НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

«На правах рукопису»
УДК 621.311.1:620.92

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ Олена БОРИЧЕНКО
«___» грудня 2024 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
освітня програма Системи забезпечення споживачів електричною енергією
на тему: «Електропостачання багатоквартирних житлових будинків шляхом встановлення сонячної електростанції**»**

Виконав: студент ІІ курсу, групи ГЕ-31мп
Внуков Валентин Дмитрович _____
Науковий керівник _*к.т.н., доц. Ярмолюк О.С.* _____
Нормоконтроль *провідний інженер_Прокопенко І.Д.* _____
Рецензент_____ _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет *Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту*

Кафедра *електропостачання*
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»

В.о. завідувача кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«___»_____2024 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Внукову Валентину Дмитровичу

1. Тема дисертації «Електропостачання багатоквартирних житлових будинків шляхом встановлення сонячної електростанції» науковий керівник дисертації *к.т.н., доц. Ярмолюк О.С.*, затверджені наказом по університету від 08 листопада *2024 р. № 5008-с.*
2. Строк подання студентом дисертації *13 грудня 2024 року.*
3. Об'єкт дослідження: *процеси генерації та споживання електроенергії у багатоквартирних житлових будинках за умов використання відновлюваних джерел енергії.*
4. Предмет дослідження: *технічні рішення, пов'язані з інтеграцією сонячних електростанцій у систему електропостачання багатоквартирних житлових будинків для підвищення енергоефективності та зменшення споживання традиційної енергії.*
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: *аналіз складових і можливості сонячної електростанції малої потужності; визначити оптимальну потужність і конфігурацію сонячної електростанції з урахуванням енергетичних потреб багатоквартирному житловому будинку; провести техніко-економічне обґрунтування встановлення сонячної електростанції, включаючи оцінку її окупності та впливу на зменшення витрат на*

електроенергію.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: *вступ, взаємозв'язок з іншими роботами, мета та завдання, об'єкт та предмет дослідження, методи дослідження, наукова новизна, практична реалізація, результати та висновки, апробація результатів.*
7. Орієнтовний перелік публікацій:
8. Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль *І.Д. Прокопенко*

9. Дата видачі завдання *30 жовтня 2024 року.*

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	01.04.2024	
2	Визначення методів дослідження	01.05.2024	
3	Оформлення першого розділу	01.06.2024	
4	Робота над другим розділом	01.07.2024	
5	Робота над третім розділом, практичного впровадження дисертаційної роботи	26.10.2024	
6	Розробка стартап проєкту	15.11.2024	
7	Оформлення дисертації	06.12.2024	
8	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	09.12.2024	
9	Передзахист магістерської дисертації	10.12.2024	
10	Захист дисертації	16.12.2024	

Студент _____ В.Д. Внуков

(підпис) (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____ О.С. Ярмолюк

(підпис) (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи: дисертація викладена на 126 сторінках, складається зі вступу, чотирьох розділів та висновків. У роботі міститься 27 рисунків, 20 таблиць, список використаних джерел із 44 найменувань на 3 сторінках.

Актуальність теми: У сучасних умовах постійного зростання цін на енергоносії, виснаження традиційних ресурсів, негативного впливу на довкілля та нестабільності в енергетичній системі, зокрема у зв'язку з частими відключеннями електроенергії або стабілізаційними відключеннями, виникає гостра потреба у впровадженні енергоефективних і автономних технологій електропостачання. Ці виклики роблять використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні електростанції, не лише бажаним, а й необхідним кроком для забезпечення стабільності енергопостачання.

Тимчасові відключення електроенергії, які стають все більш поширеними через технічні, економічні та зовнішні фактори (наприклад, воєнні дії), суттєво впливають на комфорт мешканців багатоквартирних будинків і функціонування критичної інфраструктури. Інтеграція сонячних електростанцій у системи електропостачання таких будинків може забезпечити:

- безперервне постачання електроенергії під час відключень,
- часткову або повну енергетичну автономність,
- зниження навантаження на централізовані мережі,
- мінімізацію витрат мешканців на електроенергію.

Зважаючи на глобальні тенденції переходу до "зеленої" енергетики та розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні, впровадження сонячних електростанцій є одним із ключових шляхів для вирішення енергетичних проблем. Важливим є також те, що держава стимулює такі проєкти через відповідні законодавчі ініціативи та програми підтримки.

Таким чином, тема дисертації є актуальною, оскільки пропонує дієві рішення для забезпечення енергетичної незалежності, стабільності електропостачання під час відключення електроенергії і підтримки стратегії сталого розвитку житлової інфраструктури.

Мета і задачі дослідження: Розробити технічні, економічні та організаційні рішення для інтеграції сонячної електростанції в систему електропостачання багатоквартирних житлових будинків, що забезпечить підвищення енергоефективності, енергетичної автономності та стабільності електропостачання, зокрема під час відключень електроенергії. Для досягнення зазначеної мети було поставлено та вирішено такі задачі:

- провести аналіз існуючих систем електропостачання багатоквартирних житлових будинків та їх енергоспоживання;
- визначити оптимальну потужність і конфігурацію сонячної електростанції з урахуванням енергетичних потреб будинку;
- провести техніко-економічне обґрунтування встановлення сонячної електростанції, включаючи оцінку її окупності та впливу на зменшення витрат на електроенергію.

