

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЙ ТА ТРАНСПОРТУ
(назва факультету)
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І ФІЗИКИ
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
першого(бакалаврського) рівня вищої освіти
(рівень вищої освіти)

На тему: «Розробка фотоелектричної системи для приватного
житлового будинку в с. Кочубеївка Бериславського району Херсонської
області»

Виконав: студент 4 курсу групи 4зЕЛ

спеціальності 141. Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)

освітньо-
професійної
програми Електротехніка та
електротехнології
(назва ОПП)

Сільчик І.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц. Курак В.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доц. Мєшков Ю.Є.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота на тему «Розробка фотоелектричної системи для приватного житлового будинку в с. Кочубеївка Бериславського району Херсонської області» включає в себе пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка містить 70 сторінок формату А4, 17 рисунків, 9 таблиць, 29 використаних джерел, 14 слайдів електронної презентації.

Ключові слова: електрична енергія, гібридна фотоелектрична система, фотоелектричний модуль, сонячна інсоляція, гібридний інвертор, акумуляторна батарея.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці фотоелектричної системи для приватного житлового будинку, яка повинна забезпечити потребу об'єкту в електричній енергії з можливістю передачі надлишку генерованої енергії в загальну електричну мережу, а також резервне живлення основних електроспоживачів на період аварійних відключень централізованої мережі.

В роботі розглянуто основні етапи розрахунку фотоелектричної системи, а саме: визначено добову потребу об'єкта в електричній енергії, необхідну ємність акумуляторної батареї, сонячну інсоляцію для місця розташування об'єкту, потрібну кількість фотоелектричних модулів. Підібрано обладнання для фотоелектричної системи, запропоновано схему її підключення до електромережі. Оцінено баланс між виробленням і споживанням енергії протягом типового року, визначено надлишок генерованої електричної енергії для продажу в загальну електромережу.

У розділі «Охорона праці» розглянуто основні положення охорони праці, що регламентують забезпечення безпечних і здорових умов праці на підприємствах. Проаналізовано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що можуть виникати у виробничому середовищі, приділено особливу увагу питанню виробничого освітлення.

ABSTRACT

The diploma thesis on the topic "Development of a photovoltaic system for a private residential building in the village of Kochubeivka of Beryslav district of Kherson region" includes an explanatory note and a graphical part. The explanatory note contains 70 pages of A4 format, 17 figures, 9 tables, 29 references, and 14 slides of an electronic presentation.

Keywords: electric energy, hybrid photovoltaic system, photovoltaic module, solar insolation, hybrid inverter, battery.

The qualification work is dedicated to the development of a photovoltaic system for a private residential building, which should provide the facility's need for electrical energy with the ability to transfer excess generated energy to the general electrical grid, as well as backup power supply for main electricity consumers during emergency shutdowns of the centralized grid.

The thesis considers the main stages of calculating a photovoltaic system, namely: the daily need of the facility for electrical energy, the required capacity of the battery, solar insolation for the location of the facility and the required number of photovoltaic modules. Equipment for the photovoltaic system is selected, a scheme for its connection to the power grid is proposed. The balance between energy generation and consumption during a typical year is assessed, and the surplus of generated electrical energy for sale to the general power grid is determined.

In "Labor Protection" section the main provisions of occupational safety that regulate the provision of safe and healthy working conditions at enterprises were examined. The main dangerous and harmful factors that may arise in the industrial environment are analyzed, with special attention paid to the industrial lighting.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА	6
1.1 Способи перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію	6
1.2 Типи та структура індивідуальних фотоелектричних установок	9
1.3 Переваги та недоліки фотоелектричних установок різних типів	12
1.4 Висновки	13
2. МЕТОДИЧНА ЧАСТИНА.....	15
2.1 Методика розрахунку добового споживання електричної енергії об'єктом	15
2.2 Методика розрахунку надходження сонячної енергії до фотоелектричних модулів.....	16
2.3 Методика розрахунку необхідної встановленої потужності фотоелектричних модулів.....	20
2.4 Методика розрахунку необхідної ємності акумуляторної батареї	22
2.5 Підходи щодо вибору обладнання для компонування фотоелектричної системи	25
2.6 Висновки	27
3. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....	28
3.1 Опис об'єкта, що досліджується.....	28
3.2 Розрахунок та аналіз добового споживання електричної енергії об'єктом в розрізі типового року	31
3.3 Вибір можливого місця розташування та просторової орієнтації фотоелектричних модулів.....	34
3.4 Розрахунок середнього добового надходження сонячної радіації до поверхні модулів в розрізі типового року.....	34
3.5 Розрахунок необхідної встановленої потужності фотоелектричних модулів.....	35

3.6 Розрахунок необхідної ємності акумуляторної батареї	36
3.7 Вибір обладнання для фотоелектричної системи	38
3.8 Розрахунок вироблення енергії фотоелектричною станцією та енергетичного надлишку в розрізі року	45
3.9 Розробка схеми підключення обладнання фотоелектричної станції.....	47
3.10 Висновки.....	50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	52
4.1 Загальні положення.....	52
4.2 Небезпечні та шкідливі фактори	53
4.3 Освітлення та його різновиди	57
4.3 Висновки	63
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

ВСТУП

Надійність електрозабезпечення побутових споживачів в умовах масштабних атак на енергетичну інфраструктуру України може бути підвищена за рахунок більш широкого впровадження об'єктів розосередженої генерації, зокрема, і на основі відновлюваних джерел, як-то енергії вітру і Сонця.

Використання енергії Сонця для електрозабезпечення домогосподарств є більш доступним, ніж вітроенергетичного ресурсу, оскільки фотоелектричні станції не мають суттєвих жорстких обмежень щодо площ, придатних для їх монтажу, дозволяють в широких межах варіювати потужність встановленого масиву фотоелектричних модулів, забезпечують безшумність роботи, потребують мінімального обслуговування. У зв'язку з цим, індивідуальні фотоелектричні системи отримали значно більше поширення як об'єкти розподіленої електричної генерації у приватних домогосподарствах, ніж вітроенергетичні установки.

Мета роботи – розробити фотоелектричну систему для забезпечення потреб в електричній енергії приватного житлового будинку, розташованого в с. Кочубеївка Бериславського району Херсонської області.

Об'єкт дослідження: гібридна фотоелектрична система для електрозабезпечення приватного житлового будинку.

Предмет дослідження: енергетичні та електричні параметри гібридної фотоелектричної системи.

Задачі дослідження:

- Визначити і проаналізувати споживання електричної енергії приватним житловим будинком.
- Визначити поверхні, придатні для монтажу фотоелектричних модулів, та розрахувати надходження сонячної енергії до масиву модулів.
- Підібрати обладнання для комплектації фотоелектричної станції з електричними параметрами, що забезпечили б задану тривалість автономної

роботи.

- Розрахувати енергетичні параметри розробленої фотоелектричної станції та оцінити очікуваний надлишок енергії, що може бути переданий в мережу.

- Запропонувати схему підключення фотоелектричної станції до електричної мережі.

- Проаналізувати питання охорони праці на робочому місці.

Методи дослідження: розрахунковий метод, аналіз та узагальнення отриманих результатів.

1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

1.1 Способи перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію

В літературних джерелах описано кілька поширених на сьогодні способів отримання електричної енергії з енергії сонячного випромінювання:

- 1) термодинамічний спосіб [1,2];
- 2) термоелектричний спосіб [3-5];
- 3) фотоелектричний спосіб [6,7].

В установках, принцип дії яких базується на термодинамічному способі, сонячне випромінювання концентрується на приймачі, що містить в своєму об'ємі теплоносії, в результаті чого цей теплоносії нагрівається до високої температури і використовується в тепловій машині або турбіні в якості робочого тіла, яка й призводить до обертання вал електрогенератора [1]. Цей спосіб отримання електроенергії містить декілька стадій перетворення первинної сонячної енергії, причому ключовою проміжною стадією в ланцюзі перетворень є отримання теплової енергії. Типовим прикладом реалізації термодинамічного способу є баштові сонячні електростанції, які можуть розглядатися як модифікація класичної теплової електростанції, де відбулася заміна викопного палива на енергією потоку сонячного випромінювання [8]. Головним недоліком таких термодинамічних сонячних електростанцій є велика кількість стадій в ланцюзі перетворення первинної сонячної енергії в електричну, що призводить до низької ефективності процесу перетворення в цілому (до 20%). Незважаючи на це, приклади успішної комерційної експлуатації таких сонячних електростанцій існують в регіонах, багатих на сонячний ресурс, зокрема, у США (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Баштова сонячна електростанція «Solar -1» [8]

Термоелектричний спосіб потенційно здатний забезпечити вищу ефективність перетворення сонячної енергії, аніж термодинамічний, за рахунок скорочення кількості проміжних стадій перетворення енергії. В фототермоелектричних генераторах застосовується пластина абсорбера, що поглинає сонячне випромінювання і перетворює світлову енергію на теплоту. Теплова енергія абсорбера передається до гарячих спаїв термоелектричних перетворювачів, що працюють на ефекті Зеебека – виникненні електрорушійної сили та струму у замкненому колі, що утворене гілками з різнорідних за хімічним складом провідників або напівпровідників протилежного типу провідності, при створенні різниці температур між спаями цих різнорідних матеріалів [3]. Теоретично доведено, що ефективність таких перетворювачів енергії сонячного випромінювання в електрику може суттєво перевищувати 20%. Втім, на практиці досягаються набагато скромніші значення, які зазвичай менші 10%, що стримує поширення цього способу, а дослідження в напрямку

збільшення ефективності фототермoeлектричних перетворювачів все ще продовжуються [5].

В фотоелектричному способі відбувається пряме перетворення енергії сонячного випромінювання в електрику, без проміжних стадій перетворення енергії. Тут реалізується фотовольтаїчний ефект в напівпровідникових бар'єрних структурах [6-8]. Фотони сонячного випромінювання з енергією, не меншою за ширину забороненої зони напівпровідника, поглинаються в напівпровідниковій структурі з утворенням вільних носіїв заряду – електронів і дірок. Ці носії заряду, які мають протилежні знаки, просторово розділяються полем бар'єру, що призводить до виникнення різниці потенціалів між електродами, приєднаними до напівпровідникових шарів, та виникненню електричного струму в зовнішньому колі у випадку замикання електродів через електричне навантаження [7,8]. Найчастіше в напівпровідникових фотоелектричних перетворювачах (ФЕП) в ролі бар'єрної структури використовується р-п- перехід (рис. 1.2).

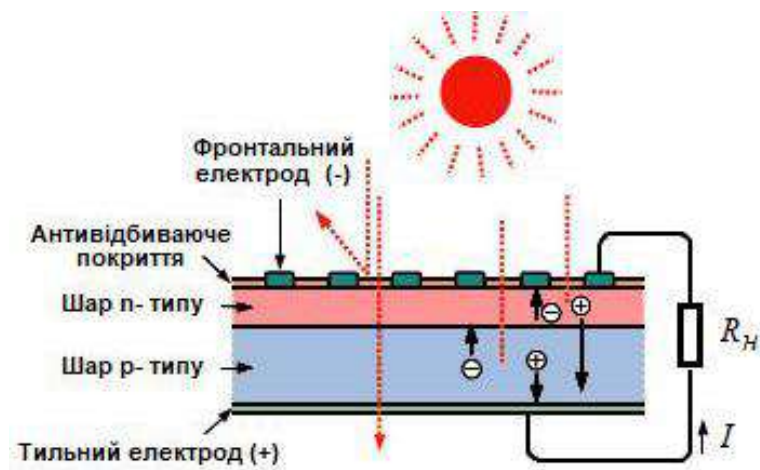


Рисунок 1.2 – Фотовольтаїчний ефект в р-п- переході [8]

Найпоширенішим напівпровідниковим матеріалом для виготовлення ФЕП на даний час є кремній. Сучасні серійні кремнієві ФЕП демонструють ефективність перетворення енергії сонячного

випромінювання в електричну енергію на рівні 24%, а рекордна їх ефективність становить понад 27% [9]. Порівняно висока ефективність перетворення, безшумність роботи, висока надійність та мінімальне обслуговування призвели до того, що на сьогоднішній день фотовольтаїчний спосіб став домінуючим способом перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію.

1.2 Типи та структура індивідуальних фотоелектричних установок

Фотоелектричні установки для індивідуального використання можна поділити на наступні групи [10]:

1) *Автономні фотоелектричні установки.* Цей тип установок застосовують переважно з метою електрозабезпечення віддалених від ліній електропередач об'єктів, у мобільних системах для живлення і підзарядки пристроїв в польових умовах, живлення вуличних ліхтарів, підсвічування дорожніх вказівників, тощо.

Головними компонентами таких автономних установок є накопичувачі електроенергії – акумуляторні батареї (АКБ), контролер заряду АКБ, інвертор, масив модулів ФЕП та захисну автоматику (рис. 1.3).

