

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

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: РОЗРОБКА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ
ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ
ПОТЯГА

Виконав студент VI курсу, групи ЕТмз-61
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Паловці Д.Ф.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мовчан Л.Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 69 сторінок, _ аркушів презентації, 20 ілюстрацій, 5 таблиць та 25 використаних першоджерел.

Об'єкт дослідження – процес генерування електроенергії фотоелектричною системою.

Предмет дослідження – система кондиціонування потяга, що живиться від фотоелектричної системи.

Метою кваліфікаційної роботи є: розробка сонячної енергетичної системи для забезпечення електричної енергії, необхідної для роботи кондиціонерів для легкого потяга.

В даній роботі використано фотоелектричну систему для живлення кондиціонера таким чином, що коли випромінювання недостатньо для живлення системи, енергія подається з акумулятора. Отже буде забезпечено безперервне живлення кондиціонера потяга і не буде перебоїв в подачі електроенергії протягом дня.

Для цього проаналізовано принцип роботи системи кондиціонування повітря у потязі. Визначено, що необхідно 36 фотоелектричних панелей для проектованої системи. На основі розрахунків, встановлено, що контролер заряду повинен бути розрахований на струм 69 А. З врахуванням вимог для живлення кондиціонерів обрано інвертор MUSTPOWER потужністю 30 кВт . Щоб забезпечити необхідний час автономної роботи системи кондиціонування необхідно використати 40 AGM акумуляторних батарей напругою 24 В та ємністю 150 А·год. Розраховано вагу усієї фотоелектричної системи. Вона становить 3026,4 кг, що становить 6 % від допустимої ваги, яку здатен перевозити потяг. Що в межах допустимого.

Проведено розрахунок кількості випромінювання та генерованої потужності для двох типових днів року у березні та липні. Розглянуто випадок

цілодобового використання системи без затінь та випадок переміщення потяга на відстань 17 км із тимчасовими затіненнями від об'єктів, що розташовані вздовж залізниці. Встановлено, що травні ефективність генерування електроенергії складає 90 % від липневої.

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, СИСТЕМА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОТЯГА

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	11
1.1 Опис роботи кондиціонера потяга	11
1.2 Принцип роботи кондиціонера	11
1.3 Сонячна енергія	13
1.4 Огляд фізики напівпровідникових сонячних елементів	14
1.4.1 Фотоелектричний модуль	14
1.4.2 Продуктивність модуля	14
1.4.3 Чинники, що впливають на продуктивність фотоелектричного елемента	16
1.4.4 Фотоелектричний елемент	17
1.4.5 Послідовне з'єднання фотоелектричних модулів	18
1.4.6 Електричні характеристики фотоелектричних модулів	18
1.4.7 Переваги та недоліки використання фотоелектричних систем	20
1.5 Типи і характеристики акумуляторів	21
1.6 Контролери заряду	22
1.7 Інвертори	24
1.8 Висновки до розділу	25
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Вихідні дані	26
2.2 Системи кондиціонування повітря в потязі	28
2.3 Вибір та розрахунок фотоелектричних модулів для системи живлення	32
2.4 Визначення струму контролера заряду сонячної батареї	39
2.5 Особливості вибору інвертора	39
2.6 Вибір акумуляторів	40

2.7 Методика розрахунку січення кабелів.....	40
2.8 Розташування фотоелектричного модуля на вагоні потяга.....	41
2.9 Вартість системи	42
2.10 Висновки до розділу	43
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	45
3.1 Розрахунок потужності системи.....	45
3.2 Розрахунок конфігурації системи та результати розрахунку терміну окупності	46
3.3 Результат моделювання характеристик фотоелектричного модуля в МАТ LAB.....	49
3.4 Розрахунок кількості випромінювання та генерованої потужності.....	52
3.5 Висновки до розділу	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	57
4.1 Вплив шуму на організм людини та розробка заходів щодо його зниженню до допустимих величин.....	57
4.2 Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання	58
4.3 Підвищення стійкості роботи об'єктів енергетики у воєнний час	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66

ВСТУП

Актуальність теми.

У деяких країнах успішно введені в експлуатацію та експлуатуються потяги, на даху яких встановлені сонячні фотоелектричні системи. Енергія сонячної фотоелектричної системи на даху - це важливий термін. Енергія необхідна для виконання роботи і має важливе значення для людини, оскільки вона використовує її у своєму повсякденному житті. Це незамінний фактор для безперервного розвитку та економічного зростання. Попит на енергію в країнах, що розвиваються, стрімко зростає через автоматизацію, індустріалізацію та урбанізацію, зростання чисельності населення та технологічний розвиток показали, що нинішні джерела енергії, які використовуються, не є адекватними.

У 20-му столітті населення світу зросло вибуховими темпами і продовжує збільшуватися. У світі існує попит на енергію, яку отримують з багатьох джерел. Більшість джерел енергії не є екологічно чистими, дорогими і їх важко транспортувати, як, наприклад, викопне паливо. Більшість джерел енергії є дружніми до навколишнього середовища, наприклад, енергія вітру, сонячна енергія, біогаз тощо.

Сонячні фотоелектричні (PV) системи працюють на постійному струмі, що забезпечується сонячною енергією. Ця енергія використовується для багатьох застосувань, інтегрована система на сонячних батареях для допоміжного обладнання потягів є одним з таких застосувань. Компанії, що виробляють сонячні батареї, зазвичай стверджують, що правильно встановлена система буде забезпечувати енергією сонячний холодильник протягом більше 20 років без витрат на паливо і з незначними витратами на обслуговування.

На відміну від виробництва електроенергії на дизельному паливі, зокрема, фотоелектричні системи є економічно вигідним вибором, особливо в країнах, що розвиваються, де ціни на електроенергію та дизельне паливо часто високі. Фотоелектрична система має високу інвестиційну вартість і потребує

планування для забезпечення навантаження. Тому при проектуванні порівнювалися потреби користувача в електроенергії з відповідними компонентами сонячної системи.

Сонячні фотоелектричні системи працюють на постійному струмі, що забезпечується сонячною енергією. Вони мають основні компоненти для перетворення сонячної енергії в електричну, а саме: фотоелектричні модулі, контролер заряду, акумуляторні батареї, інвертор тощо.

Фотоелектричні системи (ФЕ) - це системи, що виробляють енергію за допомогою напівпровідникових матеріалів, які перетворюють сонячну енергію в електричну. Серед різних переваг фотоелектричних систем - екологічно чиста, надійна і сумісна енергія без використання інших джерел, а також те, що фотоелектричні системи можуть застосовуватися в багатьох сферах.

Існує два різних типи сонячних фотоелектричних систем, один з яких називається автономною системою, що означає, що вони є сонячним джерелом енергії для іншого застосування без підключення до електромережі, спеціально для цієї дипломної роботи для живлення кондиціонера від дахової сонячної системи або інших навантажень. Дахові сонячні системи можуть бути спроектовані з акумуляторними батареями в якості резервного джерела або без них, але в цьому дослідженні проект розглядає банк акумуляторів на певну годину.

Існує багато застосувань позамережевих сонячних систем, і дахова сонячна система для потягів - одна з багатьох. Вона часто призначена для роботи без резервного акумулятора, тобто для використання в будь-який час, система використовує сонячну енергію протягом світлового дня і зберігає її в акумуляторній батареї для використання в будь-який час. З іншого боку, в автономній домашній системі електропостачання звичайна енергія виробляється вдень, а вночі енергія зберігається в акумуляторній батареї, тому навантаження, яке використовується в цій роботі, має подібну конструкцію

Коли потужність, вироблена фотоелектричною системою, перевищує навантаження на кондиціонер потяга, надлишкова потужність зберігається в

аккумуляторній батареї, перетворюючи електричні потреби потяга в зворотному напрямку. Натомість, навантаження може отримувати необхідну потужність від електромережі, коли потужності фотоелектричної системи не вистачає для управління навантаженням.

Якщо порівнювати автономну фотоелектричну систему з мережевою, то вона має меншу вартість. Інші фотоелектричні системи називаються системами, підключеними до мережі. Це працює, коли кількість енергії, що генерується мережею, є низькою.

Тому в цьому дослідженні сонячна система застосовується для живлення кондиціонера таким чином, що коли сонячної системи недостатньо для живлення системи, енергія подається акумулятора, таким чином буде забезпечено безперервне живлення кондиціонера потяга і не буде перебоїв в подачі електроенергії протягом дня.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є: розробка сонячної енергетичної системи для забезпечення електричної енергії, необхідної для роботи кондиціонерів для легкого потяга.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Проаналізувати принцип роботи фотоелектричних моделей та особливості їх експлуатації.
2. Проаналізувати принцип роботи системи кондиціонування повітря.
3. Запропонувати схему розташування фотоелектричних панелей.
4. Розрахувати параметри фотоелектричної системи живлення.
5. Розрахувати термін окупності при постійній експлуатації потяга.

Об'єкт дослідження – процес генерування електроенергії фотоелектричною системою.

Предмет дослідження – система кондиціонування потяга, що живиться від фотоелектричної системи.

Наукова новизна отриманих результатів.

Дістав подальший розвиток підхід до розрахунку фотоелектричної

системи для живлення рухомих об'єктів на прикладі потяга.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновано схему розташування фотоелектричних панелей на даху вагонів потяга з врахуванням основного модуля кондиціонера та можливості їх обслуговування.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на VII Міжнародної науково-технічної конференції «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи», 29-31 травня 2024 року. ТНТУ [1]

Робота оформлена відповідно до методичних рекомендацій [2].

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (25 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 69 сторінок, 5 таблиць, 20 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Опис роботи кондиціонера потяга

Оскільки основною метою цього дослідження є робота кондиціонера з сонячною фотоелектричною системою, тому знання роботи кондиціонера є дуже важливим, щоб вирішити, скільки годин на добу він працює. Кондиціонер має різні режими роботи: автоматичне охолодження, автоматичний нагрів, вентиляція та зупинка. Доступні стани роботи: попереднє охолодження, повне охолодження, напівохолодження, попередній нагрів, повний нагрів, напівнагрів, вентиляція, охолодження, збій живлення та погіршення якості електроживлення. При повному охолодженні працюють два повітряні компресори блоку. Для напівохолодження працює лише один повітряний компресор. В автоматичному режимі кондиціонер автоматично регулює температуру в салоні відповідно до зовнішньої температури. Клапан подачі свіжого повітря вимикається для попереднього охолодження (обігріву), щоб температура в салоні автомобіля могла швидко досягти заданого значення [3].

1.2 Принцип роботи кондиціонера

Одночасна підготовка і контроль температури, вологості, фільтрації повітря і транспортування повітряного потоку відповідно до потреби в просторі називається системою кондиціонування повітря.

Принцип роботи кондиціонера У багатьох кондиціонерах використовуються спліт-системи, які складаються з внутрішнього і зовнішнього блоків. Внутрішній блок - це випарник, зовнішній блок - конденсатор [3].

Принцип роботи .

Охолодження в традиційних системах кондиціонування здійснюється за допомогою паро-компресійного циклу, який використовує примусову циркуляцію і фазові зміни холодоагенту між газом і рідиною для передачі

тепла. Цикл паро-компресії може відбуватися в одиничному або комплектному обладнанні, яке з'єднане з кінцевим охолоджувальним обладнанням, таким як термінал зі змінним потоком холодоагенту або фанкойл на стороні випарника і обладнання для відведення тепла на стороні конденсатора. У системі кондиціонування повітря тепло відводиться зсередини назовні за допомогою електроенергії для роботи компресора і вентиляторів. Транспортне середовище випаровується при температурі нижче кімнатної у внутрішньому блоці.

Пристрій в кондиціонері, який створює тиск на газ, зменшуючи його об'єм, називається компресором. Цей компресор є особливим типом газового компресора, який називається повітряним компресором. Потім тепло, накопичене в компресорі, автоматично виводиться назовні шляхом конденсації холодоагенту назад у рідину.

Розширювальний клапан - це компонент систем кондиціонування повітря, який контролює кількість холодоагенту, що випускається у випарник, і призначений для регулювання перегріву пари, що виходить з випарника. Розширювальний клапан не регулює температуру, температура випарника буде змінюватися в залежності від тиску випаровування. Вентилятори з обох боків підтримують теплообмін. Конденсатор - це пристрій або агрегат, що використовується для конденсації газоподібної речовини в рідкий стан шляхом охолодження. При цьому приховане тепло виділяється речовиною і передається навколишньому середовищу. На рисунку 1.1 показано роботу кондиціонера.

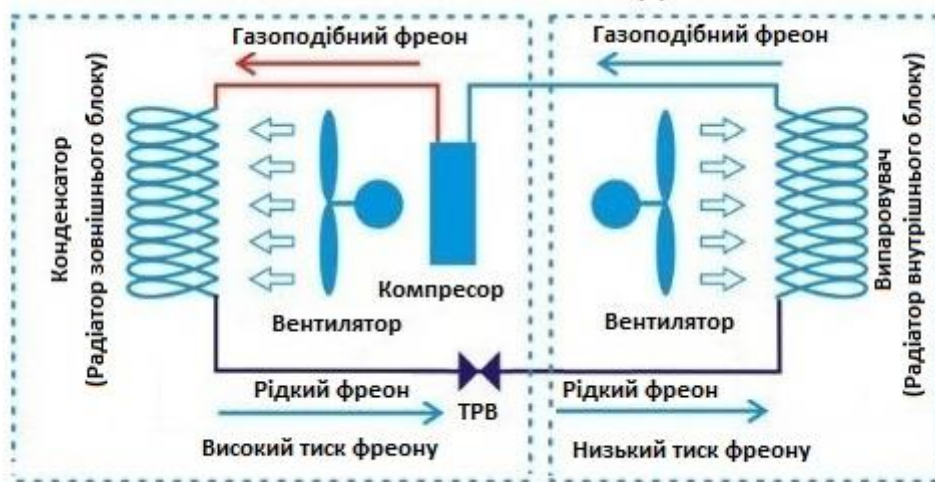


Рисунок 1.1 - Робочий процес кондиціонування повітря

1.3 Сонячна енергія

Сонячна енергія є безкоштовним, невитратним і чистим джерелом енергії, яке є центром численних пізніших досліджень в галузі енергетики, багато з яких спрямовані на подолання марнотратних аспектів систем управління, що працюють на енергії сонця [4-8]. Сонячна енергія, що постачається за одну годину, дорівнює річній потребі Землі в енергії.

Сонце схоже на чорне тіло. Воно має температуру поверхні 5800 К, що призводить до густини енергії в атмосфері 1367 Вт/м². При проектуванні фотоелектричних систем слід вивчити і взяти до уваги цей початковий фактор [8-13]. Важливість знання властивостей Сонця полягає в тому, що це знання може допомогти зрозуміти вплив атмосфери на випромінювання і допоможе нам вибрати найкращі матеріали для сонячних елементів.

1.4 Огляд фізики напівпровідникових сонячних елементів

Сонячний елемент на основі кристалічного кремнію - це твердотільний напівпровідниковий прилад з р-n переходом, який перетворює сонячне світло в електрику постійного струму за принципом фотоелектричного ефекту. В основному використовувалися для забезпечення електроенергією орбітальних супутників.