Об’єктом дослідження є електропостачання багатоквартирних житлових будинків в умовах використання відновлюваних джерел енергії.

Предмет дослідження — процеси та технічні рішення, пов’язані з інтеграцією сонячних електростанцій у систему електропостачання багатоквартирних житлових будинків для підвищення енергоефективності та зменшення споживання традиційної енергії.

Методи дослідження — для вирішення поставлених задач у магістерській дисертації було застосовано метод інженерних розрахунків, експериментальні методи, техніко-економічний аналіз за допомогою комп’ютерного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблено новий підхід до інтеграції сонячної електростанції в систему електропостачання багатоквартирних житлових будинків, який враховує: особливості енергоспоживання будинків, необхідність забезпечення автономності під час відключень електроенергії, балансування енергетичних потоків за допомогою накопичувачів енергії та інтелектуальних систем управління.

Запропоновано техніко-економічне обґрунтування використання сонячних електростанцій у системах електропостачання багатоквартирних будинків, яке враховує сучасні ціни на енергоносії, вартість обладнання та перспективи окупності за умов державної підтримки та субсидій.

Уточнено методику оцінки екологічної ефективності систем електропостачання з урахуванням зменшення викидів парникових газів і впливу на довкілля в результаті впровадження сонячних електростанцій.

Особистий внесок. Наукові положення, наведені у магістерській дисертації отримано магістрантом самостійно.

Ключові слова: сонячна електростанція, багатоквартирний житловий будинок, електропостачання, відключення електроенергії, енергетична автономність, відновлювані джерела енергії, енергоефективність, накопичувачі енергії, техніко-економічне обґрунтування, екологічна ефективність.

ABSTRACT

Structure and volume of the work: the dissertation consists of 126 pages, including an introduction, four chapters, and conclusions. The work contains 27 figures, 20 tables, and a reference list of 44 sources spanning 3 pages.

Relevance of the topic: In modern conditions characterized by a constant rise in energy prices, depletion of traditional resources, negative environmental impacts, and instability in the energy system—particularly due to frequent power outages or stabilization shutdowns—there is an acute need to implement energy-efficient and autonomous electricity supply technologies. These challenges make the use of renewable energy sources, such as solar power plants, not only a desirable but also a necessary step toward ensuring stable power supply.

Temporary power outages, increasingly common due to technical, economic, and external factors (e.g., military actions), significantly affect the comfort of apartment building residents and the functioning of critical infrastructure. The integration of solar power plants into the electricity supply systems of such buildings can provide:

- uninterrupted power supply during outages,
- partial or complete energy autonomy,
- reduced load on centralized grids,
- minimized electricity costs for residents.

Given global trends toward green energy and the development of renewable energy sources in Ukraine, the implementation of solar power plants is one of the key ways to address energy challenges. Importantly, the state promotes such projects through relevant legislative initiatives and support programs.

Thus, the dissertation topic is relevant as it offers effective solutions for ensuring energy independence, stable power supply during outages, and supporting the sustainable development of residential infrastructure.

Objective and tasks of the study: the objective is to develop technical, economic, and organizational solutions for integrating a solar power plant into the electricity supply system of multi-apartment residential buildings to improve energy efficiency, autonomy, and stability, especially during power outages. To achieve this objective, the following tasks were set and accomplished:

- Analyze the existing electricity supply systems of multi-apartment residential buildings and their energy consumption patterns.
- Determine the optimal capacity and configuration of a solar power plant considering the building's energy needs.
- Conduct a techno-economic feasibility study for the installation of a solar power plant, including an assessment of its payback period and impact on reducing electricity costs.

Object of the study is electricity supply of multi-apartment residential buildings under conditions of using renewable energy sources.

Subject of the study - Processes and technical solutions related to the integration of solar power plants into the electricity supply systems of multi-apartment residential buildings to improve energy efficiency and reduce reliance on traditional energy sources.

Research methods - the master's dissertation employs engineering calculation methods, experimental approaches, and techno-economic analysis using computer modeling to address the defined tasks.

Scientific novelty of the results. A new approach to integrating solar power plants into the electricity supply systems of multi-apartment residential buildings has been developed, accounting for the specifics of building energy consumption, the need for autonomy during outages, and the balancing of energy flows using energy storage systems and intelligent management systems.

A techno-economic justification for using solar power plants in the electricity supply systems of multi-apartment buildings has been proposed, considering current energy prices, equipment costs, and payback prospects under state support and subsidies.

The methodology for assessing the ecological efficiency of electricity supply systems has been refined by considering the reduction of greenhouse gas emissions and the environmental impact resulting from the implementation of solar power plants.

Personal Contribution. The scientific findings presented in the master's dissertation were independently obtained by the author.