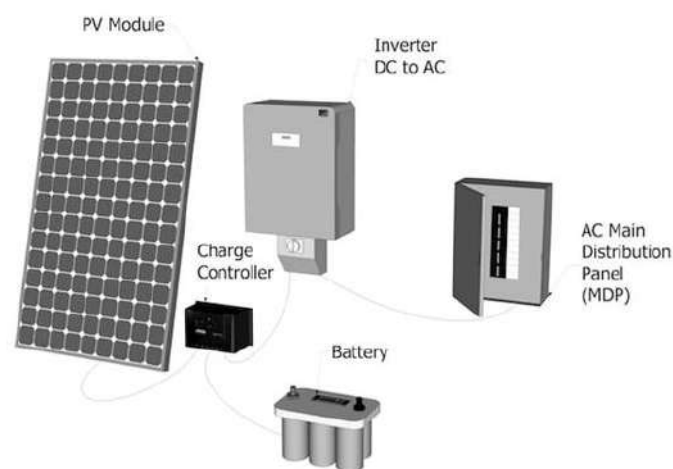


Рисунок 1.3 – Типова структура автономної фотоелектричної установки

В автономній системі енергія, що генерується модулями ФЕП, розташованими на даху будинку або на наземній конструкції, надходить на контролер заряду, який керує режимами заряду АКБ задля уникнення перезаряду. Режими заряду налаштовуються у контролері в залежності від типу приєднаної АКБ. Інвертор виконує функцію перетворення постійного струму, джерелом якого є АКБ, у змінний, потрібний для живлення більшості побутових пристроїв. Потужність інвертора обирається так, щоб забезпечити одночасну роботу всіх електричних приладів, що працюють паралельно. Переважна більшість інверторів для індивідуальних фотоелектричних установок, що нині представлені на ринку, мають вже вбудований контролер заряду АКБ [11].

Для захисту від короткого замикання і перенапруги система комплектується захисною автоматикою, яка розташовується в розподільних щитках і складається із запобіжників, обмежувачів перенапруги, роз'єднувачів [8].

2) *Мережеві фотоелектричні установки.* Такі установки будуються в основному як комерційний проєкт для продажу надлишку виробленої електричної енергії за "зеленим" тарифом. Діючим законодавством передбачено, що для власників приватних домогосподарств потужність таких установок не має перевищувати 30 кВт.

Мережеві фотоелектричні установки містять у своєму складі масив модулів ФЕП, мережевий інвертор та захисну автоматику (рис. 1.4). Для роботи мережевої станції за «зеленим» тарифом потрібне підключення до загальної електромережі через двонаправлений лічильник. Оскільки в мережевій фотоелектричній системі відсутня АКБ, вся вироблена нею електроенергія витрачається в першу чергу на живлення власного навантаження об'єкту, а наявний надлишок генерованої енергії може бути переданий в загальну електромережу за «зеленим» тарифом [12].

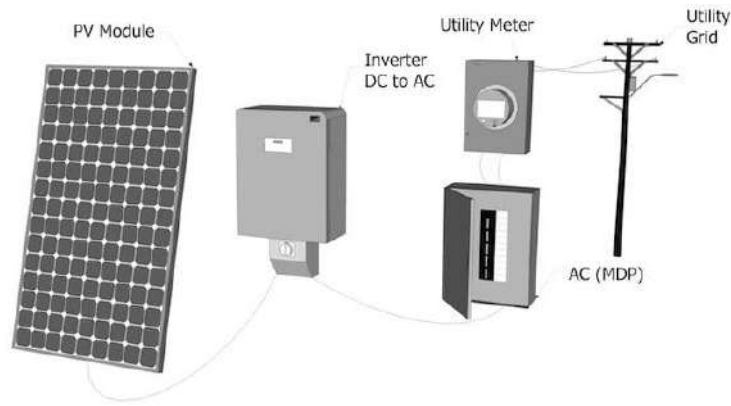


Рисунок 1.4 – Типова структура мережної сонячної електростанції

3) *Гібридні фотоелектричні установки.* Фотоелектричні установки цього типу поєднують функції як автономних, так і мережевих систем. Вони забезпечують надійне резервування об'єктів, що стикаються з частими перебоями в централізованому енергопостачанні.

До складу гібридної фотоелектричної установки входить АКБ, гібридний сонячний інвертор, масив фотоелектричних модулів та пристрої захисної автоматики (рис. 1.5). Приєднання такої установки до загальної електромережі здійснюється, як і у випадку мережевої системи, через двонаправлений лічильник.

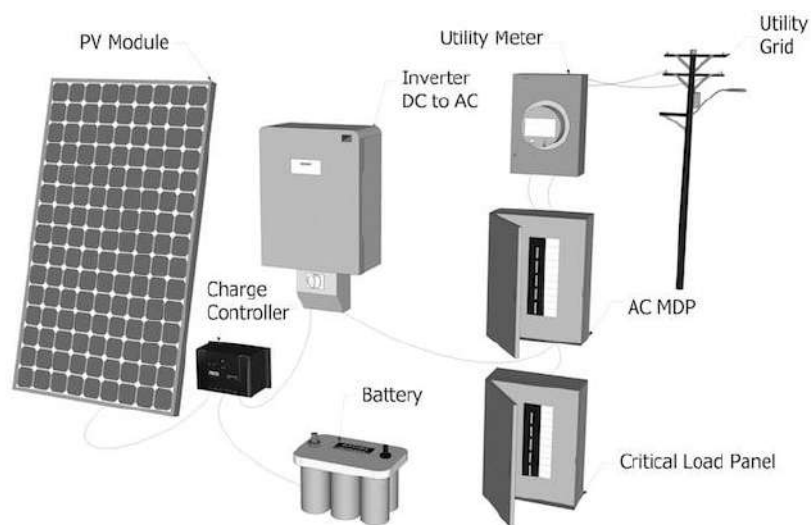


Рисунок 1.5 – Типова структура гібридної сонячної електростанції

Програмування режимів роботи в налаштуваннях гібридного інвертора забезпечує найбільш оптимальне керування енергією. Так, в нічний період навантаження може житись або від АКБ, або мережі. В денний період за умов наявності надлишкової генерації, наявні надлишки енергії можна передавати в загальну енергосистему за «зеленим» тарифом [13].

1.3 Переваги та недоліки фотоелектричних установок різних типів

Кожен з перелічених типів фотоелектричних установок має свої переваги і недоліки з огляду на їх енергетичні та економічні показники.

Автономна фотоелектрична установка за своєю структурою внаслідок відсутності зв'язку із зовнішньою електричною мережею не дозволяє передавати надлишок виробленої енергії до централізованої мережі. Разом з тим, відсутність взаємодії із мережею у випадку автономної системи забезпечує цілковиту незалежність об'єкту від аварійних та стабілізаційних відключень. Також до автономних систем не застосовуються обмеження за їх потужністю й уникаються витрати, пов'язані з підключенням установок сонячної генерації до мережі [14].

Мережева фотоелектрична установка. Мережеві фотоелектричні станції призначаються, в першу чергу, для самозабезпечення об'єкту в електричній енергії та продажу надлишку генерованої енергії в мережу за «зеленим» тарифом. При порівнянні встановленої потужності відрізняються від фотоелектричних установок інших типів мінімальними необхідними капіталовкладеннями за рахунок відсутності в їх комплектації АКБ та меншими середніми цінами на мережеві інвертори, але потребують витрат на підключення до централізованої мережі. Діє обмеження на максимальну встановлену потужність мережевих фотоелектричних установок приватних домогосподарств, що не має перевищувати 30 кВт і повинна узгоджуватись з договірною споживаною потужністю об'єкта. Мережеві фотоелектричні станції не можуть працювати без зовнішньої електричної мережі, оскільки їх

інвертори керуються саме мережею. У зв'язку з цим, у періоди аварійних чи стабілізаційних відключень мережі такі станції не здатні забезпечувати енергопотребу об'єктів. Мережеві фотоелектричні установки окуповуються найшвидше з типовим терміном окупності від 3 до 5 років [12,13].

Гібридна фотоелектрична установка є найбільш гнучким варіантом фотоелектричної станції, оскільки надає можливість як продавати надлишок генерованої енергії в централізовану мережу, так і забезпечувати потребу домогосподарства в електриці у разі аварійних чи стабілізаційних відключень. Втім, капітальні витрати на встановлення гібридної станції є значними внаслідок потреби в АКБ та необхідності підключення до централізованої мережі задля реалізації надлишку енергії за «зеленим» тарифом. Вартість гібридної фотоелектричної установки суттєво залежить від ємності встановленої АКБ, що має забезпечити автономність електроживлення об'єкту протягом заданого проміжку часу [8,13].

1.4 Висновки

Найбільш поширеним способом перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію є фотовольтаїчний спосіб, що реалізується з використанням напівпровідникових фотоелектричних перетворювачів.

Для енергозабезпечення індивідуальних споживачів електричною енергією можливим є застосування трьох типів фотоелектричних установок: автономних, мережевих або гібридних.

В умовах частих аварійних та стабілізаційних відключень безперебійне електрозабезпечення домогосподарства може бути реалізоване із застосуванням автономних або гібридних фотоелектричних установок. Втім, необхідність комплектування таких установок акумуляторними батареями призводить до значних капіталовкладень в ці системи, що погіршує їх економічні показники.

Гібридні фотоелектричні установки є найбільш гнучким варіантом організації індивідуальної фотоелектричної станції, оскільки надає можливість як продавати надлишок генерованої енергії в централізовану мережу за «зеленим» тарифом, так і забезпечувати потребу домогосподарства в електриці у разі аварійних чи стабілізаційних відключень.

2. МЕТОДИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Методика розрахунку добового споживання електричної енергії об'єктом

Розрахунок середнього добового споживання об'єкту може бути здійсненим із застосуванням двох підходів:

- на основі складання добового графіку використання наявних на об'єкті електричних споживачів відомої потужності;
- за даними фактичного споживання об'єктом електричної енергії з рахунків від енергопостачальної компанії.

Обидва підходи будуть тим точнішими, чим більший обсяг даних щодо електроспоживання об'єкту буде залучено до розрахунку середньої добової потреби. Так, у випадку застосування другого підходу варто аналізувати дані за період, не менший трьох останніх років.

При застосуванні першого підходу добова потреба в електроенергії за день з номером j розраховується з використанням наступної формули [8]:

$$W_{\text{доб.}j} = \sum (P_i \cdot t_i), \quad (2.1)$$

де P_i – потужність i -го електроприладу, Вт;

t_i – час роботи i -го приладу за добу, год.

Тобто, добове споживання електричної енергії обчислюється як сума добутків потужності на час роботи відповідного приладу за добу. Оскільки графіки використання електроприладів на об'єкті можуть суттєво різнитися між робочими та вихідними днями, то середнє добове споживання варто розраховувати на основі тижневого споживання електричної енергії $W_{\text{тиж.}}$:

$$W_{\text{доб.}} = \frac{W_{\text{тиж.}}}{7} = \frac{\sum_{j=1}^7 W_{\text{доб.}j}}{7}, \quad (2.2)$$

де індекс j нумерує дні протягом тижня.

Для розрахунку середньодобового споживання за відомим місячним обсягом спожитої електроенергії об'єктом $W_{\text{міс}}$ з рахунків від енергопостачальної компанії застосовується наступна формула:

$$W_{\text{доб.}} = \frac{W_{\text{міс.}}}{N}. \quad (2.3)$$

де $W_{\text{міс.}}$ – загальне споживання електроенергії об'єктом за місяць, кВт·год;

N – кількість днів у відповідному місяці.

Для повного покриття потреби об'єкта в електричній енергії від індивідуальної фотоелектричної установки потрібно виконання наступної умови:

$$W_{\text{вир.}} \geq W_{\text{доб.}}, \quad (2.4)$$

де $W_{\text{вир.}}$ – обсяг виробленої енергії фотоелектричною станцією протягом світлового дня.

Для цілодобового електрозабезпечення об'єкту від фотоелектричної установки і уникнення споживання електричної енергії з централізованої мережі частина енергії $W_{\text{вир.}}$ має бути накопичена в АКБ.

2.2 Методика розрахунку надходження сонячної енергії до фотоелектричних модулів

Першим етапом при розрахунку енергетичних параметрів фотоелектричних установок є визначення кількості променистої енергії, що

надходить з сонячним випромінюванням до поверхні модулів ФЕП протягом певного проміжку часу [15].

На показники сонячної інсоляції суттєвий вплив мають такі чинники, як кут нахилу модуля відносно горизонтальної поверхні, азимут приймальної поверхні, затінення оточуючими об'єктами, географічне розташування об'єкту та особливості його кліматичних умов, тощо [8].

В кліматичних довідниках та спеціалізованих базах даних, зазвичай, міститься інформація щодо середнього денного надходження сумарної $\bar{H}$ та дифузної $\bar{H}_d$ сонячної радіації на горизонтальну поверхню [16, 17]. Пряма ж складова сонячної радіації на горизонтальній поверхні $\bar{H}_b$ у відповідності до властивості адитивності енергії може бути знайдена як різниця між сумарною і розсіяною радіацією [8]:

$$\bar{H}_b = \bar{H} - \bar{H}_d. \quad (2.5)$$

Кількість сонячної радіації, що надходить на приймальну поверхню модулів ФЕП з довільною орієнтацією у просторі, розраховується, виходячи з геометрії надходження сонячних променів з урахуванням основних кутів, показаних на рис. 2.1, а саме: годинного кута ω , схилення Сонця δ та широти місця розташування точки на земній поверхні φ .

Годинний кут ω визначається локальним сонячним часом t [8]:

$$\omega = 15^\circ (t - 12), \quad (2.6)$$

де t – локальний сонячний час в даній місцевості, виражений у годинах.

У відповідності до [8], схилення Сонця δ у день з номером n , який відраховують від початку року, визначається наступною формулою:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right), \quad (2.7)$$

де n – порядковий номер дня, починаючи з 1 січня.