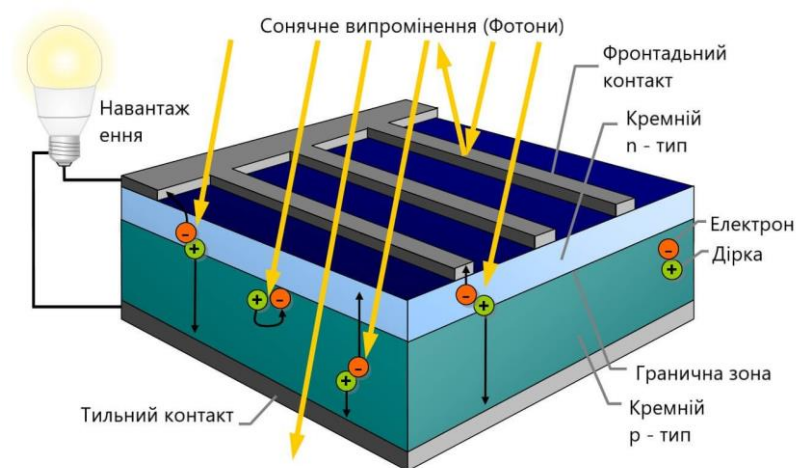


Рисунок 1.2 - Структура сонячної батареї

1.4.1 Фотоелектричний модуль

Фотоелектричний модуль - це збірка фотоелектричних елементів, змонтованих в каркасі для установки. Фотоелектричні елементи використовують сонячне світло як джерело енергії і генерують електроенергію постійного струму. Сукупність фотоелектричних модулів називається фотоелектричною панеллю, а система панелей - масивом. Масиви фотоелектричної системи постачають електроенергію до електричного обладнання.

Найпоширенішим застосуванням збору сонячної енергії є дахові системи генерації електроенергії, до яких можна підключити велику кількість модулів. Таким чином, перевага фотоелектричної системи полягає в тому, що вона може бути додана до існуючої системи, коли це необхідно, оскільки модульна структура зручна для додавання.

Існує кілька передових фотоелектричних інновацій для виготовлення фотоелектричних модулів. Серед них телурид кадмію (CdTe), диселенід міді та індію (CIS), невизначений кремній (a-Si) та тонкоплівковий кремній (thin film-Si). Аморфний кремній є першою комерційною технологією, але він має невелику ефективність, в той час як інші три технології повільно виходять на ринок і мають велике визнання на ринку завдяки своїй ефективності.

Таким чином, цей огляд допомагає вибрати відповідний вдосконалений модуль для проектування на основі ефективності, допуску (нижче або вище номінальної ємності, що є позитивним допуском), терміну служби і температури комірки, тому для цього дослідження був обраний монокристалічний модуль.

1.4.2 Продуктивність модуля

Вихідна потужність фотоелектричного модуля є добутком його робочого струму і вихідної напруги. Існує крива продуктивності, яка показує прості

характеристики фотоелектричного модуля, що називається I-V крива, яка показує вихідні характеристики струму і напруги комірки модуля.

При 1000 Вт на метр квадратний сонячного випромінювання I-V криві наведені при температурі елемента 25° С (77 градусів за Цельсієм). У більшості випадків 1000 Вт на квадратний метр - це «пік сонця». Існує три важливих терміни в I-V кривій.

1. Точка максимальної потужності (MPP) - це точка, в якій потужність досягає максимуму. У MPP видно V_{mp} , I_{mp} на I-V кривій. Потужність в MPP є добутком напруги MPP (V_{mpp}) і струму MPP (I_{mpp}). Точка максимальної потужності - це точка в робочій точці, в якій досягається максимальна вихідна потужність, ця точка наочно показана нижче на рис. 1.3.

2. Напруга холостого ходу (V_{oc}) - це різниця електричних потенціалів між двома клемми сонячного елемента, коли він відключений від будь-якого ланцюга. Навантаження не підключено. Між клемми не протікає електричний струм. Альтернативно, напруга холостого ходу може розглядатися як напруга, яку необхідно прикласти до сонячного елемента або акумулятора, щоб зупинити струм. Таким чином, напруга холостого ходу (V_{oc}), показана на рис.1.3

$$V (при I=0) = V_{oc}$$

3. Струм короткого замикання (I_{sc}) - це електричне явище, яке дозволяє струму рухатися по непередбаченому шляху без електричного опору. Це призводить до того, що через ланцюг протікає надмірний струм

$$I (при V=0) = I_{sc}$$

I_{sc} з'являється при максимальному значенні струму. Для ідеальної комірки це максимальне значення струму є повним струмом, який виникає в модульній комірниці при фотонному збудженні.

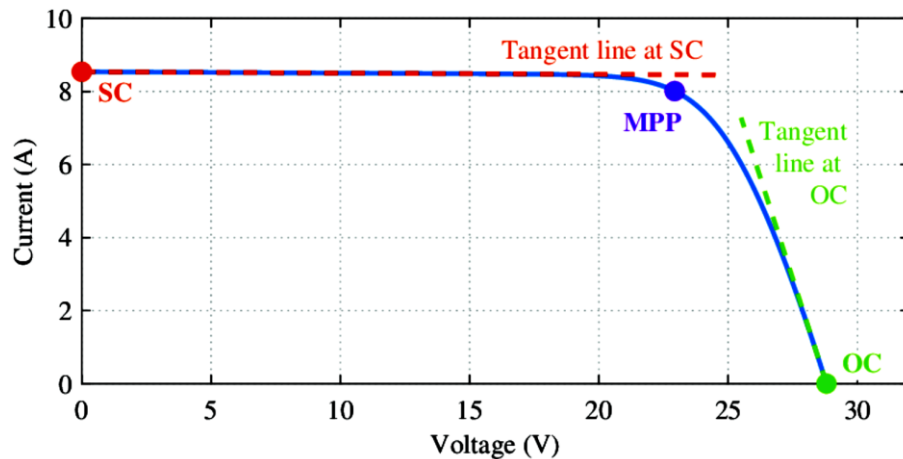


Рисунок 1.3 - Зразок графіка залежності струму від напруги для фотоелектричного елемента

1.4.3 Чинники, що впливають на продуктивність фотоелектричного елемента

1. Опір навантаження - навантаження визначає, при якій напрузі буде працювати фотоелектричний модуль. Коли модуль працює при трохи вищій напрузі, ніж батарея, батарея починає заряджатися. Щоб отримати високу ефективність від модуля, опір навантаження повинен відповідати графіку залежності струму від напруги, при якому фотоелектрична панель може працювати близько до максимальної потужності. Таким чином, наше навантаження сумісне з роботою при високій напрузі, оскільки, як ми знаємо, внутрішній опір кондиціонера збігається з опором модуля.

2. Інтенсивність сонячного світла - вихідна потужність фотоелектричного масиву знаходиться в прямій залежності від інтенсивності сонячного випромінювання, якому він піддається. Для отримання кращої вихідної потужності модуля необхідна більша інтенсивність сонячного світла, і Ефіопія є сумісною, оскільки Ефіопія знаходиться на екваторі.

3. Температура елемента - температура елемента є важливим параметром для продуктивності фотоелектричного модуля, коли температура елемента підвищується, ефективність модуля знижується. І в той же час, робоча

напруга зменшується зі збільшенням температури елемента. Тому для управління цією температурою обрано конвективний потік повітря

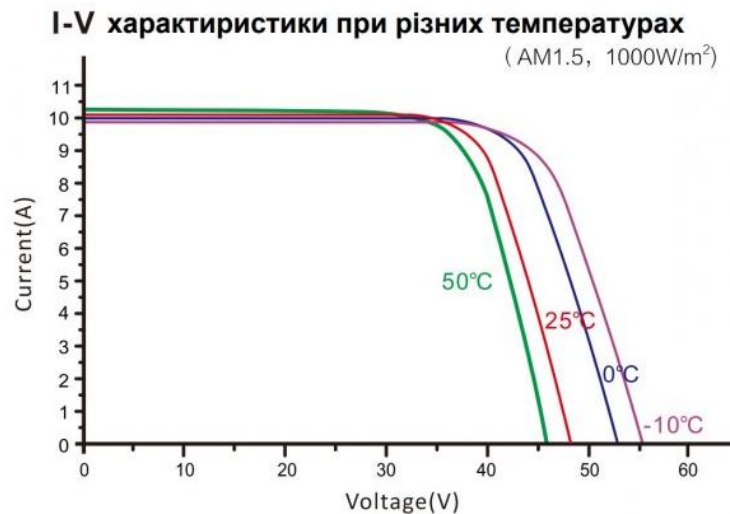


Рисунок 1.4 - Вплив температури на комірку модуля

4. Затінення - на фотоелектричні модулі також впливає затінення комірок. Затінення призводить до втрати потужності фотоелектричних модулів. Одна повністю затінена комірка може знизити вихід модуля на цілих 80%. Тому вивчення ефекту затінення є важливим для цього дослідження, оскільки потяг не зупиняється на станції, тому вивчення ефекту затінення є важливим.

1.4.4 Фотоелектричний елемент

Важливим компонентом фотоелектричного модуля є фотоелемент. Коли сонячне випромінювання перетинає поверхню модуля, в матеріалі комірки створюється електричний потенціал. Фотоелектричний елемент виготовляється з пластини, яка є напівпровідниковим матеріалом, таким як кремній і германій, але найчастіше використовується кремній, оскільки він є широкодоступним

Для фотоелектричних елементів кремній використовується через його напівпровідникові властивості. Для модифікації його електричних властивостей до нього додають бор і фосфор, щоб створити дисбаланс молекулярного заряду.

1.4.5 Послідовне з'єднання фотоелектричних модулів

Один модуль може видавати невелику потужність для забезпечення необхідного навантаження, в нашому випадку для забезпечення навантаження кондиціонера, тому модулі з'єднуються послідовно або паралельно, що називається масив (array). Фотоелектричний модуль виробляє енергію постійного струму, тому для живлення змінного струму в більшості масивів використовується інвертор, який підключається до існуючої електромережі для живлення навантаження. У фотоелектричному модулі для отримання цільової напруги модулі в фотоелектричному масиві з'єднуються послідовно; для отримання цільового струму модулі з'єднуються паралельно. Таким чином, фотоелектричні системи видають потужність, що вимірюється у ватах, кіловатах або навіть мегаватах.

1.4.6 Електричні характеристики фотоелектричних модулів

Стандартні умови випробувань (STC) - це стандарт виробника, за яким випробовуються всі фотоелектричні модулі і за яким вони відрізняються один від одного. Існує три важливих фактори при проектуванні сонячної системи в STC, які розглядаються в цьому дослідженні. Ці параметри обговорюються наступним чином.

1. Опромінення (інтенсивність сонячного світла) - це променева потужність, яку отримує поверхня на одиницю площі. Одиницею іррадіації в СІ є ват на квадратний метр ($1,000 \text{ Вт/м}^2$).

2. Повітряна маса, визначає довжину прямого оптичного шляху через атмосферу Землі, виражену як відношення до довжини шляху по вертикалі вгору. 1,5 - це стандартна повітряна маса, яка дорівнює 1,5.

3. Температура елемента, це фактична температура сонячного елемента, вона відрізняється від температури навколишнього середовища, яка

буде відрізнятися від температури навколишнього повітря. У STC температура елемента становить 25 °C.

4. Коефіцієнт корисної дії (η) - це вихідна електрична потужність P_{out} , поділена на вхідну електричну потужність P_{in} , що надходить на фотоелемент. P_{out} залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, оскільки фотоелемент працює на максимумі, тому для отримання максимальної ефективності потрібна максимальна потужність P_{max} .

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta_{max} = \frac{P_{max}}{P_{in}} \quad (1.1)$$

Потужність випромінювання є множенням випромінювання падаючого світла, її одиниця виміру в СІ - Вт/м² або сонця (1000 Вт/м²), що знаходиться на захищеній площі сонячного елемента (м²). На ефективність можуть впливати різні параметри, наприклад, умови навколишнього середовища, такі як температура, тому простий тест - не єдиний параметр, що визначає продуктивність модуля. Максимальний коефіцієнт корисної дії (η_{max}) досягається при всіх параметрах співвідношення струму та напруги [14], тому для даного дослідження обрано монокристалічний модуль .

Таблиця 1.1 - Характеристики фотоелектричних модулів для стандартних технологій [14]

PV	η_r (%)	θ (°)	β_p (% /°)
Монокристал	16.5	45	0.4
Mono-si	13,0	45	0,4
Poly-si	11.0	45	0,4
Si	5.0	50	0.11
Cd Te	7.0	46	0.24
CIS	7.5	47	0.46

1.4.7 Переваги та недоліки використання фотоелектричних систем

А. Переваги

Надійність - сонячним системам надається перевага для навантажень, які працюють постійно, щоб запобігти збоям в електропостачанні у випадку безперервного електропостачання з низьким рівнем технічного обслуговування, що є обов'язковою умовою. Тому надійність фотоелектричної системи є однією з її переваг.

Вартість - фотоелектричні системи мають меншу вартість під час експлуатації порівняно з паливом або електроенергією з мережі, оскільки вони потребують лише перевірки через певні проміжки часу та деякого критичного технічного обслуговування.

Універсальне застосування - з усіх технологій відновлюваної енергетики сонячним фотоелектричним системам надається перевага завдяки їх універсальності та здатності генерувати електроенергію практично за будь-яких умов, тобто навіть при похмурому освітленні.

Пікове відключення - пікове відключення - це покриття потужності під час пікових навантажень, тому в спекотні сонячні дні система кондиціонування повітря потребує пікового навантаження, тому фотоелектрична система є найкращим вибором під час пікового навантаження.

Подвійне використання - сонячні панелі мають подвійне значення, тобто вони виробляють електроенергію, в той же час вони можуть покривати верхню конструкцію і можуть використовуватися як покриття для конструкції. У цьому дослідженні сонячна панель буде встановлена на даху вагона, тому вона використовується як міцність конструкції потяга.

Екологічно безпечні - сонячні енергетичні системи є більш безпечними джерелами енергії, оскільки вони не мають жодних викидів та шуму. І сонячні енергетичні системи є найбільш підходящою технологією як для міських, так і для звичайних застосувань.

В. Недолік

Вартість - у порівнянні з іншими технологіями сонячні фотоелектричні системи мають високу інвестиційну вартість. Кожна сонячна установка повинна бути оцінена з економічної точки зору і порівняна з наявними альтернативами.

Мінливість доступного сонячного випромінювання - сонячна система працює за рахунок енергії сонця, тому, якщо немає сонячного світла, вихідна потужність модуля буде втрачена.

Зберігання енергії - фотоелектрична система потребує накопичувача енергії, щоб зберігати енергію під час відсутності сонячного світла, яка використовується для живлення навантаження. Таким чином, вартість і розмір системи збільшуються.

1.5 Типи і характеристики акумуляторів

Електрична батарея - це електрохімічні елементи, які перетворюють хімічну енергію в електричну, коли сонячна енергія втрачається в нічний час і потрібна енергія для живлення навантаження, батарея має важливе значення. Оскільки вихід модуля є сезонним і різним протягом дня. Пристрій зберігання енергії важливий для забезпечення відносно постійної потужності. навіть енергія надходить від ізольованого модуля у випадку технічного обслуговування або під час відсутності сонячного світла [15-20].

Залежно від специфіки конструкції та експлуатаційних характеристик акумулятори бувають різних типів. Вони використовуються для різних застосувань, серед яких сонячна система є єдиним цілим. Всі батареї мають різні характеристики, і на основі характерної конструкції вони мають свої сильні і слабкі сторони. У фотоелектричних системах найпоширенішим типом акумуляторів є свинцево-кислотні батареї, оскільки вони широко доступні в різних ємностях і розмірах з мінімальною вартістю, а також мають найкращу продуктивність у порівнянні з іншими. Інший тип акумуляторів, який

найчастіше використовується сьогодні, - це нікель-кадмієві, але через їх вартість більшість фотоелектричних систем не використовують їх.

