 0,4 = 0,0592.$$

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера:

$$P_{11} = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,118;$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6 \cdot P_7 = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,252;$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9 \cdot P_{10} = 0,2 + 0,15 - 0,2 \cdot 0,15 = 0,264;$$

$$P_{14} = P_{11} \cdot P_5 = 0,118 \cdot 0,2 = 0,0236;$$

$$P_{15} = P_{12} \cdot P_8 = 0,252 \cdot 0,1 = 0,0252;$$

$$P_{17} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \cdot P_{14} = 0,592 + 0,0236 - 0,592 \cdot 0,0236 = 0,0814;$$

$$P_{18} = P_{15} \cdot P_{16} = 0,264 \cdot 0,0252 = 0,0065;$$

$$P_{19} = P_{17} + P_{18} - P_{17} \cdot P_{18} = 0,0065 + 0,0814 - 0,0065 \cdot 0,0814 = 0,0873.$$

Таким чином на під час роботи електрообладнання сонячної фотоелектричної установки при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 8,73 травми. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, поліпшити контроль та виготовити необхідну кількість ЗІЗ, профілактичних засобів за всіма вимогами безпеки), то можна побачити на моделі шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки – до 1.

4.3. Розробка заходів запобігання травм і аварій під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок

До заходів щодо покращення умов праці належать всі види діяльності, спрямовані на попередження, нейтралізацію або зменшення негативної дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на працівників.

Рівень умов праці оцінюють порівнянням фактичним і нормативних значень узагальнених (групових) показників.

Заходи щодо поліпшення умов праці здійснюють з метою створення безпечних умов праці шляхом: доведення до нормативного рівня показників

виробничого середовища за елементами умов праці; захисту працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

До показників ефективності заходів щодо поліпшення умов праці належать: зміни стану умов праці: зміна кількості засобів виробництва, приведених у відповідність до вимог стандартів безпеки праці; покращання санітарно-гігієнічних показників; покращання психофізичних показників, зменшення фізичних і нервово-психічних навантажень, в т. ч. монотонних умов праці; покращання естетичних показників, раціональне компонування робочих місць і впорядкування робочих приміщень; соціальні результати заходів: збільшення кількості робочих місць, що відповідають нормативним вимогам; зниження рівня виробничого травматизму; зменшення кількості випадків професійних захворювань; зменшення плинності кадрів через незадовільні умови праці; престиж та задоволення працею.

Економічні результати заходів щодо поліпшення умов праці виражаються у вигляді економії за рахунок зменшення збитків внаслідок аварій, нещасних випадків і професійних захворювань у економіці в цілому та на кожному підприємстві зокрема.

При експлуатації електрогенеруючого обладнання, таких як сонячна фотоелектрична установка необхідно керуватися "Інструкцією з експлуатації сонячної фотоелектричної установки" та "Правилами технічної експлуатації електрогенерувальних установок".

Обслуговуючий персонал установки бути ознайомлений з інструкцією по експлуатації даного виду обладнання. Кожен працюючий з сонячною фотоелектричною установкою, і особливо при роботі з вітроелектричною установкою повинен бути проінструктований з техніки безпеки. Осіб, які не досягли 18 років не допускати до обслуговування установки. Забороняється допускати сторонніх осіб до робочого місця. Підтримувати робоче місце в чистоті. Забороняється доторкатися до електричних з'єднань вітроустановки вологими руками. При роботі з електрообладнанням сонячної установки, яке знаходиться під напругою необхідно працювати на ізоляційному килимку.

Ремонтні роботи та роботи по обслуговуванню сонячної фотоелектричної установки, проводяться тільки коли вони вимкнені.

При порушенні вимог даної інструкції з техніки безпеки робітники несуть відповідальність згідно з важкістю наслідків і заподіяної ним шкоди. Порушення інструкції розглядається як невикористання правил внутрішнього трудового розпорядку.

4.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Забезпечення захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань не лише підприємства, але й цілої держави. Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Захист населення є системою загальнодержавних заходів, які реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, виконавчими органами влад, органами управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення, підпорядкованими їм силами та підприємств, що забезпечують виконання організаційних, інженерно-технічних, санітарно-гігієнічних, протиепідемічних та інших заходів у сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Загрози життєво важливих інтересів громадян, держави, суспільства поділяються на зовнішні та внутрішні і виникають під час надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру та воєнних конфліктів.