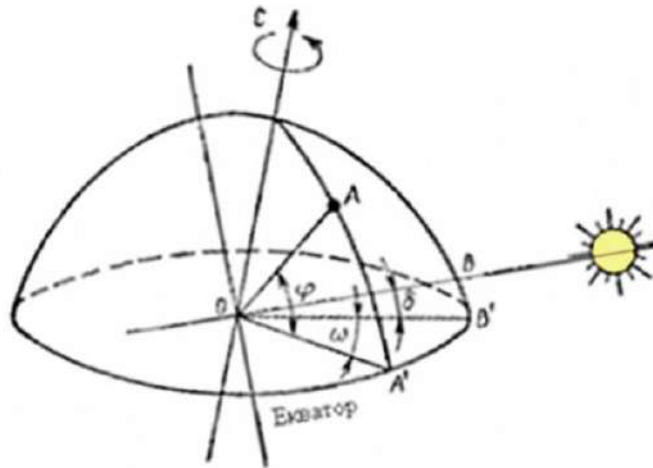


Рисунок 2.1 – Основні кути, що характеризують положення точки A на поверхні Землі відносно напрямку сонячних променів [8]

Для розрахунку надходження сонячної радіації на ділянку земної поверхні необхідно залучити три додаткові кути: зенітний кут z , кут висоти Сонця α та азимут Сонця θ (рис. 2.2).

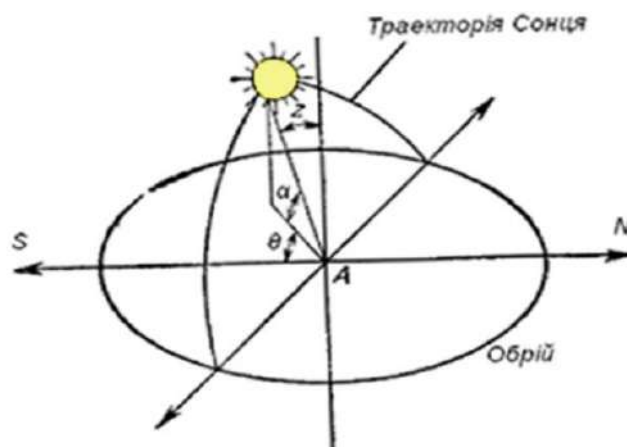


Рисунок 2.2 – Додаткові кути, що характеризують надходження сонячних променів на горизонтальну ділянку земної поверхні [8]

Орієнтацію приймача у просторі на горизонтальній ділянці земної поверхні задають наступними кутами: азимут поверхні θ_n , та кут нахилу поверхні β , який відраховують відносно горизонталі.

Азимут поверхні θ_n – це кут, який відраховується між напрямом на південь і проекцією нормалі цієї поверхні на горизонтальну площину і визначає положення поверхні приймача сонячного випромінювання відносно сторін світу. Для точно орієнтовані на південь приймальних поверхонь кут θ_n приймається таким, що дорівнює 0° .

Кут нахилу поверхні β – це кут між горизонтальною площиною та площиною приймальної поверхні.

Миттєве значення потоку сумарної сонячної радіації H_T на поверхню довільно орієнтованого у просторі приймача у відповідності до [8] може бути розраховане за формулою:

$$H_T = H_b \cdot R_b + H_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + (H_b + H_d) \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (2.8)$$

де H_d і H_b – розсіяна і пряма складові сонячної радіації на горизонтальній поверхні;

ρ – альбедо підстилаючої поверхні;

R_b – поправочний коефіцієнт для прямої радіації.

Поправочний коефіцієнт для прямої сонячної радіації R_b у виразі (2.8) визначається з врахуванням описаних вище основних і додаткових кутів:

$$R_b = \{ \cos \delta \cdot (\sin \beta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \theta_n \cdot \cos \omega + \sin \beta \cdot \sin \theta_n \cdot \sin \omega) - \sin \beta \cdot \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \theta_n + \cos \beta \cdot \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \cos \beta \cdot \sin \delta \cdot \sin \varphi \} / \{ \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta \}. \quad (2.9)$$

Для визначення середньомісячного денного надходження сумарної сонячної радіації на довільно орієнтовану у просторі приймальну поверхню

розрахунок здійснюється для середнього дня відповідного місяця. Середній розрахунковий день місяця є днем, для якого сонячна інсоляція відповідає середньомісячному денному її надходженню. Номери середніх розрахункових днів від початку року для кожного місяця наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Номери середніх розрахункових днів

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>n</i>	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344

Отже, для визначення середньомісячного денного надходження сонячної радіації до довільно орієнтованої поверхні приймача достатньо за формулою (2.8) визначити денне надходження сумарної сонячної радіації, маючи в своєму розпорядженні дані щодо годинного розподілу надходжень прямої і розсіяної складових сонячного випромінювання до горизонтальної поверхні протягом середнього розрахункового дня відповідного місяця. Значення щодо годинного розподілу H_d та H_b протягом середнього розрахункового дня місяця, а також альbedo підстилаючої поверхні ρ можна отримати з кліматичних довідників або погодних електронних баз даних для даної місцевості, наприклад, з [16] або [17].

Для виконання розрахунку середньомісячного денного надходження сонячної енергії до поверхні фотоелектричних модулів використовувалось середовище MS Excel, а також дані щодо сонячної інсоляції з електронної бази даних сайту NASA [17].

2.3 Методика розрахунку необхідної встановленої потужності фотоелектричних модулів

Встановлена потужність модулів ФЕП визначається їх кількістю в геліополі. В свою чергу, основним енергетичним параметром самого модуля

є його номінальна потужність P_w , визначена в стандартних умовах випробувань STC, що передбачають опромінення приймальної поверхні світловим потоком 1000 Вт/м^2 спектру AM1,5 при температурі модуля 25°C .

Розрахунок необхідної кількості модулів ФЕП і потужності геліополя базується на визначенні кількості енергії W_m , що виробляє один модуль з обраною номінальною потужністю P_w за характерний день місяця з надходженням сонячної радіації $\bar{H}_T$:

$$W_m = k_1 \cdot P_w \cdot \frac{\bar{H}_T}{1000}, \quad (2.10)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує температурні та оптичні втрати (0,5 у літній період, 0,7 у зимовий, 0,6 у весняний та осінній періоди);

$\bar{H}_T$ – добове надходження сонячної радіації до одиниці поверхні модуля, виражене у $\text{кВт} \cdot \text{год/м}^2$.

Втім, не вся вироблена модулем енергія передається до споживача у зв'язку з наявністю втрат у перетворювальних пристроях та кабелях. У зв'язку з цим, кількість корисної енергії, що виробляється модулем ФЕП, має бути розрахована шляхом множення величини W_m на коефіцієнт k_2 :

$$W_{m \text{ вир.}} = k_2 \cdot W_m, \quad (2.11)$$

де k_2 – коефіцієнт втрат, величина якого приймається на рівні 0,8.

Тоді мінімальна кількість модулів, необхідних для покриття добової потреби об'єкта в електричній енергії $W_{\text{доб.}}$, може бути визначена за формулою:

$$N = \frac{W_{\text{доб.}}}{W_{m \text{ вир.}}}. \quad (2.12)$$

При розрахунку кількості модулів N отримана величина округлюється до найближчого більшого цілого числа.

Встановлена потужність фотоелектричних модулів $P_{\text{фем}}$ розраховується як сума номінальних потужностей окремих модулів, що складають геліополе. У випадку, коли геліополе формується однаковими модулями ФЕП, розрахунок його встановленої потужності може бути здійснений за формулою:

$$P_{\text{фем}} = P_w \cdot N. \quad (2.13)$$

Площа масиву фотоелектричних модулів $S_{\text{фем}}$ є сумою площ модулів S_m у його складі. Якщо геліополе формують однотипні модулі, то загальна площа масиву розраховується за виразом:

$$S = S_m \cdot N, \quad (2.14)$$

де S_m – площа одного модуля у складі масиву.

Добове вироблення електричної енергії фотоелектричною установкою, що складається з N модулів ФЕП, може бути розраховане за формулою:

$$W_{\text{доб вир.}} = W_{\text{м вир.}} \cdot N. \quad (2.15)$$

2.4 Методика розрахунку необхідної ємності акумуляторної батареї

Для безперебійного електрозабезпечення об'єкта під час аварійних відключень централізованої електричної мережі доцільним є облаштування гібридної фотоелектричної установки, що оснащена акумуляторною батареєю як резервним джерелом енергопостачання.

При фіксованому електричному навантаженні час автономного живлення споживачів є пропорційним до ємності АКБ: чим вищою є номінальна ємність батареї, тим довший час автономного живлення.

Для безперебійного живлення навантаження з потребою у електричній енергії $W_{\text{спож.}}$ протягом часу аварійних відключень в централізованій мережі АКБ гібридної фотоелектричної установки повинна забезпечити наступну ємність [8]:

$$C = W_{\text{спож.}} / U_n, \quad (2.16)$$

де U_n – напруга установки по стороні постійного струму.

Кожна електрохімічна система характеризується максимальною глибиною розряду, яку не слід перевищувати для забезпечення тривалої експлуатації АКБ. Так, для літій-іонних АКБ допустима глибина розряду становить 80%, для акумуляторів свинцево-кислотної групи – до 50%. У загальному випадку, якщо допустима глибина розряду АКБ становить γ , то необхідна ємність батареї складатиме:

$$C_\gamma = C / \gamma. \quad (2.17)$$

Реальна ємність АКБ залежить від температури, у зв'язку з чим до величини ємності, розрахованої за рівнянням (2.17), необхідно увести поправку α , що враховує зменшення ємності АКБ при зниженні температури:

$$C_{\text{необх.}} = \alpha \cdot C_\gamma. \quad (2.18)$$

Таблиця 2.2 – Величина температурного коефіцієнту ємності [8]

$T, ^\circ\text{C}$	26,7	21,2	15,6	10	4,4	-1,1	-6,7
α , од.	1	1,04	1,11	1,19	1,30	1,40	1,59

Необхідну кількість паралельно включених гілок в батареї розраховують, виходячи з необхідної ємності акумуляторної установки $C_{\text{необх.}}$ та номінальної ємності $C_{\text{ном.}}$ окремих акумуляторів, що складають батарею, за виразом:

$$N_{\text{пар.}} = C_{\text{необх.}} / C_{\text{ном.}} \quad (2.19)$$

Значення $N_{\text{пар.}}$ округлюють до найближчого більшого цілого числа.

Необхідну кількість послідовно з'єднаних акумуляторів у кожній з паралельних гілок розраховують, виходячи з напруги установки U_n та номінальної напруги акумулятора $U_{\text{ном.}}$:

$$N_{\text{посл.}} = U_n / U_{\text{ном.}} , \quad (2.20)$$

округлюючи отриманий результат до найближчого більшого цілого числа.

Загальна кількість акумуляторів, необхідна для складання АКБ, становить:

$$N_{\text{заг.}} = N_{\text{посл.}} \cdot N_{\text{пар.}} , \quad (2.21)$$

а загальна ємність батареї $C_{\text{заг.}}$, що отримується, визначається кількістю паралельно включених акумуляторних гілок:

$$C_{\text{заг.}} = C_{\text{ном.}} \cdot N_{\text{пар.}} , \quad (2.22)$$

Струм розряду АКБ під час аварійних відключень централізованої мережі залежить від ємності батареї і часу її розрядження $t_{\text{роз.}}$ і може бути оцінений за формулою:

$$I_p = \frac{C_{\text{зар.}}}{t_{\text{роз.}}} \quad (2.23)$$

Потужність зарядного пристрою установки $P_{\text{зар.}}$, що має забезпечити заряджання АКБ, визначається за рівнянням:

$$P_{\text{зар.}} = N_{\text{зар.}} \cdot I_{\text{зар.}} \cdot U_{\text{ном.}}, \quad (2.24)$$

де $I_{\text{зар.}}$ – струм заряджання акумулятора в складі батареї.

Струм заряджання акумулятора $I_{\text{зар.}}$ обирається в залежності від типу його електрохімічної системи. Так, для АКБ свинцево-кислотної групи він має становити від 10% до 25% від величини номінальної ємності акумулятора, а для літій-іонних батарей – від 50% до 100% від ємності.

2.5 Підходи щодо вибору обладнання для компонування фотоелектричної системи

При виборі обладнання для компонування гібридної фотоелектричної установки потрібно звертати особливу увагу на сумісність параметрів окремих компонент системи, зокрема, масиву модулів ФЕП та гібридного інвертора, гібридного інвертора та акумуляторної батареї, а також гібридного інвертора із зовнішньою електричною мережею та електричними споживачами на об'єкті.

При виборі фотоелектричних модулів варто звернути першочергову увагу на їх номінальну потужність. Пріоритетним є вибір потужних високоефективних модулів ФЕП, якщо поверхні об'єкту дозволяють здійснити їх монтаж. Вибір потужних модулів дозволить зменшити їх кількість у фотоелектричному масиві, підвищить надійність системи за рахунок зменшення кількості електричних з'єднань, а також досягти за інших рівних умов певної економії на капітальних витратах в порівнянні з

системами на основі модулів ФЕП меншої потужності.

Найбільш поширеними на сьогодні типами модулів ФЕП є модулі на основі моно- і полікристалічного (мультикристалічного) кремнію [8]. Модулі на основі монокристалічного кремнію мають вищу ефективність перетворення енергії сонячного випромінювання, більший термін служби, втім є дещо дорожчими в порівнянні з полікристалічними модулями. Полікристалічні модулі краще перетворюють низькоінтенсивні потоки сонячного випромінювання, зокрема, розсіяну складову, що робить доцільним їх використання в регіонах з більш хмарними погодними умовами.

Сумарна встановлена потужність геліополя має корелювати з максимальною потужністю фотоелектричного входу інвертора. Допускається незначне перевищення потужності підключеного фотоелектричного масиву над максимальною потужністю входу інвертора (в середньому на 20%), що дозволяє максимізувати пікове вироблення енергії і врахувати природну деградацію панелей протягом терміну експлуатації установки [18]. Втім, не можна допускати перенапруги стрінгу, у зв'язку з чим при проєктуванні потрібно враховувати температурні ефекти, пов'язані зі збільшенням напруги модулів при низьких температурах оточуючого середовища в зимовий період.