При виборі батареї для сонячної системи не існує ідеальної батареї, тому завдання полягає в тому, щоб вибрати кращий тип батареї на основі навантаження. електричні накопичувачі класифікуються на дві групи - первинні та вторинні батареї. [20]

Первинні батареї - це батареї, які призначені для одноразового використання та викидання, а не для перезарядки електроенергією та повторного використання як вторинні елементи (аккумуляторні батареї). Загалом, електрохімічна реакція, що відбувається в елементі, є незворотною, що робить його неперезарядним. Коли використовується первинний елемент, хімічні реакції в батареї витрачають хімічні речовини, які генерують енергію; коли вони закінчуються, батарея перестає виробляти електроенергію. Первинні батареї не використовуються в фотоелектричних системах, оскільки їх неможливо перезарядити.

Вторинні батареї - у вторинній батареї реакція може бути зворотною, якщо подати струм у комірку за допомогою зарядного пристрою, щоб зарядити її, регенеруючи хімічні реагенти. Первинні елементи виготовляються в діапазоні стандартних розмірів для живлення невеликих побутових приладів, таких як ліхтарики та портативні радіоприймачі. Свинцево-кислотні аккумулятори широко використовуються в фотоелектричних системах.

1.6 Контролери заряду

У більшості фотоелектричних систем для захисту аккумуляторів від перезарядження використовуються контролери заряду. Перезаряд виробляє тепло, яке нагріває електроліт всередині батареї і призводить до виходу батареї з ладу. коли батарея повністю розряджена, це призведе до остаточного виходу батареї з ладу, а також спричинить пошкодження навантаження. тому контролер заряду є основним обладнанням фотоелектричної системи.

Контролер заряду має багато функцій для захисту зарядки і розрядки акумулятора. Коли батарея повністю заряджена і досягає стану заряду, контролер контролює стан заряду батареї і вимикає струм модуля. Коли батарея розряджається і досягає глибини розряду, контролер вмикає функцію відключення низької напруги, відключає все навантаження і заряджає батарею.

Стан заряду вимірюється вимірювальним пристроєм контролера шляхом перевірки напруги батареї. Він також покращує продуктивність батареї, перевіряючи температуру батареї. Для збільшення терміну служби та продуктивності акумуляторної батареї напруга контролера повинна відповідати номінальній напрузі системи, і вона повинна бути здатна витримувати максимальний струм, що виробляється фотоелектричним модулем.

Контролери заряду бувають різних типів, деякі з них перераховані нижче.

Шунтуючий контролер - працює шляхом шунтування зарядного струму від акумулятора. Ці типи контролерів розсіюють надлишковий струм за допомогою тепловідводу. Шунтуючі контролери використовуються для невеликих систем зі струмом до 30 ампер.

Послідовний контролер - працює шляхом переривання зарядного струму за допомогою розімкнутого ланцюга. Струм цього контролера обробляється контролером перемикачів для перемикачів постійного струму.

Одноступінчасті контролери - використовуються для ізоляції модуля, коли накопичувач досягає максимального рівня напруги.

Багатоступеневі контролери - цей контролер ефективніший за інші за рівнем заряду. таким чином, він дозволяє використовувати різні струми заряду, коли батарея наближається до повного заряду. для збільшення внутрішнього опору батарея повинна знаходитися в стані повного розряду.

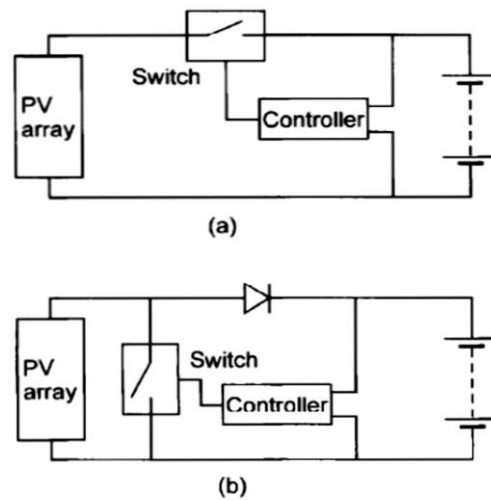


Рисунок 1.4 (а) - Послідовний контролер (б) Шунтуючий контролер.

1.7 Інвертори

Інвертори відомі як блоки кондиціонування електроенергії, вони використовуються для перетворення змінного струму в постійний, тому вони важливі для дахової сонячної системи. На основі робочої напруги постійного струму вибирається системний інвертор.

Для вибору інвертора слід врахувати всі вимоги до навантаження змінного струму, а саме: потужність, коливання напруги, частоту і форму сигналу. На виході модуля необхідно враховувати напругу постійного струму, перенапругу та допустимі коливання напруги. Для вибору найкращого інвертора для сонячних модулів важливо враховувати багато параметрів.

Для забезпечення продуктивності та надійності фотоелектричної системи важливо вибрати сумісний інвертор. Інвертори для дахових сонячних систем працюють на 12, 24, 48 або 120 вольт постійного струму і створюють 120 або 240 вольт змінного струму з частотою 50 Герц. Існують різні категорії інверторів на основі форми сигналу, тобто прямокутна хвиля, модифікована синусоїда і синусоїда, і це є важливим параметром. Напруга постійного струму є важливим параметром для вибору вхідної напруги інвертора.

1.8 Висновки до розділу

1. Проаналізовано принцип роботи системи кондиціонування повітря у потязі.
2. Вивчено та описано будову та функціонування фотоелектричного модуля як складової фотоелектричної панелі. Встановлено чинники що впливають на продуктивність фотоелектричного елемента. Також розглянуто переваги та недоліки використання фотоелектричних систем.
3. Проаналізовано типи і характеристики акумуляторів.
4. Проведено огляд особливостей функціонування таких основних складових фотоелектричної системи як контролер заряду та інвертор.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вихідні дані

Підходи, використані в цій дипломній роботі, базуються на різних джерелах [21][22][20].

У цьому розділі описано методи розрахунку та конструкцію сонячної системи для роботи кондиціонера. Вибрано відповідне обладнання і спроектовано шляхом вивчення відповідних властивостей. Крім того, було визначено навантаження на кондиціонер, характеристики фотоелектричної системи, збір та аналіз даних про сонячне випромінювання, розмір фотоелектричних модулів за допомогою програмного забезпечення PVsyst, розмір фотоелектричних модулів, характеристики контролера сонячного заряду, характеристики інвертора, характеристики акумуляторів, характеристики кабелів, дизайн макета фотоелектричних модулів у вагоні потяга.

Таблиця 2.1 – Характеристики потяга

Призначення локомотива	Пасажи́рський
Довжина (м)	28,4
Ширина (мм)	2.65
Робоча температура	20-30 °C
Максимальна конфігурація вагонів у потязі	4
Площа даху кожного локомотива (м ²)/вагон	75,26
Корисна площа локомотива (м ²)/вагон	71,669
Загальна ефективна площа (м ²)	210

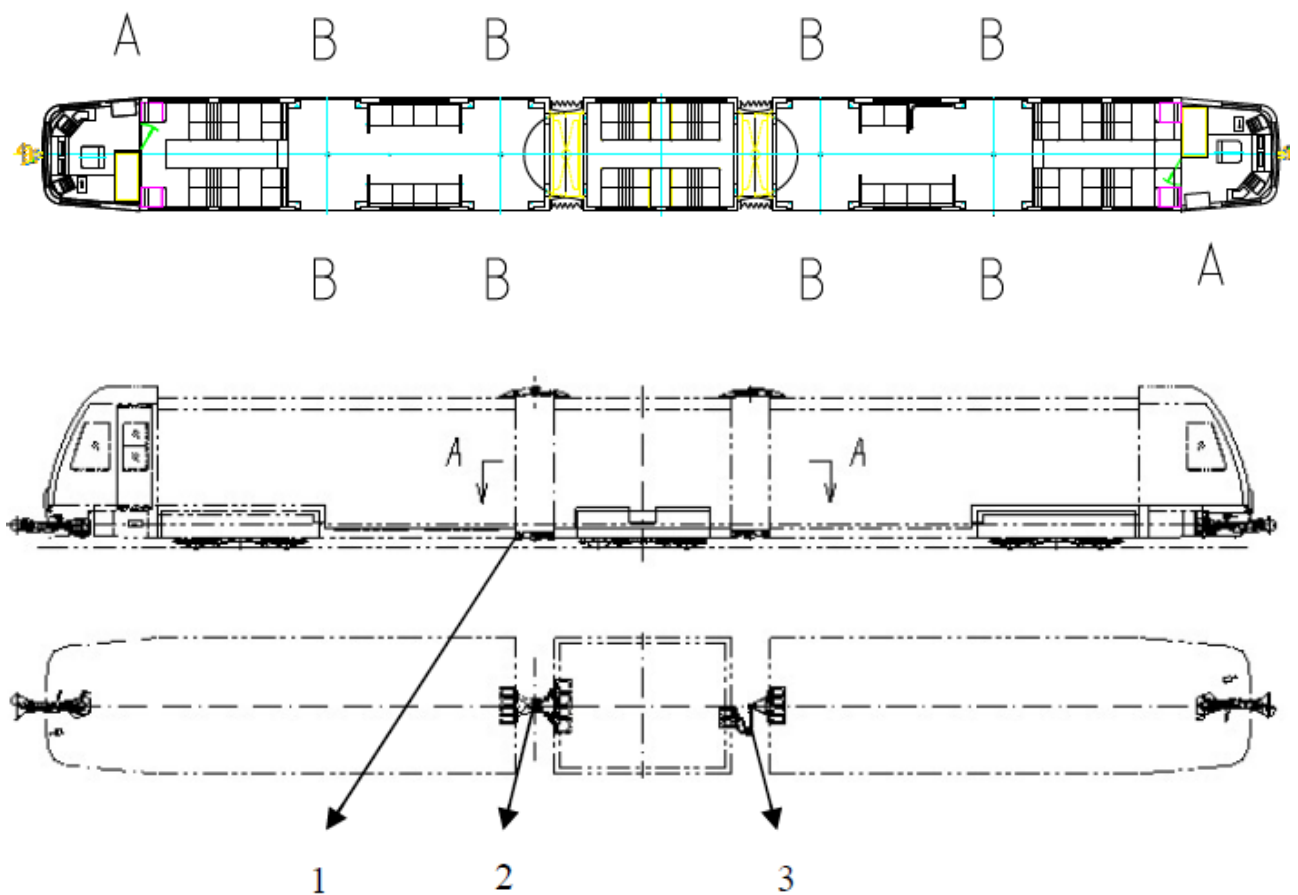


Рисунок 2.3 - Схема вигляду вагона за проектом

2.2 Системи кондиціонування повітря в потязі

Під час проектування кондиціонера на сонячних батареях для легкого міського потяга важливо зібрати інформацію про кондиціонування потяга, щоб знати навантаження компресора і кількість годин роботи кондиціонера. Потяги обладнані системами кондиціонування та вентиляції, щоб забезпечити свіжим та охолодженим повітрям як пасажирів, так і операторів потягів.

Кондиціонер має вбудований опалювальний блок, що робить вагон комфортним взимку. В роботі розглядається кондиціонер типу ICE 3 (рис. 2.4). Схема роботи показна на рис. 2.5. Система кондиціонування повітря виконує його осушення та охолодження, а також використовується для створення комфортних умов для пасажирів. Корпус кондиціонера виготовлений з листової

нержавіючої сталі, має переваги високої міцності, малої ваги, корозійної стійкості.



Рисунок 2.4 - Компактний кондиціонер для потяга

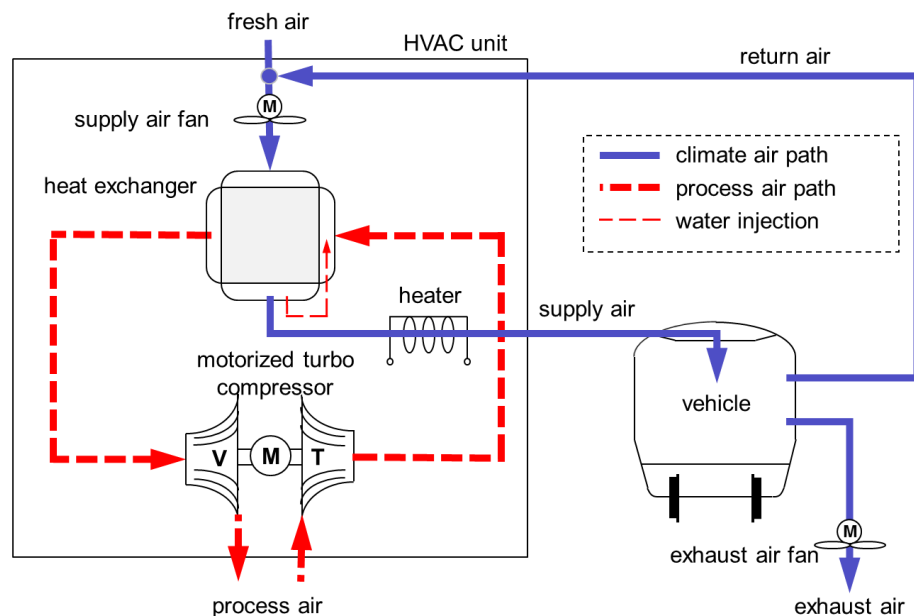


Рисунок 2.5 – Схема контуру кондиціювання (синій) і контуру технологічного повітря (червоний) (моторизована машина повітряного циклу складається з компресора (V), двигуна (M) і турбіни (T))

Повітропровід всередині компактного кондиціонера повітряного циклу (CACU) показаний на рисунку 2.6 з основними компонентами:

1. Коробка для впуску технологічного повітря.
2. Моторизована машина повітряного циклу (МАСМ, турбомашина).
3. Вентилятор припливного повітря.
4. Теплообмінник.
5. Головний нагрівач.
6. Коробка виходу технологічного повітря.