Keywords: solar power plant, multi-apartment residential building, electricity supply, power outages, energy autonomy, renewable energy sources, energy efficiency, energy storage, techno-economic feasibility, ecological efficiency.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ 12
ВСТУП 13
1 АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ І МОЖЛИВОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ 15
1.1 Визначення та термінологія сонячної енергетики 15
1.2 Процедура вибору інвертора, як складової сонячної електростанції 17
1.3 Вибір сонячної панелі, як складової сонячної електростанції 30
1.4 Програма енергоефективних проєктів «70/30» 34
Висновки до розділу 1 38
2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ 39
2.1 Визначення необхідної кількості сонячних панелей та їх встановлення 40
2.2 Вибір та розрахунок інвертора 50
2.2.1 Визначення об'ємів споживання електроенергії 51
2.2.2 Сонячні панелі 52
2.2.3 Підбір інвертора 53
2.2.4 Підбір акумуляторної батареї 53
2.2.5 Підбір контролера заряду 55
2.3 Рекомендований переріз проводів для сонячних електростанцій 55
2.4 Електрозахист для сонячної електростанції 57
Висновки до розділу 2 60
3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ БАГАТОКВАРТИРНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ 62
3.1 Характеристика об'єкта та початкові дані 62
3.2 Основні електротехнічні рішення 66
3.2.1 Вихідні дані 66
3.2.2 Технічні вимоги по виготовленню і монтажу 67

3.2.3 Протикорозійний захист та рекомендації стосовно протипожежного захисту 68
3.2.4 План електростанції 68
3.2.5 Мережі постійного струму та мережі 0,4кВ генерованих потужностей 69
3.2.6 Організація будівництва 76
3.3 Розрахунок потужності сонячної електростанції та кута нахилу 77
3.4 Економічна доцільність і термін окупності проєкту 86
3.5 Оцінка впливу на навколишнє середовище 95
3.5.1 Підстави для проведення оцінки впливу на навколишнє середовище 95
3.5.2 Оцінка дій планової діяльності на природне довкілля 96
3.6 Охорона праці при експлуатації об'єкта будівництва 100
3.6.1 Заходи щодо забезпечення безпеки процесів 100
3.6.2 Заходи щодо захисту персоналу від травмування 101
3.6.3 Вимоги до обслуговуючого персоналу 101
3.6.4 Вимоги безпеки 104
3.6.5 Виконання робіт на висоті 105
3.7 Комплексне управління безпекою та надійністю в інженерних системах і експлуатації об'єктів 108
Висновки до розділу 3 112
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ 114
4.1 Опис ідеї проєкту 114
4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту 117
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту 117
4.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту 119
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту 120
Висновки до розділу 4 121
ВИСНОВКИ 123
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 124

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

AC - Alternating Current;

BMS - Battery Monitoring Systems;

DC - Direct Current;

IEC - International Electrotechnical Commission;

ISO - International Organization for Standardization;

MPP - Maximum Power Point;

MPPT - Maximum Power Point Tracking;

NOCT - Nominal Operating Cell Temperature;

PV - Photovoltaic;

STC - Standard Test Conditions;

АКБ - Акумуляторна батарея;

ВДЕ - Відновлювані джерела енергії;

ККД - Коефіцієнт корисної дії;

ПЗЗ - Перетворювач змінного струму;

СЕС - Сонячна електростанція;

ФЕМ - Фотогальванічний елемент.

ВСТУП

Сучасний світ стоїть перед викликом переходу до стійкого та ефективного використання енергетичних ресурсів. Зростаючий попит на енергію, обмеженість традиційних джерел і необхідність зниження впливу на довкілля вимагають впровадження новітніх технологій і підходів в енергетичній сфері. Відновлювані джерела енергії (ВДЕ), зокрема сонячна енергетика, стають важливою складовою енергетичної трансформації, що дає можливість зменшити залежність від викопного палива та підвищити екологічність енергосистем.

В Україні, яка має значний потенціал для використання ВДЕ, активно реалізуються проєкти з установлення сонячних електростанцій і впровадження інноваційних технологій для управління енергетичними ресурсами. Одним із прикладів є впровадження фотовольтаїчних станцій у багатоквартирних будинках, що дає можливість зменшити витрати на електроенергію та поліпшити енергоефективність житлових будівель.

Одним із ключових напрямів розвитку енергетики в Україні є реалізація програми "70 на 30", яка передбачає державну підтримку заходів з підвищення енергоефективності житлових будівель. Відповідно до цієї програми, держава компенсує до 70% витрат на енергоефективні заходи, тоді як 30% фінансуються мешканцями. Цей підхід стимулює населення до впровадження сучасних технологій, таких як сонячні панелі, системи зберігання енергії та інші рішення, які сприяють зниженню енергоспоживання та витрат.

Крім того, актуальним напрямом є розробка нових алгоритмів і підходів для аналізу та оптимізації використання ВДЕ, які забезпечують стабільну роботу енергосистеми та покращують прогнозування виробництва й споживання електроенергії. Інноваційні підходи до управління енергетичними системами відкривають нові можливості для розвитку галузі, дозволяючи

максимально використовувати потенціал ВДЕ та підвищувати надійність постачання.

Таким чином, дана робота охоплює комплексні рішення, спрямовані на розвиток сонячної енергетики, підвищення енергоефективності та стійкості системи електропостачання житлового будинку, що є необхідними умовами для сталого розвитку та енергетичної незалежності країни.

1 АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ І МОЖЛИВОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

1.1 Визначення та термінологія сонячної енергетики

Стрінг — ланцюг послідовно з'єднаних панелей [1].