Зовнішні загрози безпосередньо пов'язані з безпекою життєдіяльності населення і держави у разі розв'язання сучасної війни або локальних збройних конфліктів, виникнення глобальних техногенних екологічних катастроф за межами України, які можуть спричинити негативний вплив на населення та територію держави.

Внутрішні загрози пов'язані з надзвичайними ситуаціями техногенного і природного характеру або можуть бути спровоковані терористичними діями.

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має право проводитися спеціальний комплекс заходів.

Спостереження і контроль за довкіллям, продуктами харчування і водою забезпечується створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних систем спостереження і контролю з включенням до існуючих сил та засобів контролю незалежно від підпорядкованості.

Евакуаційні заходи, які проводяться в містах та інших населених пунктах, які мають об'єкти підвищеної небезпеки, а також у воєнний час, основним способом захисту населення є евакуація і розміщення його у позаміській зоні.

Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій.

Біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних і спеціальних протиепідемічних та медичних заходів.

Радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного та хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію і проведення спеціальної обробки..

5 ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Впровадження фотоелектричної системи для компенсації споживаної електроенергії мультизональною VRF системою є стратегічно вигідним рішенням з економічної точки зору. Мультизональні системи VRF (Variable Refrigerant Flow) характеризуються високою енергоефективністю порівняно з традиційними системами кондиціонування, проте їх експлуатація все ж пов'язана зі значним споживанням електроенергії. Інтеграція з фотоелектричною системою дозволяє частково або повністю покрити це споживання за рахунок відновлюваного джерела енергії – сонячного випромінювання. Це призводить до зменшення витрат на оплату електроенергії.

Економічне обґрунтування базується на зменшенні операційних витрат протягом робочого циклу системи. Початкові інвестиції у встановлення фотоелектричної системи компенсуються за рахунок економії на рахунках за електроенергію протягом терміну її експлуатації. Термін окупності залежить від багатьох факторів, таких як вартість обладнання, рівень сонячної інсоляції в регіоні, тарифи на електроенергію та потужність встановленої фотоелектричної системи. Проте, з урахуванням тенденції до зростання цін на енергоносії та зниження вартості фотоелектричних технологій, економічна привабливість таких систем постійно зростає.

Технічна доцільність інтеграції фотоелектричної системи з VRF системою підтверджується можливістю використання інверторних технологій, які дозволяють ефективно перетворювати постійний струм, що генерується сонячними панелями, у змінний струм, необхідний для живлення VRF системи. Сучасні системи керування дозволяють оптимізувати роботу обох систем, забезпечуючи максимальну ефективність використання сонячної енергії та мінімізацію споживання електроенергії з мережі. Завдяки цьому досягається не лише економія коштів, але й підвищується надійність та стійкість енергопостачання об'єкта.

Отже, впровадження фотоелектричної системи для компенсації споживання електроенергії мультизональною VRF системою є комплексно обґрунтованим рішенням, що базується на ретельних розрахунках генерації електроенергії від сонячних панелей. Цей підхід дозволяє оптимізувати енергоспоживання об'єкта, знизити операційні витрати та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Фундаментальним етапом цього процесу є розрахунок потенційної генерації електроенергії, що забезпечує коректний підбір обладнання та прогнозування економічної ефективності.

Для конкретного досліджуваного об'єкта було встановлено, що для забезпечення максимально можливої компенсації споживання електроенергії протягом року необхідно встановити 24 одиниці сонячних панелей. За результатами розрахунків, річна генерація такої системи складатиме 15014,5 кВт*год електроенергії. Цей показник є ключовим для оцінки потенційної економії та терміну окупності системи. Важливо зазначити, що розрахунок базується на врахуванні кліматичних особливостей регіону, кута нахилу та орієнтації панелей, а також інших факторів, що впливають на ефективність генерації.

Аналіз розподілу генерації протягом року виявив важливу особливість: в охолоджувальний період року, коли споживання електроенергії VRF системою є максимальним, утворюється надлишкова генерація енергії в розмірі 4169,24 кВт*год. Цей надлишок може бути використаний двома шляхами: або переданий в загальну електромережу за відповідними тарифами (так званий "зелений тариф"), що забезпечить додатковий дохід, або використаний для покриття інших власних потреб об'єкта, що дозволить ще більше знизити споживання електроенергії з мережі. Такий підхід максимізує економічну вигоду від використання фотоелектричної системи.