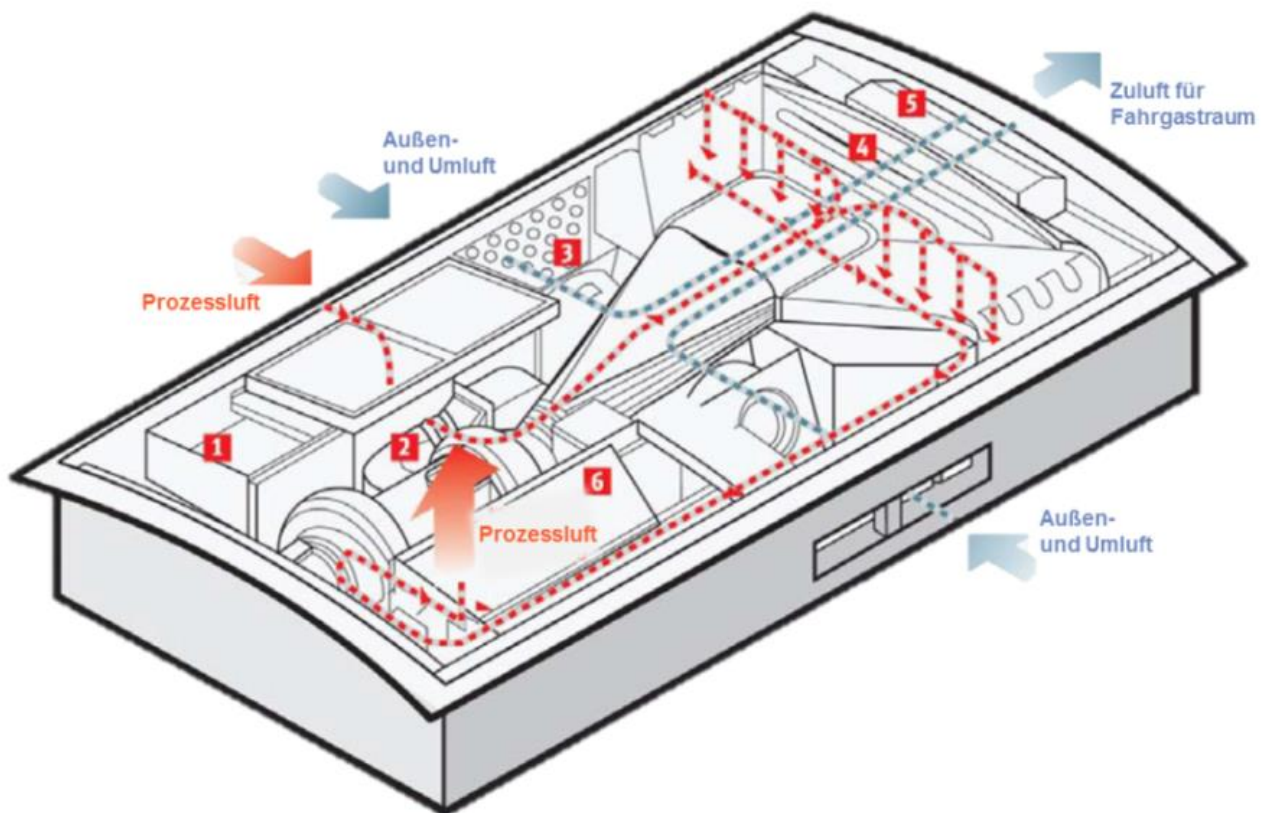


Рисунок 2.6 – Будова компактного кондиціонера



Рисунок 2.7 – Блок кондиціонера на даху потяга



Рисунок 2.8 – Розподіл потоків кондиціонованого повітря у потязі

Зі зібраних даних випливає, що в кожному потязі встановлено два комплекти кондиціонерів. Всі кондиціонери ідентичні та взаємозамінні. Витяжний блок встановлюється для кожного потяга з урахуванням повітрообміну для кабіни машиніста та пасажирського салону. Вентиляційна установка встановлюється в кабіні машиніста для забезпечення необхідних зручностей для кабіни машиніста.

Для охолодження та обігріву об'єм свіжого повітря, що подається кожною установкою, перевищує 1300 м³/год з урахуванням допустимого опору пилу на сітчастому фільтрі. За номінальних умов роботи рівень шуму кондиціонера повинен відповідати стандарту.

Повітряний компресор складається з герметичного вертикального турбокомпресора. Повітряний компресор захищений від перевантаження, замикання на землю та обриву фази, зниженої та підвищеної напруги. Повітряний компресор забезпечений захисним пристроєм від високої та низької напруги. Вентилятори кондиціонерів відповідають відповідним стандартам.

Двигуни вентиляторів кондиціонера відповідають відповідним стандартам. Вентилятор оснащений малошумним відцентровим вентилятором і захищений від перевантаження, короткого замикання, зниженої напруги та обриву фази. Він може працювати у вологому середовищі. Вентилятор конденсатора - це малошумний водонепроникний осьовий вентилятор, захищений від перевантаження, короткого замикання, зниженої напруги та обриву фази. Він може працювати у вологому середовищі.

Дросельний пристрій - слід застосовувати дросельну капілярну трубку або розширювальний клапан. Застосовується екологічно чистий холодоагент R407C. Конструкція випарника та конденсатора складається з мідних труб та алюмінієвих ребер. Рами випарника і конденсатора виготовлені з корозійностійких матеріалів, які мають достатню жорсткість і міцність. Дренажна труба має достатній нахил, необхідний для відведення конденсату або дощової води.

Корпус кондиціонера виготовлений з нержавіючої сталі без будь-якого покриття. Кондиціонер управляється за допомогою мікрокомп'ютера. Температура в пасажирському салоні регулюється відповідним регулятором температури. Крім того, він має функції самодіагностики та реєстрації несправностей. Кондиціонер має різні режими роботи: автоохолодження, автообігрів, вентиляція та зупинка. Доступні стани роботи: попереднє охолодження, повне охолодження, напівохолодження, попередній нагрів, повний нагрів, напівнагрів, вентиляція, охолодження, збій живлення та погіршення якості електроживлення. При повному охолодженні працюють два повітряні компресори.

Для напівохолодження працює лише один повітряний компресор. В автоматичному режимі кондиціонер автоматично регулює температуру в салоні відповідно до зовнішньої температури. Клапан подачі свіжого повітря вимикається для попереднього охолодження (нагрівання), щоб температура всередині вагона могла швидко досягти заданого значення. Коли потяг працює в нормальному режимі, оператор потяга здійснює централізоване управління всіма кондиціонерами по всьому потягу. Першим кроком у проектуванні сонячної фотоелектричної системи є з'ясування загальної потужності та енергоспоживання всіх навантажень, які повинні живитися від сонячної фотоелектричної системи, як показано нижче. Отже, із зібраних даних сумарне навантаження на кондиціонер для потяга становить 9 кВт.

2.3 Вибір та розрахунок фотоелектричних модулів для системи живлення

У цьому розділі представлено конструкцію фотоелектричних панелей для виробництва електроенергії для живлення кондиціонера, а потім обрано відповідну для цього випадку методику розрахунку, яку можна використовувати при проектуванні фотоелектричної системи.

Необхідна потужність сонячної панелі залежить від кількості енергії, необхідної для роботи систем кондиціонування повітря в потязі.

Технічні характеристики фотоелектричної панелі. Модель сонячної панелі, обрана для цієї роботи в залежності від необхідної потужності, - SUNTECH STC 330, 72 комірки. Обраний модуль має площу та потужність $1960 \cdot 992 \cdot 40$ мм та 330 Вт відповідно. Фотоелектрична модель для цієї системи SUNTECH має загальний ККД 16,9%, що забезпечує максимальну вихідну потужність в години пік. Ідеально підходить для автономних та віддалених енергосистем. З 25-річною гарантією, модуль має високу ефективність і тривалий час роботи навіть у різних суворих умовах. Унікальна текстурована поверхня фотоелементів і конструкція шунтувального діода мають вирішальне значення для того, щоб модуль повністю використовував і поглинав сонячне світло і забезпечував максимальну корисну потужність на квадратний метр сонячної батареї.

Визначення розмірів фотоелектричної системи здійснюється в найгіршому робочому стані. Для проектування сонячної фотоелектричної системи доступні сонячні дані, але перевірка за допомогою чисельного аналізу в цьому методі використовує мінімальне місячне сонячне випромінювання. Кут нахилу можна розрахувати за формулою

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} 284 + N \right] \quad (2.1)$$

Оскільки в липні місяці сонячне випромінювання мінімальне, припустимо, що 17 липня, тобто кількість днів дорівнює 212, вибрано для розрахунку розміру ФЕП, і це значення використовується для розрахунку кута схилу за допомогою рівняння 2.1.

Приймаючи 1:15 дня, годинний кут ω обчислюється за сонячним часом.

$$\omega = ST - h \cdot 15^0 \quad (2.2)$$

Використовуючи рівняння 2.2 розраховується годинний кут, який потрібно знати для обчислення зенітного кута.

Для поверхні зенітний кут (θ_z) може бути обчислений за допомогою рівняння (2.3).

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi \quad (2.3)$$

Для цієї конкретної конструкції значення ($\varphi - \beta$) необхідне для розрахунку кута падіння поверхонь, нахилених на північ або на південь, де β - це нахил панелі, цей нахил β має однакове кутове відношення до променевого випромінювання. Для цього розрахункового нахилу β для цілого року $\beta = \varphi$, тому що навчальна конструкція не є нормальною, вона має нахил 9° , тому для цього дослідження кут нахилу дорівнює широті місця, крім того, вибір нахилу, більшого за широту, не є добрим для поїзда через стабільність конструкції поїзда.

$$\text{Для літа } \beta = \varphi - (10^\circ - 15^\circ), \text{ а для зими } \beta = \varphi + (10^\circ - 15^\circ). \quad (2.4)$$

$$\cos \theta = \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \varphi - \beta + \sin \delta \cdot \sin \varphi - \beta \quad (2.5)$$

де δ - схилення, розраховане з рівняння 2.1;

φ – широта;

θ_z - зенітний кут;

θ - кут падіння;

ω - годинний кут;

β – нахил;

φ – широта.

Сонячна радіація

Сонячна радіація, що потрапляє на поверхню, буває двох типів: променева та дифузна. Променева радіація I_b - це сонячна радіація, що надходить на поверхню. Її також називають прямим випромінюванням.

А дифузне випромінювання I_d - це сонячне випромінювання, розсіяне різними молекулами повітря. Дифузне випромінювання не має однозначного напрямку. Сумарна радіація (I) складається з двох видів випромінювання - променевого і дифузного - і називається глобальною радіацією.

Розрахунок сумарної радіації на поверхні

Коли кількість дифузної радіації, що досягає земної поверхні, менша або дорівнює 25% глобальної радіації, небо називається ясным. Існує метод визначення коефіцієнта пропускання променевого випромінювання в сонячний день.

При цьому для обчислення значення потрібно знати висоту місцевості в км над рівнем Світового океану, число в році N і зенітний кут (θ_z). Коефіцієнт пропускання дифузної радіації через сонячний день, промінь і дифузну радіацію розраховують наступним чином.

Променеве випромінювання на земну поверхню має вигляд:

$$I_b = I_n \tau b \cos \theta_z \quad (2.6)$$

де
$$I_n = I_{sc} [1,0 + 0,033 \cos 360 N / 360]$$

$$\tau b = a_0 \cdot a_1 e^{-k / \cos \theta_z}$$

$$a_0 = a_0 \cdot r_0, a_1 = a_1 \cdot r_l, k = k \cdot r_k$$

де

$$a_0 = 0,4237 - 0,008216 - A^2$$

$$a_1 = 0,5055 + 0,005956,5 - A^2$$

$$k = 0,2711 + 0,018582,5 - A^2$$

$$r_0 = 0,95; r_l = 0,91, r_k = 1,02$$

A - висота місцевості в км над рівнем океану

x_b - коефіцієнт пропускання атмосфери для променевої радіації;

τ_d - коефіцієнт пропускання атмосфери для дифузної радіації;

I_d - дифузна радіація;

I_b - променева радіація;

Дифузне випромінювання має вигляд:

$$I_d = I_n \tau_d \cos \theta_z \quad (2.7)$$

Отже, випромінювання абсолютно ясного неба на поверхню розраховується наступним чином

$$IT = I_b + I_d \quad (2.8)$$

Якщо підставити вихідні дані у вищезазначені формули, то сумарна радіація ясного неба на горизонтальній поверхні становить 991,17 Вт/м² в пікові години сонячного сяйва.

При проектуванні сонячних фотоелектричних систем для визначення пікових годин сонячного сяйва використовується мінімальне місячне сонячне випромінювання. Цей підхід зазвичай необхідний для проектування сонячних фотоелектричних систем (проектування для найгірших умов).

Продуктивність сонячної фотоелектричної системи значною мірою залежить від пікових годин сонячного сяйва в місці застосування. Пікова сонячна година (години) на певній території визначається для формування доступного сонячного випромінювання в даному місці. Пікові сонячні години і загальне опромінення пов'язані між собою рівнянням 2.9

$$PSH = \frac{I}{PSI} \quad (2.9)$$

де I - опромінення (4576 Вт/м² /день);

PSI - пікове сонячне опромінення (991,71 Вт/м²).

Отже, з рівняння 2.9 випливає, що пікова сонячна година становить 4,84 год/день (цей PSH припадає на липень).

Після порівняння даних PVGIS та NASA, ми взяли мінімальну сонячну радіацію. Кількість пікових сонячних годин можна отримати за рівнянням 2.9, використовуючи мінімальні місячні дані сонячної радіації в липні 4,576 кВт·год/м² /день.

На основі освітленості місця розташування можна описати коефіцієнт втрат енергії на сонячній батареї і, використовуючи цю освітленість, розрахувати пікові години сонячного сяйва. Вхідними даними комп'ютерної програми PVSYST для цієї роботи є широта, висота над рівнем моря, часовий пояс і довгота місцезнаходження, типи фотоелектричних панелей тощо.

$$P_{pv} = P_d \cdot D \cdot PSH \quad (2.10)$$

де P_{pv} - потужність, вироблена фотоелектричною панеллю за рік (кВт/год);
 P_d - потужність, необхідна на добу (9 кВт);
 PSH - пікова сонячна година ($4,84 \pm 0,25$);
 D - день у році (365).

Отже, з рівняння 2.10 випливає, що енергія, вироблена фотоелектричною панеллю за рік, становить 16747,3 кВт·год. Потужність за рік майже дорівнює потужності, показаній на діаграмі PVsyst за всі роки.

Довжина тіні вертикального об'єкта. Цей простий розрахунок дає довжину вертикальної тіні об'єкта для заданого дня і географічної координати. Розрахунок використовує алгоритм положення Сонця для обчислення висоти Сонця. Таким чином, для обчислення довжини тіні використовується ця формула:

$$L = \frac{h}{\tan \alpha} \quad (2.11)$$

де h - висота об'єкта;
 α - кут між Сонцем і горизонтом.

Площа сонячної панелі буде розраховуватися як потреба в енергії для роботи кондиціонера потужністю 9 кВт мінімальне сонячне випромінювання ділянки становить 4,578 кВт·год/м². Ефективність максимальної точки потужності модуля становить 16,9%, а ефективність максимальної точки потужності електроніки - 80% -90% Залежно від доступної площі, виберемо стандартну фотоелектричну панель площею 1,944 м², яка може виробляти 330 Вт.

$$W_p \cdot PSH = A_p \cdot G_p \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_e \quad (2.12)$$

$$A_p = \frac{W_p \cdot PSH}{G_p \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_e} \quad (2.13)$$

де η_{pv} - ефективність сонячних елементів,

G_p - сонячне випромінювання (кВт/м²/день), необхідна потужність для кондиціонера = W_p ,

PSH - пікові сонячні години в місці, де буде встановлена система

p_e - коефіцієнт відстеження максимальної потужності точки, припускається, що він дорівнює 0,85 [21].

З формули 2.13 отримуємо площу 66,35 м². Площа, доступна на даху одного вагона 2,65 м · 28,4 м = 75,26 м², але це загальна площа. Вона зменшиться за рахунок доріжки, облаштування під'їзду тощо. Тоді розглянемо ефективну доступну площу 71,669 м². Енергія, що виробляється з комплекту потяга, і кількість необхідних панелей розраховується за наступною формулою

$$N_p = \frac{A_e}{A_p} \quad (2.14)$$

де N_p - кількість панелей, необхідних для потяга;

A_e - ефективна площа, необхідна на верхньому даху вагона потяга;

A_p - площа однієї панелі;

Підставивши вихідні дані, отримаємо кількість панелей, необхідних для потяга = 36 шт.