При виборі гібридного інвертора першочергово потрібно звертати увагу на такі його параметри, як електрична потужність по стороні змінного струму, кількість фаз підключення, максимальна приєднана потужність масиву фотоелектричних модулів, максимально допустимі напруга і струм стрінгів, кількість таких стрінгів, кількість MPPT-контролерів, робочий діапазон напруг MPPT-контролерів, параметри АКБ (тип електрохімічної системи, рівні напруги і струмів), кількість батарейних груп, потужність інвертора по стороні постійного струму, його енергетична ефективність, тощо. Важливою є також гнучкість налаштувань інвертора, що дозволить оптимізувати режими використання енергії від фотоелектричного масиву, мережі і АКБ встановленням відповідних пріоритетів.

При виборі АКБ варто першочергово звернути увагу на електрохімічну систему, застосовану у батареї, здатність інвертора працювати з акумуляторами цієї системи. Доволі часто сучасні інвертори можуть працювати з АКБ декількох електрохімічних систем, втім деякі інвертори потребують застосування саме акумуляторних збірок рекомендованого типу. Насьогодні найбільшого поширення в гібридних фотоелектричних установках отримали спеціалізовані АКБ свинцево-кислотної групи, такі як AGM, та акумулятори LiFePO_4 . Останні мають більший ресурс і допустиму глибину розряду, втім є дорогими.

Вибір номінальної напруги шини постійного струму також є важливим моментом, на який варто звертати увагу: вищий рівень напруги дозволяє зменшити струми в колах постійного струму, а отже, мінімізувати електричні втрати.

2.6 Висновки

Представлено методики розрахунків добової потреби об'єкта в електричній енергії, середньомісяного денного надходження сонячної енергії до поверхні фотоелектричних модулів, необхідної встановленої потужності фотоелектричного масиву, ємності акумуляторної батареї та параметрів зарядного пристрою АКБ.

Описано підходи щодо вибору основного обладнання гібридної фотоелектричної установки.

3. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис об'єкта, що досліджується

Об'єктом, для якого розробляється гібридна фотоелектрична система, є будинок садибного типу, розташований в с. Кочубеївка, Бериславського району Херсонської області. Географічні координати об'єкта становлять $47,492629^{\circ}$ пн. ш., $33,211612^{\circ}$ сх. д. (рис. 3.1).

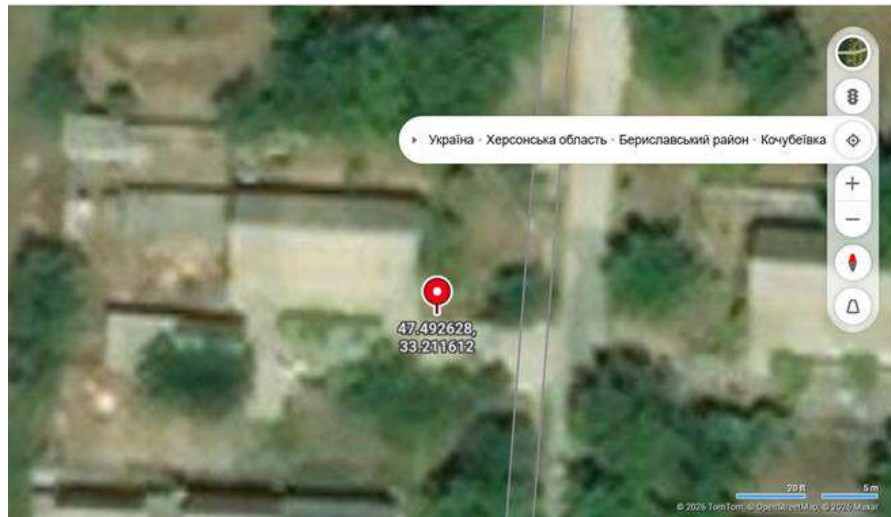


Рисунок 3.1 – Супутниковий знімок території об'єкта [19]

На території об'єкту розташовані житловий будинок площею $150,9 \text{ м}^2$ (рис. 3.2, позиція А), гараж площею $46,8 \text{ м}^2$ (позиція Б), підвал площею $12,6 \text{ м}^2$ (позиція В), два сараї (позиції Г та Д) площами $22,4 \text{ м}^2$ та $21,8 \text{ м}^2$, відповідно, а також інші некапітальні споруди.

Об'єкт підключено до централізованої електричної мережі напругою 220 В через однофазний лічильник (рис. 3.3). Договірна потужність приєднання є стандартною і становить 5 кВт.

Опалення житлового будинку здійснюється газовим котлом з природньою циркуляцією теплоносія.

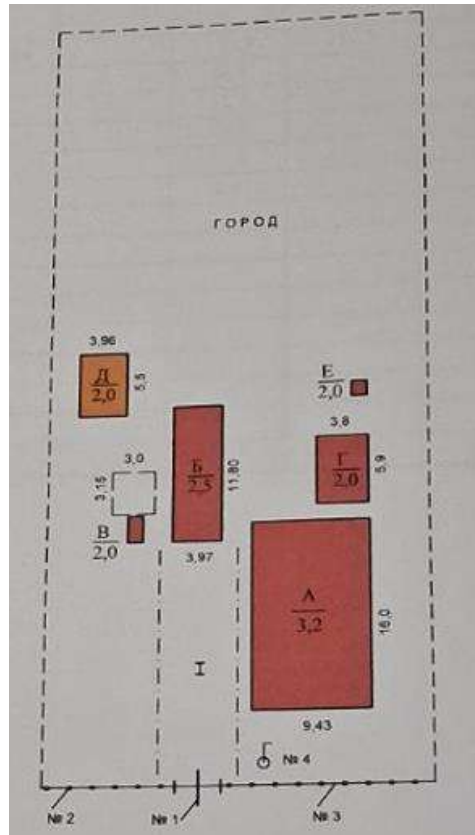


Рисунок 3.2 – Схема розташування будівель і споруд на території об'єкта



Рисунок 3.3 – Лічильник електричної енергії

Житловий будинок є одноповерховим з прибудованою верандою (рис. 3.4). Стіни виконані з цегли, перекриття – дерев'яні балки, матеріал покрівлі – шифер. Покрівля має 3 скати: північний скат площею 66 м^2 над житловою частиною будинку під кутом 40° до горизонту, південний скат площею 55 м^2 над житловою частиною будинку під кутом 40° , а також південний скат над верандою площею 53 м^2 під кутом 10° до горизонту.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд житлового будинку

Гараж, що займає на території об'єкту другу за величиною площу, побудований з цегли, має перекриття з дерев'яних балок та шиферний двоскатний дах (рис. 3.5). Кут нахилу південного та північного скату даху гаражу площею 31 м^2 кожен становить 40° відносно горизонту.

Господарські споруди – два сараї – побудовані з цегли, мають односкатні дахи з дерев'яним перекриттям. Покриття сараю Г є шиферним, сараю Д – черепичним. Надбудова підвалу має монолітне перекриття з шиферним дахом.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд гаража

3.2 Розрахунок та аналіз добового споживання електричної енергії об'єктом в розрізі типового року

Електричне навантаження об'єкту формується наступними споживачами, що живляться від однофазної мережі змінного струму напругою 220 В:

- 1) фен споживаною потужністю 2000 Вт;
- 2) електричний бойлер номінальною потужністю 1500 Вт;
- 3) пральна машина споживаною потужністю 1500 Вт;
- 4) електричний чайник потужністю 1500 Вт;
- 5) кондиціонер номінальною потужністю 1300 Вт;
- 6) мікрохвильова піч потужністю 1200 Вт;
- 7) пиросос потужністю 1200 Вт;
- 8) холодильник зі споживаною потужністю 400 Вт;
- 9) телевізор з ресивером супутникового телебачення сумарною потужністю 100 Вт;
- 10) зарядні пристрої ноутбука та смартфонів, а також автомобільного акумулятора сумарною потужністю 200 Вт;

11) система освітлення зі світлодіодними лампами сумарною споживаною потужністю 100 Вт;

12) Wi-Fi роутер потужністю 15 Вт.

Сумарна потужність перелічених споживачів електричної енергії об'єкту становить 11015 Вт. Втім, вказані споживачі електричної енергії не використовуються всі одночасно, і з урахуванням типового коефіцієнту одночасності для будинків садибного типу, що становить 0,75 [20], максимальна споживана потужність об'єкту становитиме:

$$P_{max} = 0,75 \cdot 11015 = 8261 \text{ Вт}, \quad (3.1)$$

що перевищує договірну потужність об'єкту, встановлену на рівні 5 кВт.

Розподіл середнього споживання електричної енергії об'єктом за місяцями, який було визначено на основі аналізу рахунків від енергопостачальної компанії протягом 2023 – 2025 років, представлено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розподіл середнього споживання електроенергії за місяцями

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$W_{\text{міс.}}$ кВт·год.	210	195	202	200	198	180	185	190	197	180	210	220

Як показує аналіз табл. 3.1, середньорічне споживання електричної енергії загальним обсягом 2367 кВт·год доволі рівномірно розподілене за місяцями, що пов'язано з використанням системи опалення з природною циркуляцією, котел якої не потребує використання електричної енергії. Незначне зменшення споживання у літні місяці може бути пояснене

збільшенням тривалості світлового дня і, відповідно, зменшенням часу використання системи освітлення на об'єкті.

В табл. 3.2 наведено результати розрахунку середньої добової потреби об'єкта в електричній енергії, розрахованої у відповідності до виразу (2.3).

Таблиця 3.2 – Середня добова потреба об'єкта в електроенергії у відповідні місяці

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$W_{\text{доб.}}$ кВт·год.	6,77	6,96	6,52	6,67	6,39	6,0	5,97	6,13	6,57	5,81	7,0	7,09

Аналіз табл. 3.2 показує, що найбільша добова потреба в електричній енергії спостерігається у грудні, що має найменшу тривалість світлового дня. Середньодобова потужність споживачів електричної енергії для місяця грудня становить:

$$P_c = 7,09/24 = 0,3 \text{ кВт}, \quad (3.2)$$

що є значно меншим від максимальної потужності, отриманої при розрахунках за виразом (3.1), а також договірної потужності об'єкта. Це дає можливість стверджувати, що перевищення договірної потужності при діючому режимі використання електричних приладів даним домогосподарством є малоімовірним.

В графіку електропостачання об'єкту трапляються аварійні відключення централізованої мережі тривалістю до 6 годин поспіль. Оскільки об'єкт територіально відноситься до Херсонської області, графіки стабілізаційних відключень не застосовуються.

3.3. Вибір можливого місця розташування та просторової орієнтації фотоелектричних модулів

На території об'єкту можливі два варіанти розміщення фотоелектричних модулів: на наземних опорних конструкціях та на поверхнях дахів будівель. Другий варіант виглядає більш раціональним, зважаючи на те, що наявні земельні ділянки використовуються для вирощування сільськогосподарських культур.

Для розміщення фотоелектричних модулів придатними є дахи житлового будинку та гаражу, а саме, їх скати з південним азимутом поверхонь. Південні скати покрівлі житлового будинку з кутами нахилу 40° та 10° не затінені сторонніми об'єктами, мають достатню сумарну площу для розміщення потужного геліополя, яка становить 108 м^2 .

Південний скат покрівлі гаража, що має кут нахилу 40° та площу 31 м^2 , частково затінюється деревом, яке потребує видалення у разі прийняття рішення про монтаж модулів ФЕП на цій поверхні.

Поверхні дахів інших господарських споруд не розглядались з причини малої їх площі.

Отже, для монтажу фотоелектричних модулів обрано південні скати даху житлового будинку з кутами нахилу 40° та 10° з площами 55 м^2 та 53 м^2 , відповідно.

3.4 Розрахунок середнього добового надходження сонячної радіації до поверхні модулів в розрізі типового року

Розрахунок середнього добового надходження сонячної радіації до поверхонь південних скатів даху будинку виконувався за методикою, викладеною в п. 2.2, із застосуванням засобів MS Excel. В якості вхідних використовувались дані щодо надходження сумарної та дифузної сонячної

радіації на горизонтальну поверхню, а також альbedo підстилаючої поверхні, наведені в [17]. Результати розрахунку для середніх днів кожного місяця представлені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Середньомісячне денне надходження сумарної сонячної радіації до південних скатів даху будинку, кВт·год/м²

Мі- сяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\bar{H}_T$ 40°	1,91	2,85	4,03	5,35	5,93	6,04	6,19	6,09	5,19	3,81	2,20	1,64
$\bar{H}_T$ 10°	1,37	2,26	3,57	5,25	6,30	6,66	6,71	6,13	4,69	3,03	1,61	1,14

Як показує аналіз даних табл. 3.4, найгірші рівні сонячної інсоляції в даній місцевості спостерігаються у грудні. В зимові місяці до поверхні з кутом нахилу 40° надходить більша кількість сонячної енергії, ніж до поверхні з кутом нахилу 10°, в літні – навпаки, що пов'язано зі зміною кута висоти Сонця протягом року.