Photovoltaic (PV) масив або фотоелектричне поле — кілька об'єднаних стрінгів [1].

Maximum power point tracking (MPPT вхід або MPPT трекер) — це вбудований в інвертор контролер зі своїм входом, в завдання якого входить постійне відстежування точок максимальної потужності фотоелектричних модулів, внаслідок чого досягається максимальна продуктивність окремих стрінгів. Сучасні сонячні інвертори в залежності від моделі мають від одного до шести MPPT трекерів. При будівництві сонячних електростанцій можуть виникнути випадки, коли дах в певний момент часу затінюється, покрівля має складну конструкцію, де доводиться встановлювати панелі на різних схилах, або, коли частина поля встановлена на землі, а частина на даху. Розташування панелей з орієнтацією в різні боки призводить до зниження продуктивності. Наявність же окремих MPPT трекерів дозволяють під'єднати кілька полів з різною орієнтацією і кутом нахилу, тим самим виключивши взаємний вплив одного поля на інше. Кожен вхід розрахований на один стрінг. Чим складніше конфігурація даху, тим більше окремих входів потрібно при підборі інвертора [1].

Генерація — продуктивність СЕС, вимірюється в кВт·год, кількість електроенергії, яку може зробити СЕС за певний проміжок часу, за годину, день, місяць, рік, за весь період роботи [1].

Мережевий інвертор — пристрій для перетворення постійного струму від сонячних панелей в змінний струм для передачі в мережу. Мережевий інвертор, або за англійської термінологією Grid-tie invertor, є залежним від мережі або веденим мережею, тобто завжди працює тільки при наявності напруги в мережі

та без акумуляторних батарей. Як тільки напруга в мережі пропадає або виходить за межі норм, мережевий інвертор відключається, і СЕС перестає генерувати електроенергію [1].

Автономний інвертор — пристрій для перетворення постійного струму від акумуляторних батарей в змінний струм, але на відміну від мережевих інверторів, такі інвертори не скидають електроенергію в мережу, а працюють автономно для живлення електроприладів локально. Сучасні автономні інвертори можуть мати вбудований зарядний пристрій акумуляторних батарей від мережі, вбудований сонячний контролер заряду, які перетворюють цей інвертор в багатофункціональний пристрій для живлення будинку [1].

Гібридний інвертор — пристрій для перетворення постійного струму в змінний, об'єднує в собі функції як автономного, так і мережевого інвертора [1].

Оптимізатор — це перетворювач DC/DC, який з'єднується до окремого фотомодуля або до кількох фотомодулів для зменшення втрат в продуктивності СЕС при затіненні, забезпечує роботу кожної сонячної панелі в точці максимальної потужності [1].

Фотоелемент (cell), осередок — тонкі пластини кремнію, які з'єднуються між собою та утворюють сонячний фотомодуль [1].

Tier 1, Tier 2, Tier 3 — рейтинг виробників сонячних панелей. У сонячній енергетиці, рейтинг tier визначає рівень виробника, враховуючи якість і автоматизацію складальних ліній виробництва, обсяг продукції, що випускається, скільки виробник інвестує в дослідження, скільки років на ринку працює компанія і ряд інших показників [1].

Tier 1 — це 2% від усіх світових виробників. Це великі компанії з річним виробництвом понад 1 ГВт потужності сонячних батарей. Як правило, ці компанії мають повний цикл виробництва від вирощування кремнію до збірки панелей. Вони досить інвестують в наукові дослідження й оснащують виробництво сучасними роботизованими лініями. Зазвичай на ринку більше ніж 5 років [1].

Tier 2 — це малі та середні компанії з власним виробництвом. Вони мало чи зовсім нічого не витрачають на розробки та дослідження. Виробництво частково оснащено роботизованою технікою, але більшою мірою залежить від ручної праці. На ринку не менше 2-х років [1].

Tier 3 — як правило це заводи, які здійснюють збірку з готових елементів. До таких виробникам відносяться понад 90% компаній, що випускають сонячні батареї. Ці компанії не мають досліджень і в більшості своїй застосовують ручну працю на всіх етапах виробництва [1].

Сонячний кабель — Це провідник для з'єднання сонячних панелей, який має подвійну ізоляцію, перша служить для захисту від зовнішніх природних факторів, друга оболонка — електроізоляційна [1].

Конектор MC4 — стандарт роз'єму для швидкого, надійного і герметичного з'єднання сонячних панелей між собою і панелей з інверторами [1].

1.2 Процедура вибору інвертора, як складової сонячної електростанції

Мова піде про гібридні інвертори, що працюють з фотомодулями та акумуляторними батареями. Ці інвертори перетворюють згенеровану фотомодулями напругу в звичну для нас напругу змінного струму. Вони компенсують власне споживання на об’єкті, а також можуть віддавати в мережу надлишки генерації. Використання акумуляторних батарей дає можливість створювати власне електроживлення під час блекаутів [2].

Всі інвертори, що вміють працювати з акумуляторними батареями можна поділити на два класи [2]:

- низьковольтні;
- високовольтні.