Розрахований результат загальної кількості ват-годин на добу, необхідних від фотоелектричних модулів. Помножимо загальну потужність приладів на кількість годин на добу, щоб дізнати загальну енергію на добу. Необхідна енергія - 9 кВт, години роботи протягом дня - з 7 ранку до 10 вечора, струм системи - 430,90 А·год, кількість необхідних модулів = 430,90 А·год / (I_{mp} · (середньомісячна глобальна сонячна радіація на горизонтальній поверхні)).

$$\text{Кількість необхідних модулів} = 430.90 \text{ А} \cdot \text{год} / (8.91 \cdot 7.54) = 5.84 \approx 6.$$

$$\text{Кількість модулів, що працюють} = 220 / V_{mp} = 220 / 37,5 = 5,95 \approx 6$$

$$\text{Загальна кількість модулів} = 6 \cdot 6 = 36 \text{ модулів}$$

2.4 Визначення струму контролера заряду сонячної батареї

Контролер заряду сонячних панелей - це серце сонячної системи, що відповідає за перетворення сонячної енергії в електричну для заряджання акумулятора або інвертора в системі. Важливо вибрати сонячний регулятор, який забезпечить надійний заряд сонячної батареї, регулювання перенаправлення та контроль навантаження. Тому для даної системи струм контролера становить:

$$I_C = NP_p \cdot I_{mp} \cdot 1,3 \quad (2.15)$$

де NP_p - кількість паралельно з'єднаних модулів,

I_{mp} - струм модуля,

I_C - струм контролера заряду.

2.5 Особливості вибору інвертора

Сонячний інвертор є єдиним пристроєм, який забезпечує живлення навантаження кондиціонера. Потужність навантаження повинна бути не меншою за потужність інвертора. Виробники стверджують, що інвертори видають більшу потужність на короткий час, яка вдвічі перевищує потужність навантаження і є вищою за номінальну потужність. Як заявляють виробники, пікова потужність інвертора вимірюється у ватах. Але ця потужність подається лише на резистивне навантаження з коефіцієнтом потужності, рівним одиниці.

Для компресорів і двигунів коефіцієнт потужності низький, тому дуже важливо звернути увагу на імпульсний струм інвертора. Струм інвертора є важливим фактором, який необхідно враховувати. Пускова потужність, як правило, в 3-8 разів перевищує робочу потужність кондиціонера (щоб впоратися зі струмом перенапруги під час запуску), а разом з нею і струм. Тому пусковий струм необхідно враховувати при виборі інвертора.

2.6 Вибір акумуляторів

Існують певні характеристики при оцінці варіантів сонячних батарей, наприклад, як довго працюватиме сонячна батарея або яку потужність вона може забезпечити. Глибина розряду (DOD) - більшість сонячних батарей повинні постійно зберігати певний заряд через свій хімічний склад. Якщо ми використовуємо 100 відсотків заряду батареї, термін її служби значно скоротиться, тому важливим є найкращий показник глибини розряду.

Більшість нових технологій зберігання енергії, таких як використання певної форми літій-іонного хімічного складу, є літій-іонними. Літій-іонні акумулятори легші та компактніші, ніж свинцево-кислотні. Вони також мають вищий DOD і довший термін служби порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами. Однак літій-іонні батареї дорожчі за свинцево-кислотні аналоги. Тому для цієї конструкції використовуються акумулятори з накопичувальною ємністю (150 А·год, 24 В), тривалістю циклу до 80% глибини розряду (DOD). Ефективність заряду від 20% розряду обрана. [23]

$$BC = \frac{P}{V_s} \quad (2.16)$$

де V_s - напруга мережі,

P - потужність обладнання,

BC - ємність акумулятора (А·год)

2.7 Методика розрахунку січення кабелів

Падіння напруги у фотоелектричних системах (220 В) $\leq 5\% = 11$ В

$$V_{drop} = IR = \frac{I \rho L}{\alpha} \quad (2.17)$$

де I - струм системи;

ρ - питомий опір мідного дроту;

L - довжина м,

A - площа поперечного перерізу м².

2.8 Розташування фотоелектричного модуля на вагоні потяга

Вид спереду на дах вагона показаний на рисунку (2.9). Дах вагону може бути покритий монокристалічними фотомодулями потужністю 330 Вт і кутом нахилу 90. Модулі можуть бути встановлені вздовж осі симетрії 18 модулів з правого боку, 18 з лівого боку з електричною конфігурацією $6 \cdot 6$, а дах може бути продувним, оскільки панелі можуть бути встановлені на кілька сантиметрів вище даху, щоб конвективний потік повітря міг охолоджувати панелі, плоска поверхня повинна бути створена разом з профілем даху для полегшення жорсткого і легкого монтажу модулів. Батареї, інверторний контролер заряду розміщуються у вільному місці в нижній частині вагону.

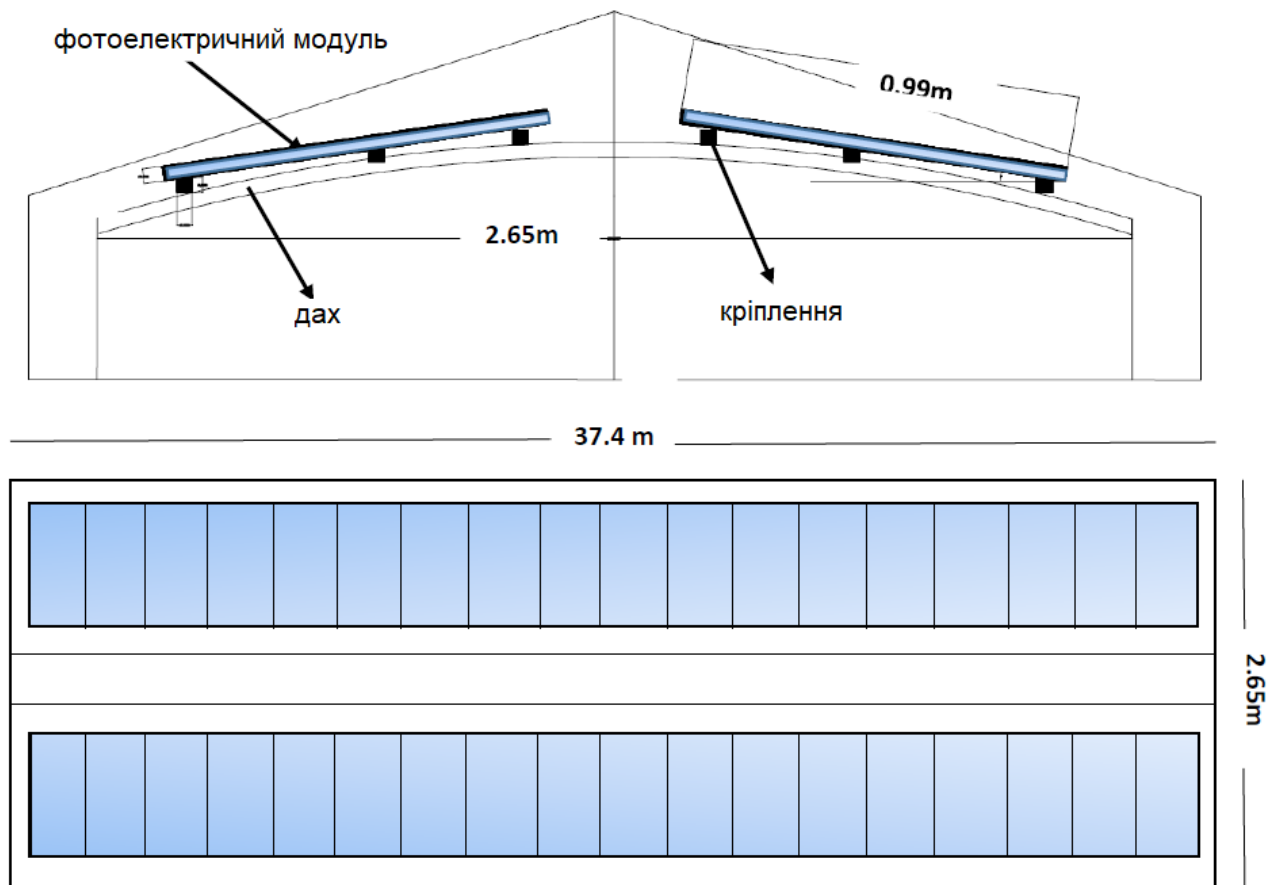


Рисунок 2.9 - Спереду і зверху розташування сонячних фотоелектричних модулів на даху потяга

2.9 Вартість системи

Розрахунок вартості основних конструктивних елементів наведено в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 Початкові витрати на кондиціонер, що живиться від фотоелектричної системи.

Опис	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість
Фотомодулі, монокристалічні	36	3000	108000
Вартість конструкції			13334
Акумулятори	40	4000	160000
Кабелі	10 м	110	1100
Інвертори та контролер заряду	1	31866	31866
Інші			6000
Всього			320300

Як показано в таблиці 2.2, загальна вартість становить 320300 грн., експлуатаційні витрати - 0 грн., а витрати на заміну батарей кожні п'ять років - 160000 грн.

$$NPW = Bt - Ct \quad (2.18)$$

$$Bt = PVAB = A \left(\frac{1 + i^n - 1}{i 1 + i^n} \right) \quad (2.19)$$

$$Ct = PVFC = F 1 + i^{-n} \quad (2.20)$$

де A - річна вигода,

F - майбутні витрати

i - відсоткова ставка (0,4),

N - номер року,

NPW - чиста теперішня вартість проекту,

PBP - період окупності,

Bt - загальна вигода,

Ct - загальні витрати,

$PVAB$ - теперішня вартість річної вигоди,

AS - річна економія і

$PVFC$ - теперішня вартість майбутніх витрат.

Аналіз окупності є ще одним розширенням економічного аналізу.

Період окупності - це період, за який грошові потоки відшкодовують початкові інвестиції.

$$PBP = \frac{Ct}{AS} \quad (2.21)$$

Розрахунок окупності буде наведено в наступному розділі.

2.10 Висновки до розділу

1. Розглянуто об'єкт електропостачання – потяг. Потяги обладнані системами кондиціонування та вентиляції, щоб забезпечити свіжим та охолодженим повітрям як пасажирів, так і операторів потягів. Зі зібраних даних випливає, що в кожному малому потязі встановлено два комплекти кондиціонерів. Всі кондиціонери ідентичні та взаємозамінні. Встановлено, що кондиціонер для потяга споживає потужність 9 кВт.
2. Представлено конструкцію фотоелектричних панелей, які використано в системі виробництва електроенергії для живлення кондиціонера, а також обрано відповідну для цього випадку методику розрахунку фотоелектричної системи.
3. Описано методику розрахунку струму контролера заряду сонячної батареї та характеристик інвертора та акумуляторних батарей.

4. Запропоновано схему розташування фотоелектричних панелей на даху вагонів потяга з врахуванням основного модуля кондиціонера та можливості їх обслуговування.
5. Наведено вартість основних складових фотоелектричної системи та методику розрахунку терміну окупності.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок потужності системи

Для проектування потрібні зенітний кут, кут падіння, кут схилення, пікова сонячна година та опромінення як вхідні параметри. Використовуючи рівняння, розглянуті в попередньому розділі, розраховані значення цих вхідних параметрів визначаються і записуються жирним шрифтом (таблиця 3.1). Оскільки 17 липня має мінімум сонячного випромінювання близько $4,57 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2/\text{день}$, цей день було обрано для визначення характеристик фотоелектричної системи.

Таблиця 3.1 Підсумкові розрахунки вхідних параметрів за допомогою програмного забезпечення PVsyst

Параметри	Значення
Кут нахилу, δ	18.17°
Годинний кут	18.75°
Зенітний кут	20.1°
Кут падіння	38.15°
Променеве випромінювання	910,76 Вт/м ²
Дифузне випромінювання	80,41 Вт/м ²
Сумарна радіація	991,17 Вт/м ²
Пікова сонячна година	4,84 год/день

В результаті розрахунків встановлено, що потужність, необхідна для потяга на сонячних батареях, становить близько 11,4 кВт.

Потужність фотоелектричних панелей на рік розраховується з рівняння (2.10). Енергія від фотоелектричних панелей за рік становить 16747,3 кВт·год. Вихід енергії за рік майже дорівнює тому, що показано на діаграмі PVsyst за всі роки.

Зі збільшенням освітленості місцевості, потужність, необхідна для потяга на сонячних батареях, становить близько. 11,4 кВт можна отримати при мінімальній освітленості. Але ця потужність зменшується за рахунок різних втрат, таких як підвищення температури, пил і т.д. Але наше навантаження становить 9 кВт, тому потужності, виробленої з панелі, достатньо для забезпечення цього навантаження.

Використовуючи монокристалічний тип модуля з робочої площі, ми можемо генерувати номінальну потужність 11,4 кВт. Це означає, що ми можемо отримати 18,1 МВт·год/м²/рік щорічно із середнього глобального опромінення 5,1 кВт·год/м² в день, і ми отримаємо 18064 кВт·год/рік вихідної енергії системи.

3.2 Розрахунок конфігурації системи та результати розрахунку терміну окупності

Площа сонячної панелі буде розраховуватись як потік: з рівняння (2.13) розраховується площа панелі. Залежно від розрахованої площі, обираємо стандартну фотоелектричну панель площею 1,944 м², яка може виробляти 330 Вт. Обрана фотоелектрична панель може виробляти вищезазначену потужність. Тому конструкція є безпечною. Площа, доступна на даху одного вагона 2,65 м · 28,4 м = 75,26 м², але це загальна площа. Вона зменшиться за рахунок пішохідної доріжки, доступу тощо. Тоді розглянемо ефективну доступну площу 71,669 м² - кількість необхідних панелей розраховується за формулою (2.14).

$$N_p = 66,35 \text{ м}^2 / 1,944 \text{ м}^2 = 36$$

Результат розрахунку потужності контролера заряду: з рівняння 2.15 впливає, що необхідний контролер заряду становить

$$I_c = 6 \cdot 8,91 \cdot 1,3 = 69 \text{ А}$$

Результат розрахунку інвертора: на основі даних виробника вказана пікова потужність у ватах, загальна необхідна потужність становить 9 кВт; щоб

впоратися з імпульсним струмом під час запуску, інвертор повинен бути в 3 рази більшим за необхідну потужність. Тип інвертора - імпульсний, який має 95% ефективність перетворення змінного струму в постійний. Вибираємо інвертор MUSTPOWER

потужністю 30 кВт.

Розрахункова потужність інвертора $= 9 \text{ кВт} \cdot 3 = 28 \text{ кВт}$

Обрана потужність інвертора $\approx 30 \text{ кВт}$

Результат визначення ємності батареї. Для цього дослідження було обрано акумуляторні батареї з накопичувачем (150А·год, 24В), термін служби до 80% глибини розряду (DOD). Ефективність заряду від 20 % розряду обрана. Тому з рівняння 2.16 ємність акумуляторної батареї становить:

Ємність батареї (А·год) $= 409,09 \text{ А·год}$

Енергія, необхідна від батарей $= 409,09 \text{ А·год} / \text{DOD} = 409,09 \text{ А·год} / 0,8 = 511,625 \text{ А·год};$

Кількість батарей, з'єднаних паралельно $= 511,625 / 150 = 3,49 \approx 4$

Кількість батарей, з'єднаних послідовно $= 220/24 = 9,16 \approx 10;$

Всього батарей $= 10 \cdot 4 = 40.$

Кондиціонер працює з 12 до 4 години ночі. Припустимо, що ми збираємося встановити батарею на 150 А, 24 В, таким чином, кожна батарея може покрити 0,2 години енергії, а загальний час автономної роботи батарей становить 8 годин з часом зарядки 3,5 години, тому що зарядний струм повинен становити 1/10 від ємності батареї, а час зарядки батареї дорівнює ємності батареї, поділеній на зарядний струм.