3.5 Розрахунок необхідної встановленої потужності фотоелектричних модулів

Згідно з умовою (2.4) повне покриття потреби об'єкта в електричній енергії в місяць з найгіршою сонячною інсоляцією може бути забезпечене при певній мінімальній встановленій потужності масиву модулів ФЕП $P_{\text{фем min}}$, при якій середнє добове вироблення енергії цим масивом є не меншим за добове споживання електричної енергії об'єктом. З виразів (2.4) (2.10), (2.11) та (2.15) отримуємо, що для грудня місяця за найгірших умов опромінення (розміщення модулів ФЕП на скаті покрівлі веранди з кутом нахилу 10°) мінімально необхідна встановлена потужність масиву модулів становитиме:

$$P_{\text{фем min}} = \frac{1000 W_{\text{доб.}}}{k_1 k_2 \bar{H}_T} = \frac{1000 \cdot 7,09}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,14} = 11,11 \text{ кВт.} \quad (3.3)$$

За умов розміщення модулів на скаті даху житлової частини будинку з кутом нахилу 40° мінімальна встановлена потужність масиву має складати:

$$P_{\text{фем min}} = \frac{1000 \cdot 7,09}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,64} = 7,72 \text{ кВт.} \quad (3.4)$$

Отже, для покриття потреби об'єкту в електричній енергії від фотоелектричного масиву в місяці грудні, як місяці з найгіршим середнім денним надходженням сонячної радіації до поверхні модулів, а також отримання надлишку виробленої енергії в інші місяці року, бажано, щоб встановлена потужність масиву була не меншою 11 кВт.

3.6 Розрахунок необхідної ємності акумуляторної батареї

На об'єкті трапляються перерви в електропостачанні від централізованої мережі тривалістю до 6 годин, пов'язані з аварійними відключеннями. У зв'язку з цим, для безперервного забезпечення потреб об'єкту в електричній енергії навіть під час аварійних відключень варто проєктувати гібридну фотоелектричну систему, оснащену АКБ.

При добовій потребі в місяці грудні 7,09 кВт·год (див. табл. 3.2) об'єкт протягом шести годин потребуватиме при звичайному режимі споживання наступну кількість електричної енергії:

$$W_{\text{спож.}} = \frac{7,09}{24} \cdot 6 = 1,77 \text{ кВт·год,} \quad (3.5)$$

що у відповідності до виразу (2.16) при номінальній напрузі АКБ 48В еквівалентне витраті ємності

$$C = 1770/48 = 36,87 \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (3.6)$$

Допустима глибина розряду приймається 80% при виборі АКБ літій-іонної системи, з урахуванням чого у відповідності до виразу (2.17) ємність батареї становитиме:

$$C_{\gamma} = 36,87/0,8 = 46,09 \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (3.7)$$

АКБ планується до встановлення в одному з приміщень веранди, де температура не опускається нижче 15 °С. У відповідності до табл. 2.2 температурна поправка до ємності за цих умов приймається такою, що дорівнює 1,11. Тоді розрахункова необхідна ємність АКБ у відповідності до рівняння (2.18) становитиме:

$$C_{\text{необх.}} = 1,11 \cdot 46,09 \approx 51 \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (3.8)$$

Отже, для автономного енергозабезпечення потреб об'єкту в електричній енергії протягом 6 годин аварійних відключень мережі у місяці з найвищим споживанням достатньо укомплектувати гібридну фотоелектричну систему однією літійовою АКБ номінальною напругою 48 В та ємністю не менше 50 А·год.

Струм розряду такої батареї згідно виразу (2.23) дорівнюватиме:

$$I_p = 50/6 = 8,33 \text{ А.} \quad (3.9)$$

Необхідна потужність зарядного пристрою гібридного інвертора для ефективного заряджання АКБ, розрахована за виразом (2.24) при $N_{\text{заг.}} = 1$, зарядному струмі 20% від ємності батареї і $U_{\text{ном.}} = 48 \text{ В}$, становитиме:

$$P_{\text{зар.}} = 1 \cdot 10 \cdot 48 = 480 \text{ Вт.} \quad (3.10)$$

3.7 Вибір обладнання для фотоелектричної системи

Український ринок обладнання для фотоелектричних систем пропонує широкий спектр кремнієвих модулів ФЕП, головним чином, на основі моно- та полікристалічного кремнію.

Модулі на основі монокристалічного кремнію мають низку переваг по відношенню до полікристалічних, головною з яких є більш висока ефективність перетворення сонячного випромінювання, завдяки чому при заданій потужності потрібна менша площа геліополя.

Щодо номінальної потужності, то для дахових фотоелектричних станцій варто обирати за можливості модулі з вищою потужністю, що дозволяє зменшити кількість кабельних з'єднань і підвищити таким чином надійність роботи системи.

З огляду на це, для побудови дахової фотоелектричної системи на об'єкті, що розглядається, обрано фотоелектричний модуль на основі монокристалічного кремнію TWMND-72HS570, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 3.6, а основні параметри в стандартних умовах випробувань – в табл. 3.4 [21].

Таблиця 3.4 – Параметри фотоелектричного модуля TWMND-72HS570

Параметр	Значення
1	2
струм короткого замикання I_{sc}	13,42 А
напруга холостого ходу U_{oc}	52,4 В
максимальна електрична потужність P_{mpp}	570 Вт
струм в точці максимальної потужності I_{mpp}	12,78 А
напруга в точці максимальної потужності U_{mpp}	44,63 В
ефективність η	22,1%

Продовження таблиці 3.4

1	2
температурний коефіцієнт потужності α_P	-0,3 %/°C
температурний коефіцієнт напруги α_U	-0,25 %/°C
температурний коефіцієнт струму α_I	0,046 %/°C
діапазон робочих температур	- 40 ÷ 85 °C
габаритні розміри	2278±2 × 1134±2 × 35 мм

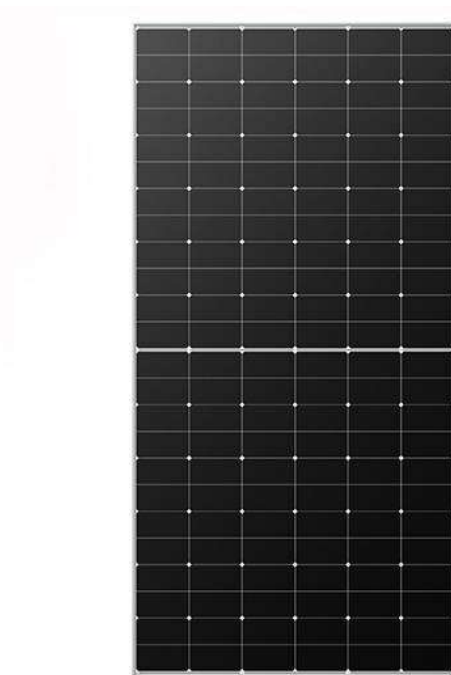


Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд фотоелектричного модуля
TWMND-72HS570 [21]

Перевагою обраного фотоелектричного модуля є те, що він виготовлений за технологією Half-Cell і оснащений трьома байпас-діодами, що дозволяє досягати високої потужності генерації електричної енергії навіть в умовах часткового затінення його приймальної поверхні [21].

На південному скаті даху з кутом нахилу 40° над житловою частиною будинку є можливість розмістити 18 таких модулів трьома горизонтальними рядами по 6 модулів в кожному. На скаті даху веранди з кутом нахилу 10°

можна розмістити таку ж саму кількість модулів, з аналогічним розподілом їх кількості за рядами. Отже, максимальна встановлена потужність геліополя за такого варіанту розміщення становитиме:

$$P_{\text{фем max.}} = 0,57 \cdot 36 = 20,52 \text{ кВт}, \quad (3.11)$$

що майже вдвічі перевищує мінімально необхідну встановлену потужність геліополя, розраховану за формулою (3.3), та практично втричі більша за ту, що визначена за виразом (3.4). Це свідчить про значний потенціал даного об'єкта щодо отримання надлишку виробленої електричної енергії, що може бути проданим в загальну електричну мережу за «зеленим» тарифом. Втім, підключення фотоелектричного масиву з отриманою максимальною потужністю має підтримувати гібридний інвертор.

При виборі номінальної потужності гібридного інвертора орієнтувались на договірну потужність об'єкта, що є стандартною і становить 5 кВт, а також на однофазний ввід до будинку. Це обумовлено бажанням уникнути вартісної процедури розширення договірної потужності об'єкта з переходом до трифазного вводу.

Аналіз вітчизняного фотоелектричного ринку дозволив обрати для комплектації системи гібридний сонячний інвертор Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi. Цей інвертор має номінальну потужність по стороні змінного струму 5 кВт, 2 МРР-трекери, зарядний пристрій з максимальним струмом заряду 120 А, адаптований для роботи з свинцево-кислотними та літійовими АКБ напругою від 40 В до 60 В, витримує короткочасні (до 10 с) двократні перевантаження за потужністю, що важливо під час пускових режимів деяких побутових приладів, наприклад, холодильника. Інвертор має вбудований захист від коротких замикань, перевищення струму і перенапруг як по стороні постійного, так і змінного струму, а також оснащений захистом від зворотної полярності по стороні постійного струму. Клас захисту IP65

дозволяє здійснювати монтаж як в приміщенні, так і зовні будівлі [22]. Загальний вигляд обраного інвертора представлено на рис. 3.7, а його основні параметри – в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Параметри гібридного інвертора Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi

Параметр	Значення
номінальна потужність змінного струму	5000 Вт
номінальна напруга змінного струму	230 В
частота змінного струму	50 Гц
кількість фаз	1
коефіцієнт потужності	1
максимальна ефективність	97,6%
кількість MPPT	2
кількість PV входів на MPPT	1
діапазон входних напруг PV-масиву	125 – 500 В
діапазон робочих напруг MPPT	150 – 425 В
номінальний входний струм PV-масиву	13 А
максимальний входний струм PV-масиву	17 А
тип АКБ	свинцево-кислотна, літій-іонна
діапазон напруг АКБ	40 – 60 В
максимальний струм заряду/розряду АКБ	120 А
клас захисту	IP65



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд гібридного інвертора Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi [22]

До кожного входу MPPT цього інвертора згідно даних табл. 3.4 та табл. 3.5 можна максимально приєднати стрінг з 9 модулів TWMND-72HS570, щоб не перевищити максимальну вхідну напругу 500 В. Втім, в зимовий період напруга холостого ходу обраного модуля може підвищитись, що має бути врахованим при виборі кількості модулів, які можна послідовно з'єднати в стрінг. У відповідності до [8], напруга холостого ходу модуля змінюється з температурою згідно з виразом:

$$U_{oc}(T) = U_{oc}(T_m) \cdot [1 + \alpha_U \cdot (T - T_m)], \quad (3.12)$$

де $U_{oc}(T_m)$ – напруга холостого ходу при температурі $T_m = 25^\circ\text{C}$;

α_U - температурний коефіцієнт напруги.

Тоді при мінімальній температурі в південних регіонах України, що приймається -25°C , напруга холостого ходу модуля TWMND-72HS570 становитиме:

$$U_{oc}(-25^{\circ}\text{C}) = 52,4 \cdot [1 - 0,0025 \cdot (-25 - 25)] = 58,95 \text{ В.}$$

Отже, до входу одного MPPT можна приєднати стрінг з наступною максимальною кількістю послідовно включених модулів:

$$N_{max} = \frac{500}{58,95} = 8,48 \approx 8 \text{ шт.}$$

Тоді загальна максимальна кількість модулів у двох стрінгах становитиме 16 одиниць з сумарною встановленою потужністю фотоелектричного масиву 9,12 кВт, що перевищує мінімально необхідну потужність масиву, розраховану за виразом (3.4).

Стрінг з восьми модулів TWMND-72HS570 в стандартних умовах випробувань STC забезпечує напругу точки максимальної потужності на рівні 357 В (див. табл. 3.4), що знаходиться в робочому діапазоні MPPT інвертора Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi (див. табл. 3.5). При температурі -25 °С ця напруга збільшиться до рівня:

$$U_{mpp \text{ фем}}(-25^{\circ}\text{C}) = 357 \cdot [1 - 0,0025 \cdot (-25 - 25)] = 401,63 \text{ В,}$$

що не перевищує максимальної напруги робочого діапазону MPPT обраного інвертора.

Струм короткого замикання модуля TWMND-72HS570 при збільшенні його температури також зростатиме у відповідності до закону :

$$I_{sc}(T) = I_{sc}(T_m) \cdot [1 + \alpha_I \cdot (T - T_m)], \quad (3.13)$$

де $I_{sc}(T_m)$ – струм короткого замикання при $T_m = 25^{\circ}\text{C}$;

α_I - температурний коефіцієнт струму.

Зважаючи на значення струму короткого замикання, температурний

коефіцієнт струму модуля TWMND-72HS570 (табл. 3.4), при температурі модуля 45 °С, що відповідає нормальним експлуатаційним умовам (NOCT), струм короткого замикання стрінгу становитиме:

$$I_{sc}(45^{\circ}\text{C}) = 13,42 \cdot [1 + 0,00046 \cdot (45 - 25)] = 13,54 \text{ A},$$

що не перевищує максимально допустимий вхідний струм стрінгу для інвертора Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi (див. табл. 3.5), встановлений на рівні 17 А.

Отже, для забезпечення паспортних режимів експлуатації гібридного інвертора Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi до кожного з його двох MPPT входів можна приєднати стрінг, що складається з восьми послідовно підключених фотоелектричних модулів TWMND-72HS570. Загальна кількість модулів у двох стрінгах становитиме 16 одиниць з сумарною встановленою потужністю фотоелектричного масиву 9,12 кВт.

Для комплектації гібридної фотоелектричної станції обрано літій-залізо-фосфатну АКБ US2000C від компанії Pylontech номінальною напругою 48 В та ємністю 50 А·год [23]. Зовнішній вигляд обраної батареї представлений на рис. 3.7.



Рисунок 3.7 – Зовнішній АКБ Pylontech US2000C [23]

Обраний акумулятор має тривалий термін служби, високу щільність

запасеної енергії, модульний дизайн, забезпечує легкість монтажу і можливість нарощування ємності [23]. Він сумісний з більшістю гібридних інверторів, зокрема і з інвертором Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi. Основні технічні параметри обраної АКБ представлено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Параметри акумуляторної батареї Pylontech US2000C

Параметр	Значення
тип АКБ	LiFePO4
номінальна напруга	48 В
номінальна ємність	50 А·год
пікова вхідна потужність	5 кВт
пікова вихідна потужність	5 кВт
робочий діапазон температур оточуючого середовища	0 ÷ 50 °C
розрахунковий термін служби	10 років
кількість циклів при глибині розряду 80%	> 6000
габаритні розміри	400 × 410 × 89 мм
маса	24 кг

За умов відсутності надходження сонячної радіації для забезпечення автономного живлення об'єкта протягом 6 годин достатньо однієї АКБ Pylontech US2000C, якщо споживана потужність не перевищуватиме середньодобового рівня, що становить 0,3 кВт.