Низьковольтними будемо називати інвертори, в котрих використовується акумуляторна батарея, зібрана в групи по “12 В”, “24 В” або “48 В”. Це

номінальні значення напруги, бо реальні значення напруг залежать від типу батареї (літій-іонна або свинцево-кислотна) та рівня заряду в ній [2].

Вибір номінальної напруги.

Все залежить від потужності інвертора. Чим менша потужність інвертора, тим меншою буде напруга на акумуляторній батареї. Наприклад, в інверторах до 1 кВт найчастіше використовується напруга “12 В”. Якщо інвертор буде 2 кВт і більше, то , скоріше за все, там потрібна буде акумуляторна батарея з більшою напругою в “24 В” [2].

Для забезпечення живлення навантаження в автономному режимі (під час блекауту), інвертор бере живлення з акумуляторної батареї. При цьому з батареї протікає електричний струм. А величина цього струму залежить від потужності і напруги [2]:

$$I_{бат} = \frac{P_{інв}}{U_{бат}}. \qquad (1.1)$$

Для малих значень напруги акумуляторної батареї значення струму буде великим. Наприклад:

$$I_{бат} = \frac{1000}{12} = 83\ А,$$

для інвертора потужністю 1 кВт. Lля інвертора потужністю 2 кВт значення струму буде вдвічі більше – 166 А. Для таких великих струмів потрібний кабель з великою площею поперечного перерізу (35 мм^2 і більше, також в залежності від довжини кабелю). Також потрібні комутуючі плавкі запобіжники великих розмірів і номіналів. Це все створює складнощі для монтажу та обслуговування. Зменшити значення струмів, що протікають в колі акумуляторної батареї, можна збільшивши її напругу [2].

Збільшення напруги на акумуляторній батареї також покращує ефективність перетворення електроенергії. Чим більша напруга на акумуляторі тим простіше зробити з неї “220 В” змінного струму.

Найбільш поширені моделі інверторів в побуті мають потужності від 5 до 15 кВт. В цих інверторах використана напруга “48 В”. Що буде, якщо таку напругу на батареї залишити в більш потужних системах на 20 кВт і більше? Це призведе до суттєвого зростання товщини кабелів. Вже для 20 кВт станції потрібен провід з площею поперечного перерізу 150 мм^2. Звісно, з таким товстим кабелем вкрай складно працювати. Такий провід буде складати значну частину бюджету будівництва станції, але це не основна складність. Великі струми вимагають дуже якісного контактного з’єднання всіх ділянок електричного кола. Якщо з часом контактні з’єднання ослабнуть це призведе до збільшення опору, що, в свою чергу, призведе до нагрівання (з усіма можливими негативними наслідками) [2].

З іншого боку, сама акумуляторна батарея має витримувати великі струми розряду. Якщо акумуляторний блок не розрахований на великий струм розряду, тоді потрібно збільшувати ємність всієї групи, роблячи декілька груп, з’єднаних послідовно [2].

Уникнути всіх вищезгаданих складнощів дає можливість високовольтна шина акумуляторної батареї. Слід враховувати, що в системі обидва компоненти мають бути розраховані на роботу з високовольтною шиною: інвертор та акумуляторна батарея [2].

Якщо для високовольтного інвертора потрібно використати літій-іонну акумуляторну батарею, тоді потрібно особливу увагу приділити не лише виробнику батарей, але й правильно підібрати тип останнього [2].

Справа в тому, що всередині літій-іонних акумуляторних батарей знаходить так званий блок Battery Monitoring Systems (BMS). Це мікропроцесорний силовий модуль, що контролює роботу блоку. Він завжди розрахований на роботу з певною напругою. Вони також поділяються на високовольтні та низьковольтні. Як правило, всі вони мають номінальну

напругу “48” (точніше “51,2 В”, але може відрізнятися в залежності від хімічного складу елементів та їх кількості). Для отримання високовольтної батареї такі збірки з’єднуються послідовно. Але не можна з’єднувати послідовно блоки, що розраховані лише на роботу в “48” системах. Потрібно вибирати лише такі “48 В” блоки, котрі дозволяють послідовне з’єднання [2].

Як правило, високовольтні групи батарей додатково оснащуються ще одним керуючим блоком BMS. Конструктивно він має окремий корпус і підключається між інвертором та збіркою блоків. Всі частини акумуляторної батареї (Центральний контролер BMS та блоки акумуляторних батарей (АКБ)) з’єднані між собою не лише силовим кабелем, але й сигнальним кабелем, через котрий відбувається обмін інформацією між інвертором та управління роботою батареї. Всі блоки батареї передають інформацію про свій внутрішній стан (напругу на елементах, температуру всередині блоків, струми заряду/розряду). Центральний BMS керує струмом заряду та розряду, щоб він був в межах допустимих значень і призводив до руйнування внутрішньої структури BMS [2].

Хоча використання високовольтних батарей усуває небезпеки пов’язані з великими струмами, з іншого боку воно зобов’язує підвищену обережність в дотриманні електробезпеки. Безпечного рівня напруги не існує, тим паче, якщо мова йде про високовольтні батареї [2].

В інверторах Deye використовуються напруги на акумуляторній батареї до 800 В DC. Це потребує особливої уважності під час збірки та вводу в експлуатацію таких систем [2].