Результат визначення розмірів кабелів: відповідно до рівняння 2.17, розмір кабелю для цієї системи становить 54,545 мм².

Таблиця 3.2 – Розрахункові характеристики компонентів системи та їх вага

Опис	Результат	Вага
Фотомодулі, монокристалічні	36 шт.	22,4 кг
Батареї	40 (150А)	48,5кг
Кабелі	54.545 мм ²	-
Інвертори	30 кВт	28 кг
Контролер заряду	80А, 220В	-

Таким чином, потяг може перевозити до 53741,62 кг (59,24 тон) додаткового навантаження, але загальна вага, додана до потягу, становить приблизно 3026,4 кг, тому конструкція ідеально підходить для стабільності конструкції потягу з допуском 1+3% т. Все обладнання від MUSTPOWER.

Результат економічного аналізу.

На основі специфікацій більшості енергетичних компаній та даних універсальних постачальників, наведених у таблиці 2.2, нижче наведено економічний аналіз.

На основі рівнянь (2.18) – (2.20) теперішня вартість майбутніх витрат становить

$$\text{Теперішня вартість майбутніх витрат} = 480000 (1+0,4)^{-5} + 480000 (1+0,4)^{-10} + 480000 (1+0,4)^{-15} + 480000 (1+0,4)^{-20} = 89248,52 + 16594,37 + 3085,46 + 573,69 = 109502,06 \text{ грн}$$

$$\text{Загальна вартість} = (960900 \text{ грн} + 109502,06 \text{ грн}) = 1070402,06 \text{ грн}$$

З наведеного вище економічного аналізу та рівняння (2.21), період окупності для цього проекту становить $= 1070402,06 \text{ грн} / 302300 \text{ грн} = 3,54$ роки

Порівнюючи наведені вище системи з терміном окупності 3,54 роки, ми виявили, що кондиціонер, який живиться від фотоелектричної системи, є найкращим варіантом з економічної точки зору..

Таким чином, ця система є як технічно, так і економічно доцільною. В результаті, ми можемо досягти бажаного приємного та комфортного теплового середовища в салоні для пасажирів за будь-яких очікуваних зовнішніх умов навколишнього середовища в денний час.

3.3 Результат моделювання характеристик фотоелектричного модуля в MAT LAB

Для того, щоб побачити продуктивність і характеристики модуля, необхідно визначити точку короткого замикання, цей стан відбувається, коли струм в модулі максимальний, а напруга на модулі дорівнює нулю; іншою характеристикою продуктивності є точка обриву, цей стан відбувається, коли напруга в модулі максимальна, а струм на модулі дорівнює нулю; останньою характеристикою продуктивності є точка максимальної потужності, цей стан відбувається, коли добуток струму і напруги в модулі максимальний, а потужність досягає максимального значення в точках (I_{mp} , V_{mp}).

У технічному паспорті модуля вказані три точки (I_{sc} , 0), (V_{oc} , 0) і (I_{mp} , V_{mp}), які відповідають стандартним умовам тестування (STC). Але точне значення цих точок для обраних умов є основною метою цієї конструкції. Коли відбувається коротке замикання, фотомодуль діє як джерело струму, а коли відбувається обрив кола, фотомодуль діє як джерело напруги.

Нижче на рисунку 3.1 показані результати моделювання залежності струму від напруги фотоелектричного модуля потужністю 30 Вт для різних значень температури при постійному сонячному випромінюванні 800 Вт/м^2 . За цих умов струм при нульовій напрузі майже не змінюється і становить 2,56 А. Аналогічно, напруга при нульовому струмі і максимальна вихідна потужність модуля зменшуються зі збільшенням температури. Таким чином, графік показує нелінійну природу фотоелектричного модуля.

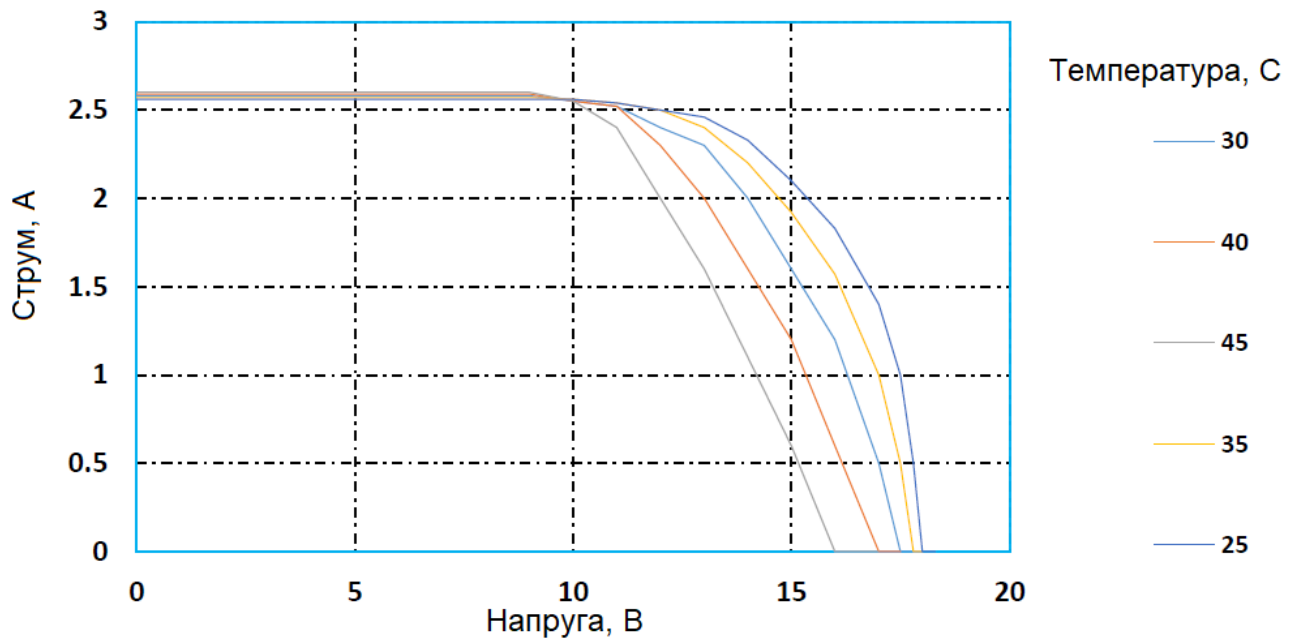


Рисунок 3.1 - Графік при різних температурах і сонячному опроміненні 800 Вт/м^2

На рис. 3.2 і 3.3 показані результати моделювання графіка залежності струму від напруги, на цьому графіку при різному сонячному опроміненні струм також зростає. Аналогічно зі збільшенням сонячного випромінювання вихідна потужність (P_m) також зростає.

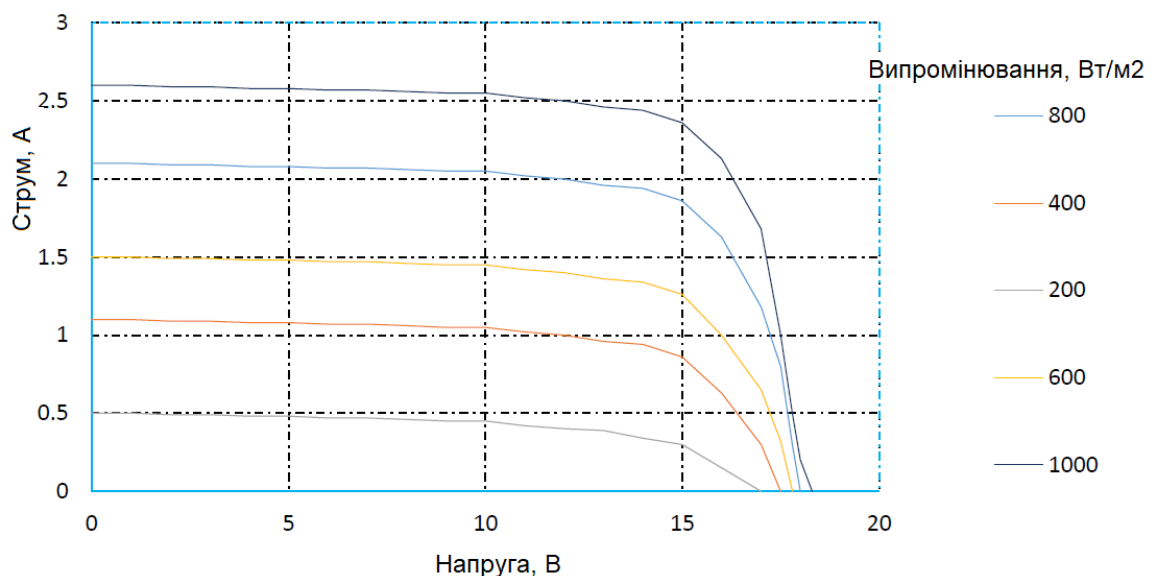


Рисунок 3.2 – Вольт-амперна характеристика сонячного фотомодуля при різному сонячному опроміненні

Насправді, через зміни в навколишньому середовищі сонячне випромінювання коливається. Коли сонячне випромінювання збільшується,

сонячне надходження до сонячного модуля також збільшується, таким чином, потужність, що виробляється модулем, збільшується при тому ж значенні напруги.

Зі збільшенням сонячного випромінювання збільшується напруга при нульових значеннях струму. Оскільки сонячне випромінювання досягає сонячного елемента, вища енергія збудження створює більшу рухливість електронів, отже, вища рухливість електронів, отже, більша вихідна потужність.

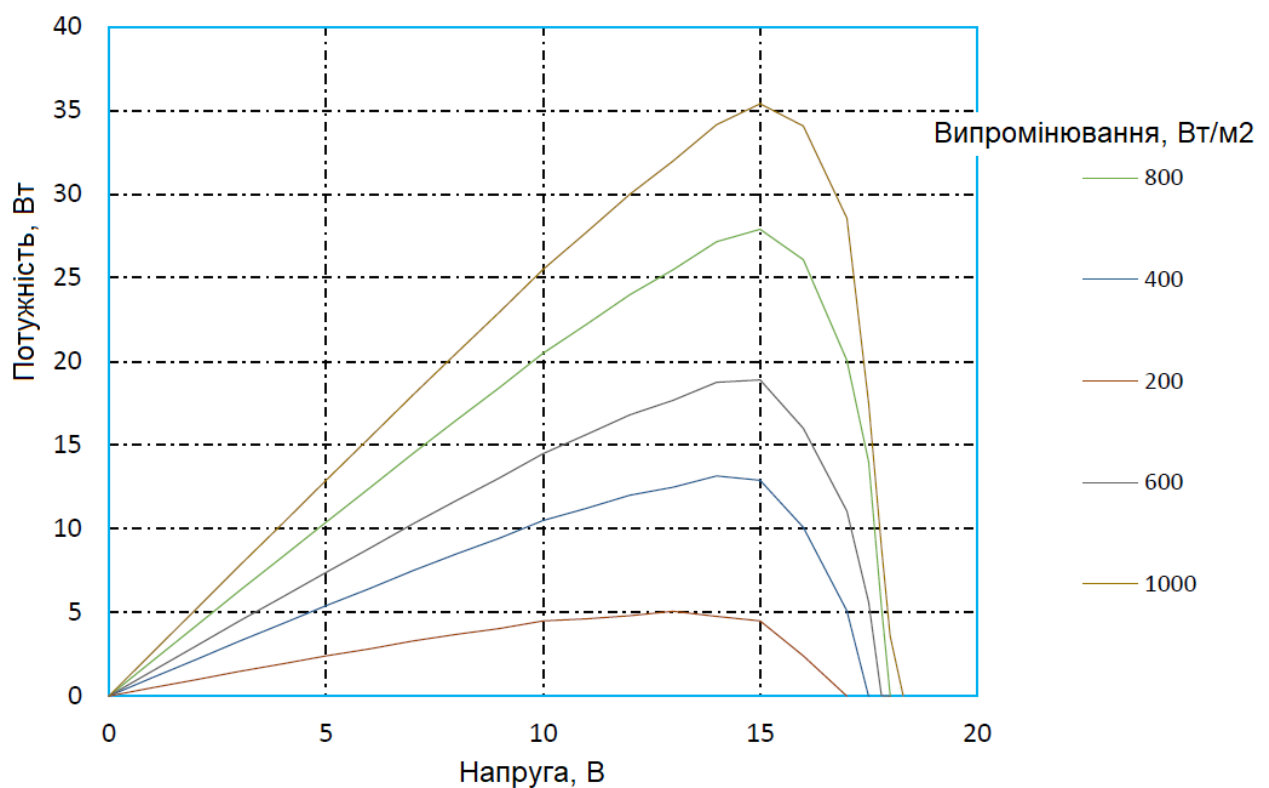


Рисунок 3.3 – Вольт-ватна характеристика сонячного фотоелектричного модуля при різному сонячному опроміненні

Отже, що при зменшенні потужності випромінювання до 800 Вт/м^2 , що є характерним для місця експлуатації потяга, генерована потужність падає до 78 %.

3.4 Розрахунок кількості випромінювання та генерованої потужності

Сирі дані, отримані з різних джерел, є дуже об'ємними, тому було розроблено програму, яка здатна сортувати ці сирі дані, враховуючи математичну послідовність, в якій вони представлені. Ця програма дає глобальну радіацію і потужність для конкретних дат у 24-годинному форматі графічно, як показано на рисунках нижче. День вибирається з максимального і мінімального радіаційного дня місяця року, графічні дані, представлені тут, показують потужність і інтенсивність випромінювання протягом дня. На рисунку 3.6 показано мінімальні та максимальні погодинні зміни радіації та погодинної потужності протягом 24 годин у липні та березні в середні репрезентативні дні цих місяців, тобто 17 липня та березня. Цей місяць обрано тому, що саме в ці місяці чітко проявляються мінімальні та максимальні відмінності у варіації сонячної радіації.