3.8 Розрахунок вироблення енергії фотоелектричною станцією та енергетичного надлишку в розрізі року

Для досягнення рівномірності розподілу виробленої енергії в розрізі типового року пропонується розміщення восьми модулів першого стрінгу на скаті даху житлового будинку з кутом нахилу 40°, а 8 модулів другого

стріну – на скаті даху веранди з кутом нахилу 10° .

Розрахунок вироблення енергії від кожного з двох фотоелектричних масивів, підключених до окремих входів MPPT інвертора Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi, здійснювався за виразами (2.10), (2.11) та (2.15) для середнього розрахункового дня кожного місяця із застосуванням засобів MS Excel. Результати розрахунку місячних обсягів виробленої енергії представлені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Розподіл місячних обсягів виробленої електроенергії протягом типового року, кВт·год

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$W_{\text{міс вир.}} 40^\circ$	151,2	203,8	273,4	351,3	402,4	330,5	350,0	344,4	340,8	258,5	144,5	129,8
$W_{\text{міс вир.}} 10^\circ$	108,5	161,6	242,2	344,7	427,5	364,4	379,4	346,6	308,0	205,6	105,7	90,2
Сума	259,7	365,4	515,6	696,0	829,9	694,9	729,4	691,0	648,8	464,1	250,2	220,0

Як видно з табл. 3.7, масив модулів ФЕП, розташованих на даху житлового будинку під кутом 40° до горизонту, забезпечує вищу генерацію в зимовий період, а фотоелектричний масив на даху веранди з кутом нахилу 10° – в літні місяці, коли кут висоти Сонця збільшується. Це дозволяє ефективно перетворювати енергію сонячного випромінювання протягом всього року і досягти сумарної річної генерації 6365 кВт·год, що значно перевищує середньорічний обсяг споживання об'єкту, який становить 2367 кВт·год. Отриманий надлишок генерованої енергії може бути проданим в загальну електричну мережу за «зеленим» тарифом.

Помісячний розподіл генерації на фоні споживання об'єктом електричної енергії представлено на рис. 3.8.

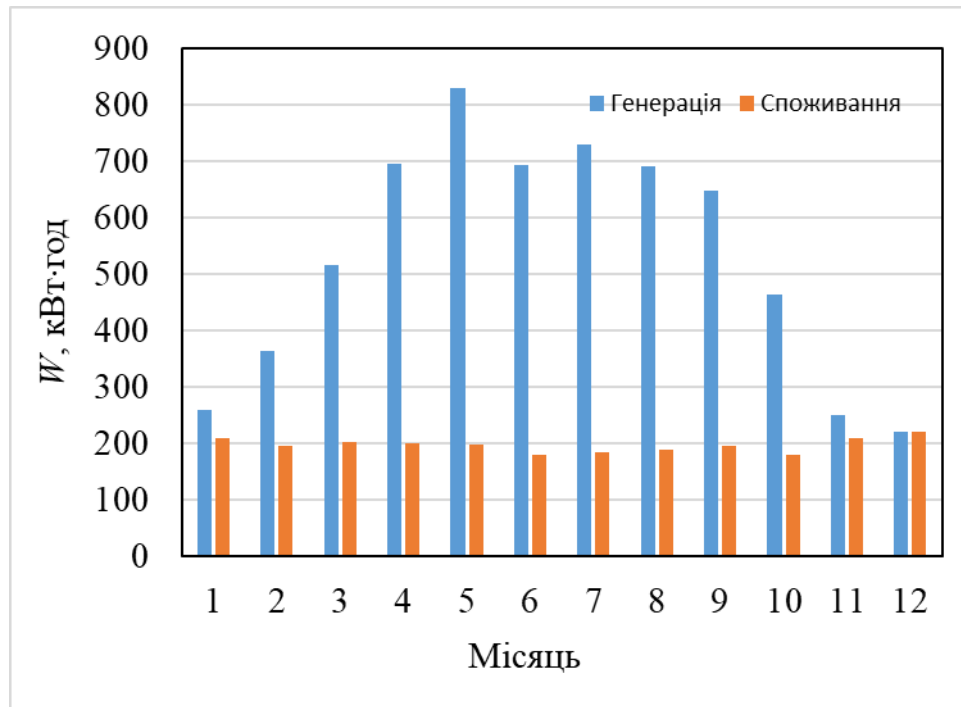


Рисунок 3.8 – Розподіл генерації і споживання електричної енергії за місяцями

Як видно з рис. 3.8, розроблена фотоелектрична станція забезпечує генерацію надлишку електричної енергії в усі місяці, окрім грудня, де споживання і генерація є фактично однаковими. Сумарний річний обсяг надлишкової енергії становить 3998 кВт·год, що майже в 1,7 рази перевищує середньорічну потребу об'єкта в електричній енергії і надає потенційну можливість отримання доходу в разі продажу цього надлишку в централізовану мережу за «зеленим» тарифом.

3.9 Розробка схеми підключення обладнання фотоелектричної станції

Підключення обладнання розробленої гібридної фотоелектричної станції пропонується виконати за типовою схемою, яка передбачає однофазне приєднання до зовнішньої електричної мережі через двонаправлений лічильник, що враховує обсяги спожитої та переданої до

мережі електричної енергії. Загальна типова схема такого підключення (але для трифазного приєднання) представлена на рис. 3.9.

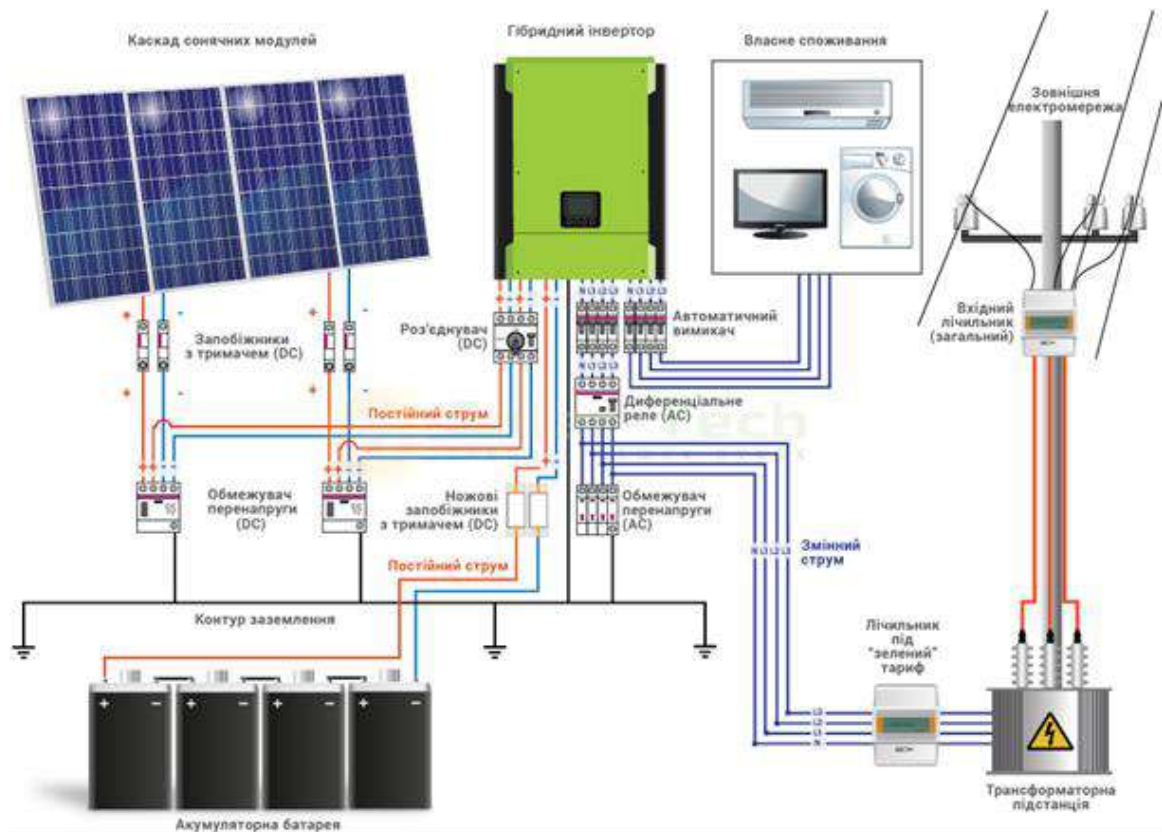


Рисунок 3.9 – Загальна схема підключення обладнання гібридної фотоелектричної станції [24]

Обов'язковими елементами цієї схеми є пристрої захисної автоматики, такі як автоматичний вимикач між мережею та інвертором, автоматичний вимикач між інвертором та навантаженням, пристрій захисного відключення для захисту від витoku струму, пристрої захисту від перенапруги.

З боку постійного струму кожен стрінг приєднується до відповідного MPPT входу інвертора через ножові запобіжники, номінал яких має бути в 1,25 рази вищим від максимального робочого струму стрінга:

$$I_{3DC} = 1,25 \cdot 13,54 = 16,93 \text{ A.}$$

Найближчим за номіналом до отриманого значення струму є ножовий запобіжник типу NT00C 20A, розрахований на постійну напругу, рівень якої не має перевищувати 660 В.

Обмежувачі перенапруги та роз'єднувач з боку масиву фотоелектричних модулів вже вбудовані в інвертор Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi тому додаткове їх облаштування не потрібне.

Ножові запобіжники з боку АКБ мають витримувати струм, що 1,25 рази перевищує максимальний струм заряду/розряду акумулятора, який для інвертора Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi становить 120А. Тоді номінал запобіжника АКБ має становити:

$$I_{з\text{ АКБ}} = 1,25 \cdot 120 = 150 \text{ А.}$$

В якості запобіжника АКБ пропонується використати ножовий запобіжник Victron Energy MEGA-fuse 150A/80V, що призначений для роботи в колах постійного струму напругою до 80 В, зокрема, й для захисту батарейних систем [25].

З боку змінної напруги в конструкції інвертора Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi передбачено вбудовані захисти від коротких замикань, перевищення струму і перенапруг. Тому при підключенні інвертора достатньо передбачити вимикачі, що ізолюють його від централізованої мережі і навантаження. В якості таких вимикачів пропонується застосувати автоматичні вимикачі на номінальну напругу 230 В. Струм спрацювання цих вимикачів має бути не меншим за 1,25 від максимального струму мережі по стороні змінної напруги.

При двократній піковій потужності по стороні змінної напруги, що згідно своїх паспортних характеристик короткостроково здатен забезпечувати інвертор Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi [22], величина струму становитиме близько 45 А. Для уникнення хибного спрацювання автоматичних вимикачів їх номінальний струм з урахуванням коефіцієнту

1,25 має бути не меншим за 58 А. Найближчим за номіналом є автоматичний вимикач FSD3 2P 63A, розрахований на встановлення в мережу змінної напруги 230/400 В частотою 50/60 Гц.

3.10 Висновки

Для приватного житлового будинку в с. Кочубеївка, Бериславського району Херсонської області розроблено гібридну фотоелектричну станцію дахового типу потужністю 5 кВт.

Спираючись на технічну документацію та результати натурного обстеження об'єкту встановлено, що придатними для монтажу фотоелектричних модулів є південні скати покрівлі житлового будинку та веранди з площами 55 м² та 53 м² з кутами нахилу відносно горизонту 40° та 10° відповідно. Виконано розрахунок надходження сонячної радіації до цих поверхонь.

Аналіз рахунків від енергопостачальної компанії за спожиту об'єктом електричну енергію за останні 3 роки показав, що середньорічне споживання електричної енергії становить 2367 кВт·год і відносно рівномірно розподілене за місяцями. Середньодобова споживана потужність в місяці з найбільшим обсягом споживання електричної енергії складає 0,3 кВт, що є значно меншим за договірну потужність об'єкту 5 кВт. В електропостачанні об'єкту трапляються аварійні відключення централізованої мережі тривалістю до 6 годин, графіки стабілізаційних відключень не застосовуються.

Для забезпечення автономного живлення об'єкту в періоди аварійних відключень прийнято рішення щодо розробки фотоелектричної станції з гібридним інвертором. Розраховано мінімально необхідну ємність акумуляторної батареї, що за умов відсутності сонячної інсоляції здатна забезпечити потребу об'єкту в електричній енергії протягом 6 годин. На

основі аналізу поточної пропозиції на українському ринку фотовольтаїчної продукції обрано обладнання для комплектації фотоелектричної станції, а саме: гібридний номінальною потужністю 5 кВт, 16 фотоелектричних модулів TWMND-72HS570 потужністю 570 Вт кожен, 1 акумуляторна батарея Pylontech US2000C номінальною напругою 48 В та ємністю 50 А·год. Запропоновано схему підключення обраного обладнання та визначено номінали захисних пристроїв для реалізації цієї схеми.