Потрібно ретельно вибирати провід кіл акумуляторної батареї. Він має бути розрахований на робочу напругу 1000 В DC. Найпоширеніший провід типу ПВ-3 не підійде, оскільки останній розрахований на напруги до 600 В. Провід високовольтних батарей повинен мати достатню площе поперечного перерізу, а також подвійну ізоляцію. Тому краще купувати такий кабель в комплекті разом з акумуляторною батареєю [2].

Повний комплект акумуляторної збірки, включаючи центральний контролер BMS, всі необхідні кабельні перемички та аксесуари може надати офіційний представник заводу-виробника. Такий представник повинен мати не лише широкий асортимент продукції, але й достатню кількість аксесуарів та комплектуючих для правильного та надійного монтажу [2].

При монтажі та експлуатації високовольтних систем також слід дотримуватись інших правил поводження з електроустановками і пам’ятати про небезпеку враження електричним струмом [2].

Як ми вже раніше підрахували, при потужності в 20 кВт в низьковольтних системах потрібен буде кабель 150 мм^2. Побудуємо станцію такої ж потужності на високовольтному інверторі [2].

Візьмемо систему з 20 кВт інвертором і АКБ із запасом потужності в 20 кВт·год. Нехай акумуляторна батарея буде високовольтною. Це значить, що всі блоки будуть з’єднані послідовно. Загальна номінальна напруга на всій групі АКБ буде складати 51,2 · 4 = 205 В DC. При максимальній потужності навантаження на інверторі в автономному режимі через АКБ буде протікати струм 107 А (при врахуванні коефіцієнта корисної дії перетворювача). Для забезпечення протікання такого струму достатньо проводу з площею поперечного перерізу лише 25 мм^2 [2].

Звісно, що довготривалий струм в 100 А для більшості виробників АКБ не бажаний і для довготривалого навантаження в 20 кВт потрібно буде використати ємність більшу. Дана ємність була вибрана лише для демонстрації доцільності використання високовольтних інверторів [2].

Отже, як ми побачили з прикладу, високовольтні інвертори дають суттєву перевагу при потужностях станцій від 20 кВт. І хоча низьковольтні інвертори дозволяють паралельну роботу для нарощування потужності, в системах 50 кВт і більше буде вкрай ускладнене балансування потужності на шинах “48 В” [2].

Вибір інвертора повинен починатися з визначення типу сонячної установки: мережева, автономна, гібридна. Кожна з перерахованих систем має свої особливості, під які підходить тільки спеціальний інвертор. Наступний

етап – це визначення потужності сонячних панелей, місця і способу їх установки [3].

Важливими факторами при виборі інвертора є [3]:

1. установка частини сонячних панелей під іншим кутом;
2. установка сонячних панелей на різних майданчиках з різною орієнтацією;
3. врахування періодичного затінення панелей.

Всі ці фактори впливають на вибір конкретної моделі інвертора, наприклад, інвертора з двома контролерами MPPT або кілька окремих інверторів в установці (рис. 1.1) [3].

Рисунок 1.1 – Інвертори [3]

Потужність інвертора і сонячних панелей.

Номінальна потужність на стороні змінного струму AC визначає максимальну потужність споживачів, які можуть бути підключені до інвертора, або максимальний обсяг енергії, який може бути підключений до мережі. Цей параметр завжди можна знайти в технічному паспорті. Для оптимальної ефективності інвертор повинен працювати якомога ближче до номінальної потужності. Залежно від моделі інвертора ефективність перетворення може становити до 98 %. Якщо потужність згенерованого струму від сонячних панелей падає, наприклад, в похмурий день, коли сонячна інтенсивність не перевищує 200 Вт/м² – ефективність інвертора різко падає [3].

Потужність по постійному струму DC, як правило, не фіксована і визначається на підставі вихідної потужності. Оптимальний діапазон

потужності сонячних панелей становить від 80 до 120 % від номінальної вихідної потужності інвертора. Виробники інверторів зазвичай рекомендують трохи «перевантажувати» інвертор по стороні постійного струму, оскільки 98 % часу сонячні панелі працюють максимум на 80 - 90 % від їх потужності [3].

Крім того, потужність сонячних панелей падає з часом експлуатації, це пов'язано з ефектом деградації кремнієвих фотоелементів. Для розуміння деградації – необхідно ознайомитися з технічним паспортом панелей, а також спостерігати за ними [3].

Технічні характеристики інвертора.

Робочий діапазон інвертора розташований між значеннями напруги старту $U_{dc\ start}$ і максимальною напругою $U_{dc\ max}$. Як тільки напруга постійного струму з боку сонячних панелей досягає значення $U_{dc\ start}$, перетворювач активується і починає пошук точки максимальної потужності (Maximum power point – MPP). Якщо ця точка знаходиться між $U_{dc\ min}$ і $U_{dc\ start}$, інвертор запуститься і почне працювати. Поки напруга не перевищує мінімальне значення діапазону MPPT $U_{mpp\ min}$ – $U_{mpp\ max}$, інвертор працює з неповною потужністю. Найвища ефективність перетворювача досягається з напругою V_{nom}, так що конфігурація ланцюгів сонячних панелей повинна видавати напругу, близьку до U_{nom} інвертора [3].