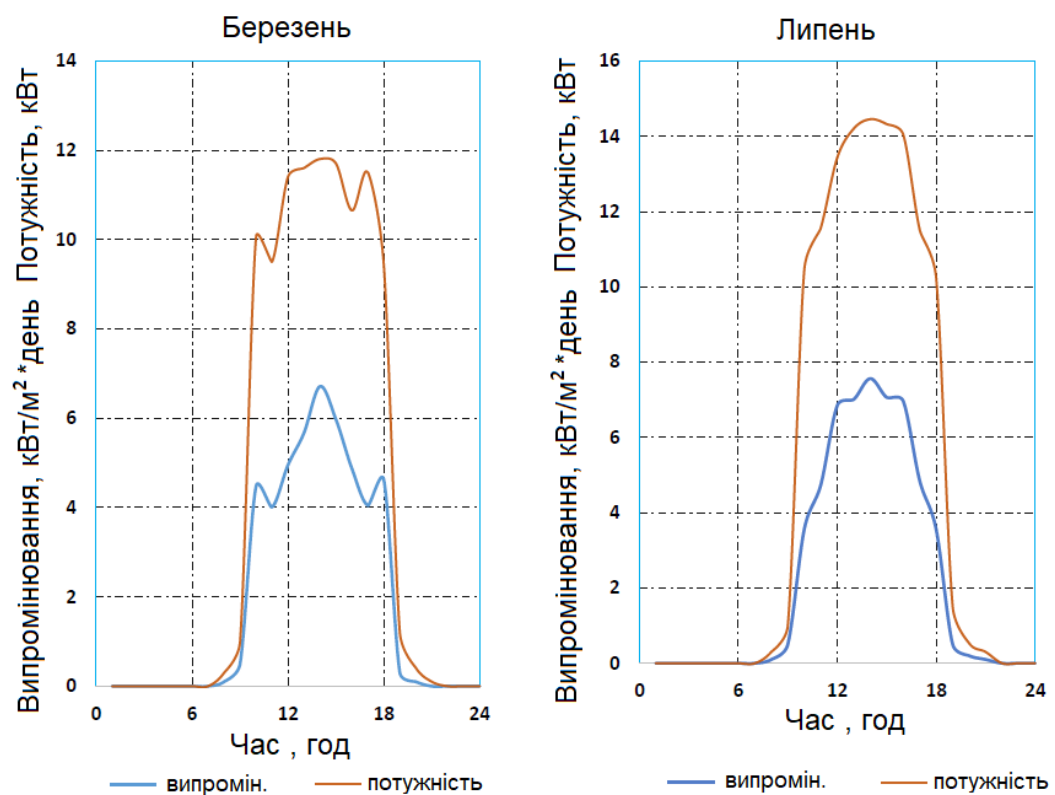


Рисунок 3.4 - Дані про випромінювання та генеровану потужність для 17 липня та 17 березня

На рисунках 3.5 і 3.6 показані мінімальні і максимальні зміни радіації і потужності за одну поїздку протягом 30 хвилин в липні і березні в середні репрезентативні дні місяців, тобто 17 липня і 17 березня. Цей місяць обрано тому, що в ці місяці чітко видно мінімальні та максимальні відмінності у варіаціях сонячної радіації. Дані про випромінювання та енергію наведені для однієї поїздки в сонячну та частково сонячну годину на основі шляху потяга, який становить 17 км.

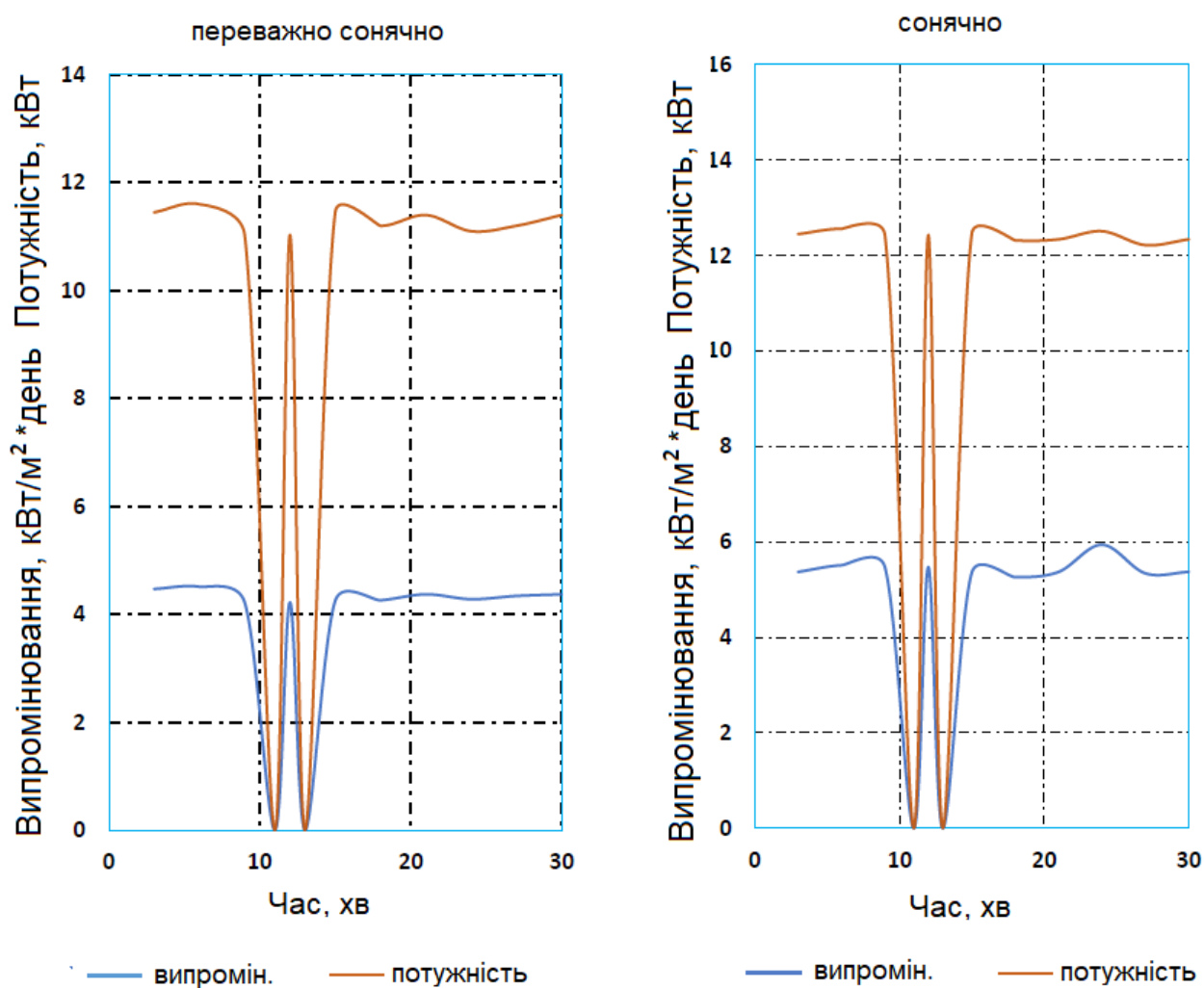


Рисунок 3.5 - Випромінювання та генерована потужність за 17 березня для однієї поїздки в сонячну та частково сонячну годину

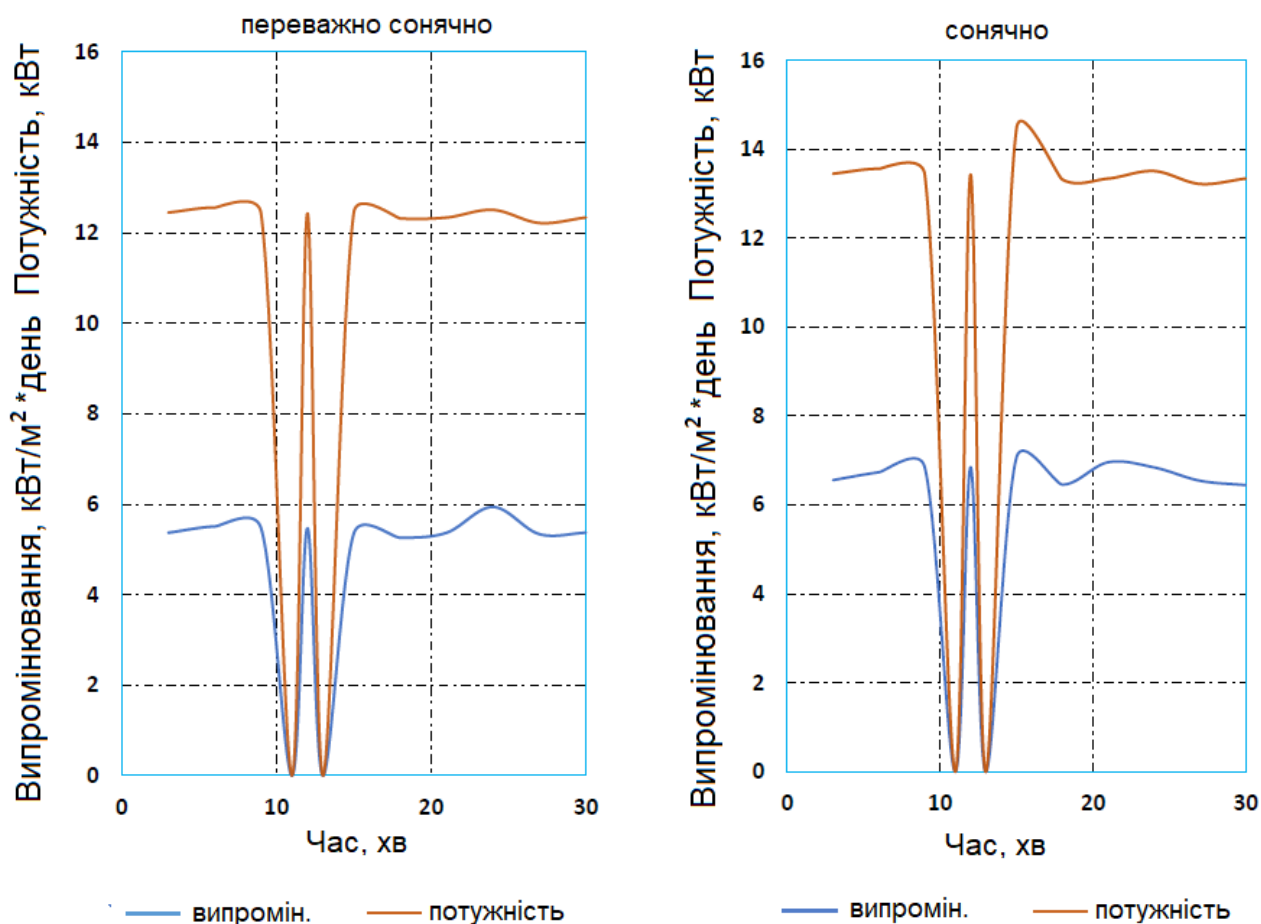


Рисунок 3.6 - Випромінювання та генерована потужність за 17 липня для однієї поїздки в сонячну та частково сонячну годину

Виходячи з наведеного вище аналізу, найменша кількість енергії, виробленої з панелі, становить 11,8 кВт у березні, що становить 90 % від максимально можливої, а найбільша - 14,45 кВт у липні, що може жити кондиціонер та навіть інші допоміжні навантаження у вагоні потяга.

Як видно з рисунку, зі збільшенням кількості вагонів у потягу збільшується і кількість виробленої електроенергії, що, в свою чергу, збільшує обсяг заміщення.

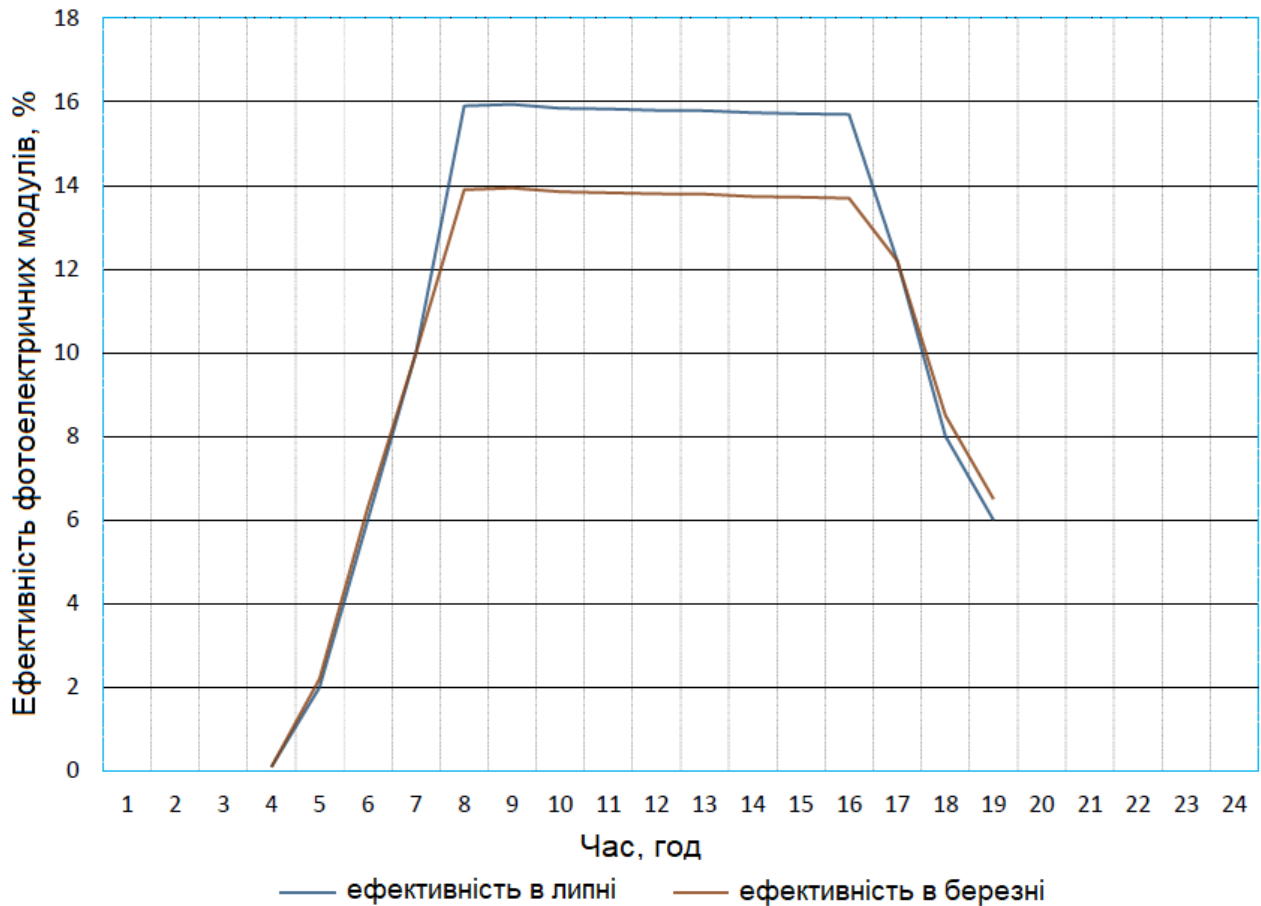


Рисунок 3.7 - Зміна погодинної ефективності фотоелектричних панелей

На наведених вище рисунках показано моделювання продуктивності вибраних сонячних елементів, щоб показати погодинну зміну ефективності фотоелектричної панелі з використанням реальних погодних даних. Вихідна потужність, отримана в результаті цього моделювання, є основним вхідним параметром для кондиціонера. Також можна визначити загальну ефективність системи. Таким чином, це допомагає системі диспетчеризації ефективно використовувати вироблену енергію.

3.5 Висновки до розділу

1. Представлено результат розрахунків вхідних параметрів та потужності фотоелектричної системи за допомогою програмного забезпечення PVsyst.