Розраховано вироблення енергії розробленою фотоелектричною станцією для варіанту фотоелектричного масиву з 16 модулів, розподілених між 2 стрінгами по 8 модулів TWMND-72HS570 в кожному, один з яких розміщується на скаті даху житлового будинку, а інший – на скаті даху веранди. Встановлено, що очікуваний річний обсяг генерованої такою станцією електричної енергії складає 6365 кВт·год, що на 3998 кВт·год перевищує обсяг річного споживання. Це надає потенційну можливість отримання доходу від продажу надлишкового обсягу генерованої електричної енергії в централізовану мережу за «зеленим» тарифом.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні положення

Охорона праці в Україні – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Правові та організаційні основи охорони праці є тією базою, яка забезпечує соціальний захист працівників і на якій будується санітарно-гігієнічна та інженерно-технічна складова охорони праці.

Основним нормативно-правовим актом, що регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища є Закон України «Про охорону праці», який визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя та здоров'я у процесі трудової діяльності. У Законі, зокрема, зафіксовані права громадян України: на робоче місце, захищене від впливу шкідливих чи травмонебезпечних виробничих факторів; на відшкодування шкоди, заподіяної йому виробничою травмою, професійним захворюванням або іншим ушкодженням здоров'я, пов'язаним із виконанням трудових обов'язків; на одержання достовірної інформації від працедавця про умови праці на підприємстві та існуючий ризик ушкодження здоров'я; на відмовлення від дорученої роботи, якщо склалась виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для людей, які його оточують, і навколишнього середовища; на забезпечення засобами колективного та індивідуального захисту відповідно до вимог законодавчих актів про охорону праці за рахунок коштів працедавця [26].

Згідно Закону України «Про охорону праці» працівник - це особа, яка працює на підприємстві, в організації, установі та виконує обов'язки або функції згідно з трудовим договором (контрактом). Гарантії його прав на

охорону праці починаються вже з моменту обговорення та укладання трудової угоди, оскільки згідно ст. 5 Закону умови трудового договору не можуть містити положень, що суперечать законам та іншим нормативно-правовим актам про охорону праці.

Перед початком роботи нового працівника роботодавець зобов'язаний проінформувати його під розписку про умови праці, наявні на його робочому місці. Зокрема, про всі небезпечні чи шкідливі виробничі фактори, та про можливі наслідки їх впливу на здоров'я працівника, а також про можливі пільги та компенсації за роботу у таких умовах. Крім того, при прийнятті на роботу всі працівники повинні коштом роботодавця пройти вступний інструктаж, навчання, перевірку знань, первинний інструктаж на робочому місці, стажування та набуття навичок безпечних методів праці. Тільки після цього працівники допускаються до самостійної роботи. Вступний інструктаж проводить спеціаліст з охорони праці, а первинний – безпосередній керівник працівника. Таким чином, основною задачею охорони праці на підприємствах є поліпшення умов праці і на цій основі зменшення частково або повністю всіх видів пільг і компенсацій, але доти, доки залишаються важкі фізичні роботи, доки залишаються робочі місця, на яких присутні шкідливі виробничі фактори, працюючим на них та їхнім роботодавцям необхідно дотримуватись правил надання всіх передбачених законом пільг та компенсацій, для того, щоб зменшити негативний вплив цих чинників на здоров'я.

4.2 Небезпечні та шкідливі фактори

На багатьох заводах і фабриках виробництво пов'язане з постійним впливом на працівників несприятливих умов. Шкідливі та небезпечні виробничі фактори нерозривно пов'язані між собою.

Шкідливі виробничі фактори - це ті фактори, які у результаті свого тривалого або короткочасного впливу на людину призводять до погіршення

стану його здоров'я або до травми. На виробництвах з такими умовами праці різні нещасні випадки відбуваються досить часто. Це фактори, які, діючи на працівника, знижують його працездатність або призводять до різних захворювань, їх ще називають професійними хворобами. При деяких умовах шкідливі виробничі фактори можуть стати небезпечними. Наприклад, підвищена вологість відноситься до несприятливих умов праці, вона може викликати різні захворювання дихальної системи. Якщо людині доводиться у таких умовах працювати з електричним струмом, то це вже стає занадто небезпечно, а не просто шкідливо.

Усі фактори на будь-якому підприємстві можуть мати різне походження. Часто можна стикатися з несприятливими умовами праці, які виникають з вини керівництва. Це питання потребує особливої уваги з боку перевіряючих органів. Усі шкідливі виробничі фактори ГОСТ поділяє на такі групи: фізичні; хімічні; біологічні та психофізіологічні, до яких можна віднести важкі та напружені умови праці.

Варто відзначити, що немає чіткої межі між шкідливими та небезпечними факторами, вона завжди умовна і у будь-який момент може бути зруйнована.

На виробництві завжди є технологічні процеси та обладнання, які є джерелом виділення виробничих шкідливих факторів. До цих проваджень можна віднести: очищення деталей за допомогою хімічних засобів; фарбування устаткування; зварювальні роботи; процеси нанесення захисних антикорозійних покриттів; обробку або переробку металів.

При здійсненні всіх цих процесів виділення шкідливих речовин неминуче, але, як правило, посилене їх утворення пов'язане з недотриманням технологій або невмілим їх використанням.

На багатьох виробництвах просто неможливо уникнути впливу деяких факторів. До таких факторів відносяться: температура, висока вологість і випромінювання; електромагнітні поля; лазерне і ультразвукове випромінювання; вібрація; сильний шум; освітлення, яке може бути як

занадто інтенсивним, так і недостатнім, що однаково шкідливо для зору людини; вплив пилу і аерозолів; заряджене повітря; працюючі частини обладнання.

Кожен фактор окремо не становить особливої небезпеки для здоров'я людини при короткочасному впливі, але тривале перебування працівників під їх дією спричиняє відчутні негативні наслідки для їх здоров'я.

Шум. На підприємствах, де в цехах стоять верстати та інше обладнання, без шуму, як правило, не обходиться. Постійно працююча техніка видає гучні звуки, які можуть змінювати свою інтенсивність. Якщо людина змушена регулярно зазнавати такого впливу, то це негативно позначиться на його здоров'ї. Від сильного шуму починається головний біль, підвищується тиск, знижується гострота слуху. Зрештою, від таких умов знижується працездатність, з'являється втома, знижується увага, що вже може призвести до нещасного випадку. Керівники на подібних підприємствах повинні подбати про своїх працівників з метою зменшення негативного впливу шуму на працівників. Для цього доцільно використовувати: глушники шуму; індивідуальні засоби захисту, наприклад навушники, біруші, шоломи; застосовувати звукоізоляцію шумних місць, використовуючи захисні кожухи; оброблення приміщень звукопоглинаючими матеріалами.

Ці заходи допоможуть створити більш сприятливі умови для працівників та зменшити вплив шкідливих факторів на їх здоров'я.

Вібрація. Вібрація входить до переліку шкідливих виробничих факторів. Її можна класифікувати по декільком категоріям: за способом передачі: загальна і локальна; за напрямом: вертикальна і горизонтальна; за часом дії: тимчасова і постійна.

У результаті постійного впливу даного фактора починає страждати не тільки нервова система працівників, а й опорно-рухова, а також система аналізаторів. Робітники, які змушені працювати у таких умовах, часто скаржаться на головні болі, запаморочення та заколисування.

Якщо додати ще і вплив супутніх чинників, таких як вологість, висока температура, шум, то це тільки посилює шкідливий вплив вібрації. Для захисту від неї можна запропонувати такі заходи: заміна обладнання на більш технологічне; використання м'яких покриттів на віброуючих частинах приладів або устаткування; установка агрегатів на ґрунтовний фундамент.

Хімічні фактори. Речовини з цієї групи розрізняють за двома категоріями:

1. За своїм впливом на організм людини шкідливі та небезпечні виробничі фактори хімічної природи поділяються на: токсичні, що діють негативно на весь організм, наприклад, чадний газ, ртуть, свинець; дратівливі, такі як ацетон, хлор, оксиди азоту, що викликають подразнення слизових оболонок; канцерогенні: оксиди хрому, берилій зі своїми з'єднаннями можуть призводити до розвитку ракових клітин; такі, що викликають алергічні реакції; мутагенні, що провокують зміни на рівні ДНК клітини; такі, що впливають на репродуктивну функцію;

2. За способом надходження в організм: через дихальну систему; через шлунково-кишковий тракт; через шкіру та слизові оболонки.

До того ж, такі шкідливі фактори виробничого середовища різною мірою впливають на організм людини, залежно від чого серед них виділяють: надзвичайно небезпечні; небезпечні високою мірою; помірно небезпечні та малонебезпечні.

Якщо на шкідливих підприємствах досить ефективно налагоджено використання засобів захисту, то робітники будуть піддаватися впливу небезпечних речовин у набагато меншому ступені.

Фактори трудового процесу. До психофізіологічних факторів можна віднести тягар умов праці і його напруженість. Коли мова йде про важку працю, то мається на увазі: велике навантаження на опорно-рухову, серцево-судинну, дихальну системи; величина статичного навантаження; число однакових рухів; вага вантажів, які доводиться піднімати; поза робітника під час виконання процесу.

На будь-якому підприємстві з метою створення сприятливих умов для працівників необхідно забезпечувати комфортну обстановку. Це стосується, насамперед, чистоти повітря у виробничих приміщеннях. Санітарно-гігієнічні служби поділяють основні шкідливі виробничі фактори на хімічні речовини та промисловий пил. Перші, в свою чергу, поділяються на: промислові отрути, які часто знаходять своє застосування на виробництві; отрутохімікати для сільського господарства; лікарські препарати; побутову хімію.

Негативний вплив пилу проявляється у його здатності провокувати розвиток легеневих захворювань. Саме тому питання забезпечення захисту від негативного його впливу досить гостро стоїть у виробничій сфері.

Незважаючи на усі заходи, спрямовані на нейтралізацію шкідливого впливу факторів, неможливо досягти ідеальних умов праці. Це не дозволяють зробити особливості технологічних процесів, продукція та сировина для її виготовлення. Тому для керівників захист від шкідливих виробничих факторів - це першочергове завдання.

Таким чином, заходи безпеки спрямовані, насамперед, на зменшення впливу шкідливих виробничих факторів на здоров'я людини. З цією метою на будь-якому підприємстві в обов'язковому порядку повинен проводитись інструктаж з безпеки. Дата проведення та зміст фіксуються у журналі за підписом усіх хто інструктується і того, хто провів цей інструктаж [27].

4.3 Освітлення та його різновиди

Освітленням називають використання світлової енергії сонця і штучних джерел світла для забезпечення зорового сприйняття довкілля. Освітлення дає сприятливий психофізіологічний ефект, впливає на працездатність людини і на безпеку праці. Раціональне освітлення у цехах промислових підприємств є показником естетики виробництва та високого рівня культури праці. Освітлення є важливим стимулятором організму людини, і тому його

недостатній рівень підвищує втому зорового аналізатора у процесі виконання роботи.

В умовах виробництва застосовують природне, штучне і комбіноване освітлення.

Природне освітлення створюють прямі сонячні промені та дифузне світло небосхилу. Природне освітлення поділяється на: бокове (одно- або двостороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) у зовнішніх стінах; верхнє - через ліхтарі та отвори у дахах і перекриттях; комбіноване - поєднання верхнього та бокового освітлення.

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з урахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення).

Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний у процесі роботи напрямок світла. Для місцевого освітлення робочих місць слід використовувати світильники з непросвічуючими відбивачами. Світильники повинні розташовуватися так, щоб їх елементи, які світяться, не влучали в поле зору працівників на освітленому робочому місці і на інших робочих місцях. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

Освітлювальні пристрої мають забезпечувати гігієнічні вимоги: освітлення, якого було б достатньо для виконання певної роботи без напруження зору; рівномірність освітлення, без тіней, у межах робочої поверхні, рівень освітлення проходів; захист очей від блиску; виконання вимог безпеки (шляхом встановлення в окремих випадках аварійного освітлення).

За функціональним призначенням штучне освітлення розрізняють робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне та чергове.

Штучне та природне освітлення може бути ефективним тільки за старанного обслуговування всього обладнання. Внаслідок тривалої експлуатації світловий потік ламп розжарювання зменшується на 10-15 % .

Під час експлуатації освітлювальної установки необхідно періодично перевіряти стан ізоляції проводів (не менше 1 разу на 6 місяців) та рівень освітленості в контрольних точках виробничого приміщення (не менше 1 разу на рік після чергової чистки світильників і заміни згорілих ламп).

При розробці штучного освітлення фахівці враховують: висоту підвісу світильників; відстань між світильниками; потужність ламп (необхідно врахувати сліпучий ефект); протидіблiskуючі елементи; віддзеркалення світла від стельових елементів і верхніх ділянок стін. Локальне освітлення знадобиться там, де проводяться роботи середньої і малої точності (четвертий і п'ятий розряди). Важливою умовою якісного локального освітлення є відсутність відблисків. Для зниження відблискування використовуються світильники з рефлекторами, що направляють світло у потрібну сторону.

Комбіноване освітлення включає світильники загального та локального освітлення та застосовується в умовах робіт вищої і високої точності. Мінімальна частка світильників загального освітлення у комбінованій системі при наявності у приміщенні віконних прорізів – 10 %. Категорично не рекомендується використовувати для таких робіт тільки локальне освітлення, так як воно може створювати тіні і підвищувати стомлюваність [28].

Для розрахунку освітленості робочого місця доцільно використати метод коефіцієнта використання.

З цією метою спочатку розраховується висота світильника, який встановлено над робочою поверхнею, використовуючи формулу (4.1):

$$h = H - (h_p + h_c) \quad (4.1)$$

де H – висота приміщення, м;

h_p – відстань робочої поверхні від підлоги (0,8 м);

h_c – відстань (звис) світильника від стелі, (0,25 м).

$$h = 3,5 - (0,8 + 0,25) = 2,45 \text{ м.}$$

Величина світлового потоку на робочому місці розраховується за формулою (4.2):

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{N \cdot n \cdot \eta}, \text{ лм} \quad (4.2)$$

де E – задана мінімальна освітленість, лк (прийняти 100 лк);

K – коефіцієнт запасу, дорівнює 1,5;

S – площа освітлення, м²;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, для люмінесцентних ламп $z=1,1$;

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку в частках одиниці.