Відповідність потужності сонячних панелей.

Кожен інвертор має діапазон напруги MPPT, цей параметр визначає, при якій напрузі на вході постійного струму інвертора буде виявлена максимальна точка потужності алгоритмом MPP. Другий важливий параметр – мінімальна напруга перемикання інвертора. Це значення напруги PV-модулів, при яких інвертор запускається і починає генерувати енергію [3].

Обидва зазначених значення визначають структуру підключення сонячних панелей в стрінг, їх кількість і спосіб з'єднання (послідовний, паралельний, паралельно-послідовний). Кожна панель в стрінгу генерує певну напругу і струм, в залежності від миттєвого освітлення, і відповідає вольт-

амперної характеристики. Сонячні панелі (залежно від схеми підключення) – додають напругу або струм, у будь-якому випадку ця сума не може перевищувати допустимих значень для обраної моделі інвертора на стороні постійного струму [3].

Максимальний струм в ланцюзі.

Струм, що генерується сонячними панелями, залежить від типу з'єднання. У послідовному з'єднанні сила струму дорівнює значенню найслабшої ланки в стрінгу, наприклад, частково затіненій панелі. При паралельному з'єднанні струм дорівнює сумі струмів від окремих панелей [3].

Максимальна напруга в ланцюзі.

На відміну від струму напруга, що видається сонячною панеллю, збільшується при падінні температури панелі. Розрахунки проводять для граничної температури батареї -25 °С. Теоретично більш високі напруги матимуть місце при подальшому зниженню температури, однак на практиці взимку практично неможливо отримати температуру на сонячному модулі менш -25 °С в умовах необхідної освітленості для початку генерації енергії [3].

Схема СЕС наведена на рисунку 1.2-1.5.

Рисунок 1.2 – Схема СЕС [3]

Під час вибору інвертора, звернути увагу:

1. Правильно розраховувати кількість сонячних панелей в стрінгу. Необхідно вивчати техпаспорт кожного інвертора. Для визначення мінімальної кількості панелей – рядок Мінімальна вхідна напруга, для максимальної – враховуючи MPP трекера інвертора рядок Діапазон корисних напруг MPP [3].

2. Детальна перевірка сумарної кількості сонячних фотомодулів, зважаючи на номінальну потужність інвертора. Зверніть увагу на рядок в техпаспорті Номінальна вихідна потужність, і, як згадувалося раніше, можете підключати до інвертора сонячні батареї сумарної потужності в співвідношенні 0,8-1,2 [3].

Іноді виробники допускають і більшу кількість сонячних панелей з співвідношенням до 1,6. Таке підключення може бути виправдане в разі підключення ланцюгів панелей з різним орієнтуванням щодо півдня, наявністю ділянок затінений або в регіонах з низькою сонячної інтенсивністю. Проєктуючи систему з таким перевантаженням переконайтеся, що виробник допускає такий варіант і гарантія на інвертор передбачає і такий монтаж [3].

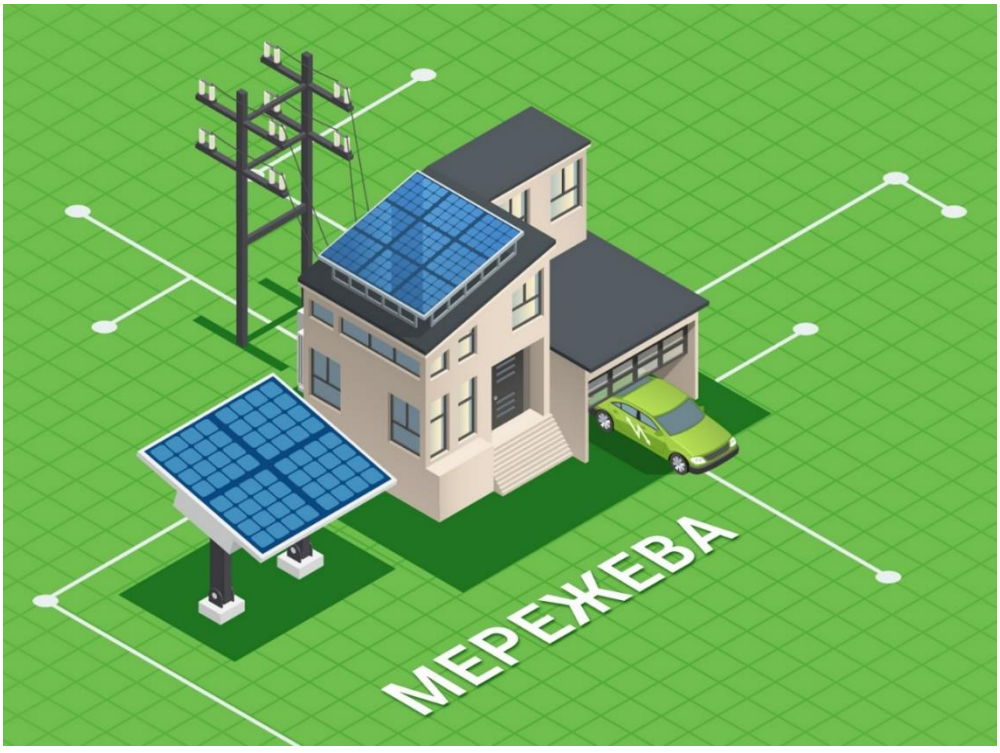

Рисунок 1.3 - Мережева електростанція [3]

Рисунок 1.4 - Автономна електростанція [3]

Рисунок 1.5 - Гібридна електростанція [3]

MPPT розшифровується в дослівному перекладі як максимальна точка потужності трекера. Тобто трекер це так званий канал до якого необхідно підключати сонячні фотомодулі об'єднаних у стрінг. Стрінгом в свою чергу називають певну кількість з’єднаних між собою фотомодулів, як правило послідовно. На рисунку 1.6 наведений стрінг з 3 панелей [4].