2. Визначено, що необхідно 36 фотоелектричних панелей для проектованої системи.
3. На основі розрахунків, встановлено, що контролер заряду повинен бути розрахований на струм 69 А.
4. З врахуванням вимог для живлення кондиціонерів обрано інвертор MUSTPOWER потужністю 30 кВт.
5. Щоб забезпечити необхідний час автономної роботи системи кондиціонування необхідно використати 40 AGM акумуляторних батарей напругою 24 В та ємністю 150 А·год.
6. Розраховано вагу усієї фотоелектричної системи. Вона становить 3026,4 кг, що становить 6 % від допустимої ваги, яку здатен перевозити потяг. Що в межах допустимого.
7. При постійній експлуатації даної системи, термін окупності буде 3,54 роки.
8. Проведено моделювання роботи типового фотоелектричного модуля. Встановлено, що при зменшенні потужності випромінювання до 800 Вт/м^2 , що є характерним для місця експлуатації потяга, генерована потужність падає до 78 %.
9. Проведено розрахунок кількості випромінювання та генерованої потужності для двох типових днів року у березні та липні. Розглянуто випадок цілодобового використання системи без затінь та випадок переміщення потяга на відстань 17 км із тимчасовими затіненнями від об'єктів, що розташовані вздовж залізниці. Встановлено, що травні ефективність генерування електроенергії складає 90 % від липневої.
10. Отримано зміну ефективності роботи фотоелектричного модуля для цих двох днів року з врахуванням зміни випромінювання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вплив шуму на організм людини та розробка заходів щодо його зниженню до допустимих величин

Шкідливий та небезпечний вплив шуму на організм людини безперечно існує. Ступінь такого впливу переважно залежить від рівня та характеру шуму, форми та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини. Шум належить до загальнофізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати на більшість органів та систем організму людини. Дія шуму може спричинити нервові, серцево-судинні захворювання, виразкову хворобу, порушення обмінних процесів та функціонування органів слуху. Із загальної кількості захворювань, останнім часом значно зросла частка тих, які спричинені саме шумовим впливом. У зв'язку з цим, слід звернути увагу на той факт, що протягом багатовікової еволюції людина так і не набула здатності адаптуватись до дії шуму, як і не було створено природного захисту для високочутливого та досконалого органу слуху людини від дії інтенсивного шуму [24].

Наближено дію шуму різних рівнів можна охарактеризувати у такий спосіб. Шум до 50 дБА, зазвичай, не викликає шкідливого впливу на людину в процесі її трудової діяльності. Шум з рівнем 50—60 дБА може викликати психологічний вплив, що виявляється у погіршенні розумової діяльності, послабленні уваги, швидкості реакції, утрудненні роботи з масивами інформації. За рівня шуму 65 — 90 дБА можливий його фізіологічний вплив, пульс прискорюється, тиск крові підвищується, судини звужуються, що погіршує постачання органів кров'ю.

Дія шуму з рівнем 90 дБА і вище може призвести до функціональних порушень в органах та системах організму людини: знижується слухова чутливість, погіршується діяльність шлунку та кишківника, з'являється відчуття нудоти, головний біль, шум у вухах. При рівні шуму 120 дБА та вище

здійснюється механічний вплив на орган слуху, що виявляється у порушенні зв'язків між окремими частинами внутрішнього вуха, можливий навіть розрив барабанної перетинки. Такі високі рівні шуму впливають не лише на органи слуху, а й на весь організм. Звукові хвилі, проникаючи через шкіру, викликають механічні коливання тканин організму, внаслідок чого відбувається руйнування нервових клітин, розриви дрібних судин.

Заходи, що до зниження рівня шуму, спроектованні для вітроенергетичної установки індивідуального електропостачання:

- вибір тихохідної конструкції установки, рівень шуму від роботи якої є значно менший ніж при роботі швидкохідних конструкцій;
- використання трифазного генератора будова якого забезпечує зміщення катушок відносно магнітів $2/3$ за рахунок чого навантаження розподіляється рівномірно і рівень вібрації та шуму нижчий ніж у генераторів однофазного виконання.

Норми шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99 “Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку”. Нормування шуму враховує характер роботи та умови технологічного процесу.

Вимірювання шуму проводиться на постійних робочих місцях у приміщеннях, на території підприємств, на промислових спорудах та машинах (в кабінах, на пультах управління).

4.2 Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання

Для попередження про небезпеку застосовують звукові, світлові і кольорові сигнали. Сигнальні пристрої встановлюються в зонах видимості і слухового відчуття обслуговуючого персоналу. Сигнали небезпеки повинні чітко сприйматися у виробничій обстановці [24].

Нормативами визначаються сигнальні і розпізнавальні кольори. Основними сигнальними кольорами є червоний - забороняючий, засвідчуючий

про безпосередню небезпеку, жовтий - зосереджуючий увагу і попереджуючий про можливу небезпеку і зелений - означаючий безпеку.

Розпізнавальними кольорами вважають зелений, червоний, синій, жовтий, оранжевий, фіолетовий, коричневий, сірий.

Розпізнавальні кольори наносять на технологічне підйом-но-транспортне обладнання, трубопроводи, елементи будівельних конструкцій та інші споруди.

Сигнально-попереджувальним фарбуванням (жовтими і чорними смугами) відмічаються елементи будівельних конструкцій і міжцехового транспорту. Так, жовто-чорною смугою позначаються низькі балки, виступи і перепади у площині підлоги, краю люків і колодязів, кабіни і перила кранів, вантажні гаки, бічні поверхні електрокарів, навантажувачів, візків, стріл автокранів.

Огородження небезпечних зон із зовнішнього боку фарбують в жовтий колір, із внутрішнього - в червоний.

Габарити проїздів, проходи і робочі місця на підлозі виробничих приміщень позначаються смугою чи штриховими лініями білого чи жовтого кольору.

Розпізнавальне фарбування однойменних струмоведучих шин у кожній електроустановці приймається однаковим.

При змінному струмі фаза А фарбується в жовтий колір, фаза В - зелений, фаза С - червоний, нульова (при ізолюванні чи заземленій нейтралі) - в чорний; при однофазному струмі провідник, під'єднаний до початку обмотки джерела живлення, - в жовтий, до кінця обмотки - в червоний; при постійному струмі позитивна фаза "+" - в червоний, негативна "-" - в синій, нейтральна - в білий.

Стандартами передбачена система знаків безпеки, які повинні використовуватися не тільки в промисловості, але й в інших галузях народного господарства, а також передбачені знаки, які є загальними для багатьох виробництв і професій, але у разі необхідності вони можуть бути конкретизовані із використанням графічних зображень і надписів, що застосовуються в інших стандартах.

4.3 Підвищення стійкості роботи об'єктів енергетики у воєнний час

На основі всебічного аналізу факторів, що впливають на стійкість роботи об'єктів енергетики, робляться висновки про ймовірність виникнення аварій, стихійних лих, терористичних актів та їх впливу на виробничу діяльність і визначаються основні напрямки (шляхи) підвищення стійкості функціонування об'єктів енергетики в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу [25]:

1. Забезпечення надійного захисту робітників та службовців від впливу вражаючих факторів аварій, катастроф, стихійних лих і засобів ураження
2. Захист основних виробничих фондів від впливу вражаючих факторів аварій, катастроф, стихійних лих та засобів ураження, в тому числі і від вторинних вражаючих факторів;
3. Забезпечення стабільності і безперервності управління виробництвом та ЦЗ;
4. Забезпечення надійності постачання об'єкта енергоносіями.

Для надійного функціонування об'єктів енергетики в надзвичайних ситуаціях завчасно організовуються і проводяться заходи, спрямовані на підвищення стійкості їх роботи. До них відносяться:

1. Інженерно-технічні заходи (ІТЗ).
2. Технологічні заходи.
3. Організаційні заходи.

Інженерно-технічні заходи - заходи, спрямовані на забезпечення підвищення стійкості будівель, споруд, обладнання, енергетичних систем до впливу НС.

Технологічні заходи - заходи, спрямовані на здійснення підвищення стійкості шляхом зміни технологічного режиму, що виключає виникнення вторинних факторів ураження.

Організаційні заходи - заходи, спрямовані на завчасну розробку і планування дій керівного складу, особового складу, штабу ЦЗ, служб, невоєнізованих формувань об'єктів енергетики в умовах надзвичайних ситуацій.

Основними напрямками підвищення стійкості функціонування є наступне:

- забезпечення захисту населення і його життєдіяльності;
- раціональне розміщення виробничих сил та потужностей на території об'єкта енергетики, регіону;
- підготовка до роботи в умовах НС мирного та воєнного часу;
- підготовка до виконання робіт по відновленню об'єктів в умовах НС;
- підготовка системи управління.

Всі ці заходи повинні забезпечити максимально можливе зниження втрат і руйнувань та зменшити можливість виникнення повторних зон зараження при впливі РР, ОР та НХР. Зміст таких заходів, виходячи з галузевих і інших нормативних документів, конкретизується для кожної територіальної ланки..

Ми знаємо, що електропостачання є основою всякого виробництва. Для забезпечення надійного електропостачання в НС при його проектуванні та будівництві повинні бути враховані наступні основні вимоги, що впливають із завдань цивільного захисту:

1. Електропостачання повинно здійснюватися від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива.
2. Великі електростанції слід розміщувати одну від одної і від великих міст на значних відстанях.
3. Районні понижуючі підстанції, диспетчерські пункти енергосистем та лінії електропередач необхідно розміщувати розсереджено і надійно захищати.
4. Постачання електроенергією великих міст слід передбачати від двох незалежних джерел.

Крім того, необхідно створювати автономні резервні джерела електропостачання. Для цього можна використовувати рухливі електростанції на залізничних платформах, малопотужні електростанції, не включені до енергосистеми. Система електропостачання повинна мати грозозахисту систему та захист від впливу електромагнітного імпульсу ядерного вибуху.

Енергетичні споруди та електричні мережі повинні проектуватися з урахуванням забезпечення стійкого електропостачання категорійних міст і об'єктів. Схема електричних мереж енергосистем при необхідності повинна передбачати можливість автоматичного розподілу енергосистеми на збалансовані, незалежно працюючі частини. При проектуванні енергетичних систем і їхнього об'єднання теплові (конденсаційні) електростанції слід розміщати поза зонами можливого катастрофічного затоплення. У категорійних містах припускається розміщення тільки теплоелектроцентралей незалежно від їхньої встановленої потужності з максимальним віддаленням їх від центрів житлової і промислової забудов. Нові атомні електростанції та атомні теплоелектроцентралі повинні розміщатися з урахуванням їх впливу на навколишнє середовище і радіаційну безпеку населення. На існуючих та на тих, що проектуються і будуються атомних станціях, передбачається створення систем автоматизованого контролю за радіаційною обстановкою на території станції і в зоні спостереження цих станцій, оповіщення та інформаційного забезпечення обслуговуючого персоналу і населення про радіаційну небезпеку, а також захищених пунктів керування протиаварійними діями на території станції і в пристанційних селищах.

При проектуванні схем зовнішнього електропостачання категорійних міст необхідно передбачати їхнє електропостачання від декількох незалежних та територіально рознесених джерел живлення (електростанції і підстанції), частина з яких повинна розташовуватися за межами зон можливих руйнувань. При цьому зазначені джерела і їхні лінії електропередачі повинні, як правило, знаходитися на відстані одне від одного, що виключає можливість їхнього одночасного виходу з ладу. Системи електропостачання категорійних міст

повинні враховувати можливість забезпечення транзиту електроенергії в обхід зруйнованих об'єктів за рахунок спорудження коротких перемичок повітряними лініями електропередачі. Нові лінії електропередачі, що живлять особливо важливих споживачів, слід проектувати в кабельному виконанні. Для забезпечення можливості зниження електричного навантаження в категорійних містах системи електропостачання об'єктів, які не відключаються у воєнний час, повинні бути відділені від систем електропостачання інших об'єктів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Вивчено та описано будову та функціонування фотоелектричного модуля як складової фотоелектричної панелі. Встановлено чинники що впливають на продуктивність фотоелектричного елемента. Також розглянуто переваги та недоліки використання фотоелектричних систем.
2. Проаналізовано принцип роботи системи кондиціонування повітря у потязі.
3. Запропоновано схему розташування фотоелектричних панелей на даху вагонів потяга з врахуванням основного модуля кондиціонера та можливості їх обслуговування.
4. Визначено, що необхідно 36 фотоелектричних панелей для проектованої системи. На основі розрахунків, встановлено, що контролер заряду повинен бути розрахований на струм 69 А. З врахуванням вимог для живлення кондиціонерів обрано інвертор MUSTPOWER потужністю 30 кВт . Щоб забезпечити необхідний час автономної роботи системи кондиціонування необхідно використати 40 AGM акумуляторних батарей напругою 24 В та ємністю 150 А·год.
5. Розраховано вагу усієї фотоелектричної системи. Вона становить 3026,4 кг, що становить 6 % від допустимої ваги, яку здатен перевозити потяг. Що в межах допустимого.
6. При постійній експлуатації даної системи, термін окупності буде 3,54 роки.
7. Проведено розрахунок кількості випромінювання та генерованої потужності для двох типових днів року у березні та липні. Розглянуто випадок цілодобового використання системи без затінь та випадок переміщення потяга на відстань 17 км із тимчасовими затіненнями від об'єктів, що розташовані вздовж залізниці. Встановлено, що травні ефективність генерування електроенергії складає 90 % від липневої.

8. Отримано зміну ефективності роботи фотоелектричного модуля для двох днів у році з врахуванням зміни випромінювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Паловці Д.Ф. 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 85-86.

2. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.

3. Rail HVAC. Режим доступу <https://europe.thermoking.com/rail-hvac>

4. Коваль В. П. Енергоефективність системи позиціонування фотоелектричних батарей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, Ю. О. Пилипчук // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том 3. — С. 139.

5. Герега С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей / Степан Герега, 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. 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.

7. 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.

8. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing / Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin // ICAAEIT 2021, 15-17 December 2021. — Tern.: TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk“» LLC, 2021. — P. 14–19.

9. 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.

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. Філюк Я. О. Автономне живлення зовнішнього освітлення з використанням світлодіодних джерел світла / Ярослав Філюк, Вадим Коваль // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 19–21 травня 2015 року — Т. : ТНТУ, 2015 — С. 191-192.

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

13. Енергоощадна інтелектуальна система керування механічною системою / Богдан Оробчук, Іван Сисак, Ярослав Осадца, Вадим Коваль, Сергій Бабюк // МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 128–130. — (Прикладні застосування механіки в задачах енергозбереження).

14. Green, M. A. (2003). Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion—Springer. *Berlin.*—2003.—160 p.

15. Керя Ю.Б. Роль системи накопичення енергії у електроенергетичній системі //Ю.Б.Керя, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих

учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 68.

16. Стельмах С.С. Енергоефективність гідроакумуючих установок малої потужності // С.С.Стельмах, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 71.

17. 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.

18. Bohdan Orobchuk, Oleh Buniak, Ivan Sysak, Serhii Babiuk, Ihor Bodnarchuk, Vadym Koval (2024) Development of Software for the Implementation of Automated Reserve Input Modes Operation. 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 12-14, Vol. 3742, Pages 316-336.

19. Робота фотоелектричної станції на основі гібридного інвертора з різною ємністю системи накопичення електроенергії. Коваль, В., Оробчук, Б., Буняк, О., Гетманюк, В. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. 343(6(1), (2024). С. 208-214.

20. .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.

21. Rozenblat, “Analysis Of A Photovoltaic System: A Case Study.,” *Int. J. Renew. Energy Dev.*, Vol. 3, Pp. 65–73, 2017

22. Arsie, I., Rizzo, G., & Sorrentino, M. (2008). A model for the optimal design of a hybrid solar vehicle. *Review of automotive engineering*, 29, 439-447.
23. Akinyele, D., Belikov, J., & Levron, Y. (2017). Battery storage technologies for electrical applications: Impact in stand-alone photovoltaic systems. *Energies*, 10(11), 1760.
24. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник/ В.Ц.Жидецький, В.С Джигирей, О.В.Мельников. – Вид. 5-те, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.
25. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «цивільна безпека»/ автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.