Коефіцієнт η є табличним значенням і визначається з розрахунку показника приміщення i , коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

За формулою (4.3) визначається індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (4.3)$$

де A, B – довжина та ширина приміщення, відповідно, м.

$$i = \frac{5 \cdot 7}{2,45 \cdot (5 + 7)} = 1,19.$$

Світильники у приміщенні розташовані у декілька рядів і відстань між ними визначається за формулою (4.4):

$$L = 1,5h. \quad (4.4)$$

За формулою (4.5) визначається кількість світильників N , які розміщено у даному приміщенні:

$$N = \frac{(A \cdot B)}{L^2}, \quad (4.5)$$

де L – відстань між рядами світильників;

За формулою (4.6) розраховується потужність освітлюваної установки:

$$P_y = P_{\text{л}} N, \quad (4.6)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність обраної лампи, Вт.

Надалі проводиться розрахунок освітленості у приміщенні E з урахуванням потрібної кількості світильників N [29] .

$$L = 1,5 \cdot 2,45 = 3,68 \text{ м.}$$

$$N = \frac{5 \cdot 7}{3,68^2} = 2,58.$$

$$\Phi = \frac{100 \cdot 35 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2,58 \cdot 2 \cdot 0,6} = 1865_{\text{лм}}.$$

$$P_y = 35 \cdot 2 \cdot 2 = 140 \text{ Вт.}$$

Виходячи з проведених розрахунків, можна зробити висновок, що світловому потоку приблизно 1865 лм відповідає світлодіодна лампа потужністю близько 14-16 Вт. Найбільш типовим прикладом є лампа LED E27 BL FA-3915 15 Вт. Перевагами таких ламп є їх енергоефективність; досить тривалий термін служби; невисокий ступінь нагрівання, що підвищує безпеку їх використання; вони не містять небезпечних речовин; не відчують впливу від частого вмикання та вимикання; мають великий кут розсіювання, що забезпечує рівномірний розподіл світла у приміщенні. Такі лампи зазвичай використовуються у виробничих приміщеннях, житлових кімнатах, навчальних аудиторіях, а також у коридорах та адміністративних приміщеннях.

Таким чином, лампа LED потужністю 15 Вт із світловим потоком 1865 лм є енергоефективним джерелом світла, що забезпечує яскраве, стабільне та безпечне освітлення при невисокому енергоспоживанні.

При визначенні небезпечних факторів, які можуть виникати на робочому місці варто відзначити такі:

- фізичні фактори - умови виробничого середовища, які можуть негативно впливати на організм працівника: недостатнє або надмірне освітлення, шум від техніки, надмірна або недостатня температура, підвищена або знижена вологість повітря, електромагнітне випромінювання від оргтехніки, небезпека ураження електричним струмом через несправне або пошкоджене електрообладнання;

- психофізіологічні фактори - пов'язані з організацією праці та навантаженням на організм людини: тривала робота за комп'ютером, що викликає перевтому очей, порушення постави, психоемоційне напруження, яке може виникати через високий темп роботи, та велику кількість інформації;

- хімічні фактори: випаровування від оргтехніки (тонери та фарби для друку), а також від побутової хімії, яка використовується для прибирання приміщення, що може викликати алергічні реакції, подразнення слизових оболонок та головний біль;

- біологічні фактори: бактерії та віруси, які можуть передаватися між працівниками, пил та мікроорганізми у системах вентиляції;

- організаційні фактори: незручні меблі або неправильно налаштоване робоче місце, недостатня площа робочого простору.

Таким чином, навіть у відносно безпечному робочому середовищі існує ряд небезпечних і шкідливих факторів. Тож, для зменшення їх негативного впливу на працівників необхідно забезпечити раціональне освітлення приміщення, оптимальний мікроклімат, правильну організацію робочого місця, регулярне провітрювання та дотримання загальних правил охорони праці, що сприятиме збереженню здоров'я працівників і підвищенню ефективності їх роботи.

4.4 Висновки

У даному розділі було розглянуто основні положення охорони праці, що регламентують забезпечення безпечних і здорових умов праці на підприємствах. Встановлено, що система охорони праці в Україні базується на законодавчій основі, зокрема на Законі України «Про охорону праці», який визначає права працівників на безпечні умови праці, соціальний захист та отримання необхідної інформації про виробничі ризики. Важливим елементом забезпечення безпеки є проведення інструктажів, навчання та контроль за дотриманням працівниками встановлених правил і норм.

У роботі також проаналізовано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що можуть виникати у виробничому середовищі, зокрема фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. Їх вплив може призводити до погіршення стану здоров'я працівників, зниження працездатності та

виникнення професійних захворювань. Тому важливим завданням підприємства є своєчасне виявлення таких факторів, зниження рівня їх впливу та застосування комплексу організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів.

Окрему увагу приділено питанню виробничого освітлення, яке є важливим чинником забезпечення безпечної та ефективної праці. Рационально організована система природного, штучного та комбінованого освітлення сприяє зменшенню зорового напруження та підвищує працездатність працівників.

Отже, дотримання вимог охорони праці, своєчасне впровадження профілактичних заходів та створення сприятливих умов праці є необхідними передумовами збереження здоров'я працівників, підвищення ефективності виробничої діяльності та забезпечення безпеки на підприємстві.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз літературних джерел, на основі якого встановлено, що фотоелектричні установки з гібридним інвертором є найбільш доцільним варіантом організації індивідуальної фотоелектричної системи, оскільки він забезпечує гнучку організацію енергетичних потоків між споживачами електричної енергії та її джерелами.

2. Описано методики проведення розрахунків, пов'язаних з визначенням добової потреби об'єкта в електричній енергії, середньомісячного денного надходження сонячної енергії до поверхні фотоелектричних модулів, необхідної встановленої потужності фотоелектричного масиву, ємності акумуляторної батареї та параметрів, що їх має забезпечити зарядний пристрій. Представлено критерії вибору обладнання для гібридної фотоелектричної установки.

3. Для приватного житлового будинку в с. Кочубеївка, Бериславського району Херсонської області розроблено гібридну фотоелектричну станцію дахового типу потужністю 5 кВт, що складається з однофазного гібридного інвертора Deye SUN-5K-SG03LP1-EU WiFi, 16 фотоелектричних модулів TWMND-72HS570 потужністю 570 Вт кожен, розподілених по двох стрінгах з 8 послідовно з'єднаних модулів, однієї акумуляторної батареї Pylontech US2000C номінальною напругою 48 В та ємністю 50 А·год. Запропоновано схему підключення обраного обладнання та визначено номінали захисних пристроїв для реалізації цієї схеми.

4. Розраховано вироблення електричної енергії розробленою фотоелектричною станцією на фоні споживання об'єкту. Встановлено, що очікуваний річний обсяг генерованої електричної енергії становить 6365 кВт·год, що на 3998 кВт·год більше обсягу річного споживання. Це надає домогосподарству потенційну можливість отримання доходу від продажу надлишкового обсягу генерованої електричної енергії в централізовану мережу за «зеленим» тарифом.

5. В розділі «Охорони праці» розглянуто основні положення охорони праці, що регламентують забезпечення безпечних і здорових умов праці на підприємствах. Проаналізовано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що можуть виникати у виробничому середовищі, зокрема фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні, які здатні призводити до погіршення стану здоров'я працівників, зниження працездатності та виникнення професійних захворювань. Окрему увагу приділено питанню виробничого освітлення, яке є важливим чинником забезпечення безпечної та ефективної праці. Встановлено, що дотримання вимог охорони праці, своєчасне впровадження профілактичних заходів та створення сприятливих умов праці є необхідними передумовами збереження здоров'я працівників, підвищення ефективності виробничої діяльності та забезпечення безпеки на підприємстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
2. Типи промислових СЕС і принципи їх дії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eds-development.com/yak-pracjujut-sonyachni-elektrostantsii/> (дата звернення: 23.02.26). – Назва з екрану.
3. Карпаш О.М. Використання термоелектрики для перетворення сонячної та теплової енергії в електричну для умов України / О.М. Карпаш, В.С. Цих, А.В. Яворський // Нафтогазова енергетика. – 2011. – №1(14). – 7 с.
4. Вілінський О.О. Термоелектричний перетворювач сонячного випромінювання в електроенергію / О.О. Вілінський, Л.Ю. Цибульський // Матеріали XI-ї науково-практичної конференції «Перспективні напрямки сучасної електроніки», КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, 6-7 квітня 2017. – Київ, 2017. – С. 145-150.
5. Андропова О.В. Моделювання роботи фототермоелектричного перетворювача / О.В. Андропова, В.В. Курак, С.С. Григоренко // Вісник ХНТУ. – 2022. – №1(80). – С. 11-20.
6. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник / С.О. Кудря. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
7. Колонтаєвський Ю.П. Фотоенергетика: навч. посібник / Ю.П. Колонтаєвський, Д.В. Тугай, С.В. Котелевець. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. – 160 с.
8. Курак В.В. Основи сонячної електроенергетики. Навчальний посібник для студентів спеціальності 141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: навч. посіб. / В. В. Курак, О. В. Андропова, Н. Л. Дон. – Херсон: Книжкове вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2024. – 348 с.
9. NREL [сайт]. – Режим доступу: <https://www.nrel.gov/index.html> (дата звернення: 24.02.2026). – Назва з екрану.

10. Види сонячних електростанцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ecotech.ua/vydy-elektrostantsij-povnyj-oglyad-i-suchasni-rishennya/> (дата звернення: 24.02.2026). – Назва з екрану.
11. Як влаштована автономна сонячна електростанція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://solar-tech.com.ua/ua/kak-ustroena-avtonomnaya-solnechnaya-elektrostantsiya-2018-11-11.html> (дата звернення: 24.02.26). – Назва з екрану.
12. Сонячні станції: будова, принцип роботи і секрети довговічності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://generacia.energy/zelenyj-tarif/budova-ses/> (дата звернення: 24.02.26). – Назва з екрану.
13. Типи фотоелектричних станцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.solargarden.com.ua/typy-sonyachnyh-elektrostantsiy-ih-efektyvnist-perevahy-i-nedoliky/> (дата звернення: 24.02.26). – Назва з екрану.
14. Автономні сонячні станції, переваги та недоліки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kvolts.com.ua/avtonomni-soniachni-stantsii-perevahy-ta-nedoliky> (дата звернення: 25.02.26). – Назва з екрану.
15. Климко В.І. Вітросонячні системи електроживлення малопотужних споживачів: дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / В.І. Климко; Мін-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів, 2016. – 209 с.
16. Науково-прикладний довідник з клімату СРСР. Вип. 10. УРСР; ред. Л. С. Березіна. – Л.: Гідрометіздат, 1967. – Ч.3 – 682 с.
17. NASA surface meteorology and solar energy - location [Електронний ресурс] / Atmospheric science datacenter [сайт]. – Режим доступу: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov> (дата звернення: 11.03.2026). — Назва з екрану.
18. Інструкція з вибору ФЕС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://erc.ua/erc-reviews/18924/instruktsiia-z-viboru-fies-fotoieliektrichnoyi-stantsiyi> (дата звернення: 12.03.2026). — Назва з екрану.
19. Microsoft Bing. Maps [Electronic resource]. – Access mode:

<https://www.bing.com/maps/> (last access: 16.03.2026). – Title from the screen.

20. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення [Електронний ресурс] / Будстандарт. Сервіс документів онлайн [сайт]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25887 (дата звернення: 18.03.2026). — Назва з екрану.

21. Сонячна панель Tongwei Solar TWMND-72HS570 Моно Topcon N-type Half-Cell [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://watt.net.ua/solnechnie-paneli/colnechnaja-panel-tongwei-solar-twmnd-72hs575w-mono-topcon-n-type-half-cell.html> (дата звернення: 26.03.2026). – Назва з екрану.

22. Однофазний гібридний інвертор Deye SUN-5K-SG03LP1-EU 5kW, 1Ф, 48V [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://infotech.com.ua/goods/3711> (дата звернення: 26.03.2026). – Назва з екрану.

23. Акумулятор літєвий LiFePo₄ 48В 50А. US2000С, Pylontech [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://solar-energy.com.ua/akkumulyatory/lifeo4litij-zhelezo-fosfatnye/akkumulyator-litievoj-lifepo4-48v-50a-us2000c-pylontech.html/> (дата звернення: 30.03.2026). – Назва з екрану.

24. Статті [Електронний ресурс] / Solar-Tech [Сайт]. – Режим доступу: [https:// solar-tech.com.ua/ua/articles/](https://solar-tech.com.ua/ua/articles/) (дата звернення: 30.03.2026). – Назва з екрану.

25. Запобіжник Victron Energy MEGA-fuse 150A/80V [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p2711518310> (дата звернення: 30.03.2026). – Назва з екрану.

26. Закон України Про охорону праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 6.04.2026). – Назва з екрану.

27. Петрунь А.О. Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів / А.О. Петрунь // Науково-виробничий журнал «Охорона праці і пожежна безпека». – 2021. – Вип. 2. – С. 18-22.

28. Пожарова О.В. Охорона праці: навчальний посібник / О.В Пожарова. – Одеса, 2022. – 86 с.

29. Кузнєцов С.І. Методичні рекомендації до написання розділу «Охорона праці» в дипломних роботах підготовки фахівців на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти для всіх спеціальностей, всіх освітньо-професійних програм, всіх факультетів / С.І. Кузнєцов. – Херсон, 2022. – с. 31.