Проте, в опалювальний період року, коли потреба в охолодженні зменшується, а споживання на потреби опалення зростає, виникає нестача генерації в розмірі 3667,77 кВт*год. Це означає, що компенсація споживання електроенергії VRF системою буде значно меншою, ніж у теплі пори року. Цей

факт необхідно враховувати при плануванні енергоспоживання та розрахунку економічної ефективності системи. Для мінімізації впливу цього фактору можуть бути розглянуті додаткові заходи, такі як оптимізація роботи VRF системи в опалювальний період.

Важливо підкреслити, що розрахунок генерації проводився на основі статистичних даних з різних моніторингових джерел, таких як метеорологічні служби та дані про сонячну інсоляцію. Тому фактична генерація може відрізнятися від розрахункової внаслідок мінливості погодних умов та інших факторів. Проведення моніторингу фактичної генерації після встановлення системи дозволить уточнити розрахунки та оптимізувати її роботу.

Додатково проведемо розрахунок компенсації витрат електроенергії, за рахунок чого розрахуємо окупність витрат на сонячні панелі.

Наприклад в сезон опалення VRF- система споживає 8903,29 кВт*год , при вартості електроенергії 10 гривень за кВт*год, сума за оплювальний сезон буде складати - 89 032 гривень 95 копійки.

Відповідно розрахунка, ми можемо скомпенсувати цю витрати до 3667,77 кВт*год, сума за сезон складатиме - 36677 гривень 7 копійок.

Визначаємо орієнтовно розраховану суму, яку вдалось компенсувати.

$$89032,95 - 36677,7 = 52355,25 \text{ гривень}$$

Орієнтовна вартість фотоелектричної системи складає 175 400 гриивень.

Визначаємо термін окупності, при врахувані тільки опалювального сезону.

$$175400 / 52355,25 = 3,35 \text{ сезонів}$$

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

В комплексній кваліфікаційній роботі було проведено дослідження мультizonальної VRF-системи з інтегрованими сонячними модулями, а саме з її фотоелектричною частиною.

Проведене дослідження було присвячене комплексному аналізу та опису принципів функціонування фотоелектричної частини VRF-систем. В рамках роботи було детально розглянуто структурну схему системи, що дозволило виявити взаємозв'язки між окремими компонентами та зрозуміти загальний механізм її функціонування. Було наведено схему принципу роботи, яка візуалізувала послідовність виконання операцій.

Наведена аргументації використання таких систем в будівлях різного призначення, зокрема в будівлі навчальної лабораторії Відновлювальних джерел енергії Львівського національного університету природокористування, на основі якої було проведено розрахунок енергетичних параметрів необхідних для забезпечення комфортних навчальних умов.

Результати дослідження підтверджують, що використання VRF-систем у навчальних закладах є не лише економічно вигідним, але й екологічно доцільним рішенням. Завдяки високій ефективності та можливості інтеграції з відновлюваними джерелами енергії, VRF-системи сприяють зменшенню викидів шкідливих речовин в атмосферу та збереженню природних ресурсів. Враховуючи сучасні тенденції до енергозбереження та екологічної відповідальності, застосування VRF-систем у навчальних закладах є перспективним напрямком розвитку інженерних систем будівель

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ

1. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: Вид-во ЛНАУ, 2008. 135 с.
2. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навч. посіб. Львів: "Магнолія 2006", 2008. 188 с.
3. Жуковський С. С., Лабай В. Й. Системи енергопостачання і забезпечення мікроклімату будинків та споруд: Навч. пос. для ВЗО. Львів: Астрономо-геодезичне товариство, 2000. 259 с.
4. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс. Х.: В-во САГША, 2008. 320 с.
5. Жидецький В.Ц., Джигерей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Підручник. Вид. 5-те, доповнене. Львів: Афіша, 2000. 350 с
6. Кудря С. О. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. / С. О. Кудря, В. М. Головка. К. : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
7. Сиротюк С. В. Проектування і обслуговування сонячних систем електропостачання. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Львів : ЛНАУ, 2015. 17 с.
8. "POWER Data Access Viewer" Національного аерокосмічного агентства США (NASA) (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>)
9. <https://prel.prom.ua/p1363875602-sonyachna-panel-longi.html>
10. <https://cooperandhunter.ua/ua/object-registration/>