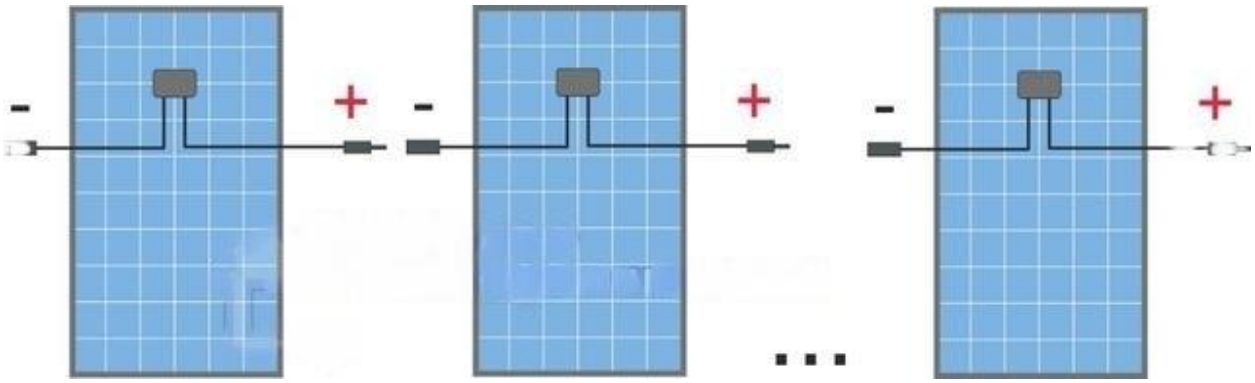

Рисунок 1.6 – Стрінг панелей [4]

Робота MPPT трекера полягає в перетворенні напруги яка поступає від сонячних фотомодулів у напругу що необхідна інвертору для подальшого його перетворенні та роботи в цілому. Підключеня до MPPT на рисунку 1.7 [4].

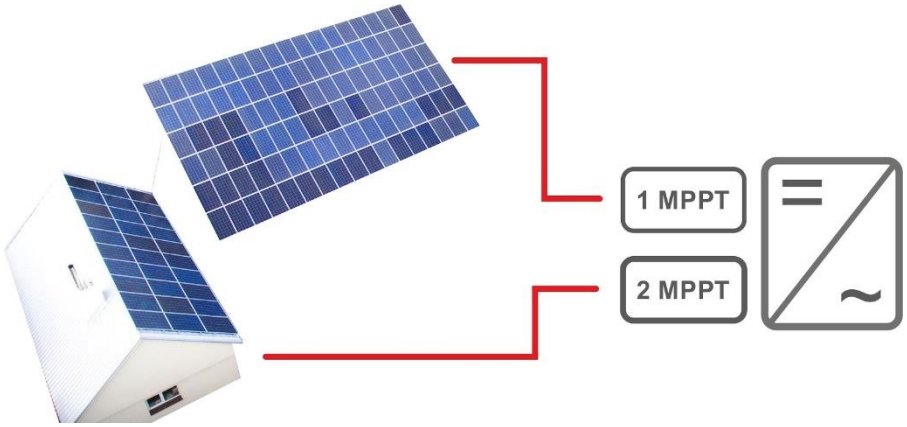

Рисунок 1.7 – Підключення стрінгу до інвертора [4]

В загальному нам необхідно зрозуміти що на кожний окремий ухил покрівлі де ми плануємо вмонтувати сонячні фотомодулі необхідний окремий MPPT трекер. У випадку коли на 1 MPPT трекер підключено фотомодулі з

різних площин (схід-захід). Сумарна генерація такого стрінгу буде рівнятись за потужністю найменш генеруючого фотомодуля [4].

Для зручності підключення мережеві інвертори як правило на кожний MPPT трекер мають декілька стрінгів, це щось на зразок розгалужувача, або трійника у звичайній розетці. Слід розуміти що на кожний стрінг трекера необхідно підключати однакову кількість фотомодулів. У випадку коли на 1 MPPT трекер підключено фотомодулі з різною довжиною стрінгу (наприклад 18 та 20 панелей послідовно з'єднаних) інвертор може видавати помилку та блокувати роботу трекера [4].

Вибір інвертора підбирається з урахуванням його потужності, яка приблизно має співпадати з сумарною потужністю фотомодулів. Як правило кожний інвертор додатково містить запас по потужності на рівні ~ 20 %. Це означає що практично кожний інвертор можна в середньому перевантажити на 20 % [4].

MPPT це контролер сонячного електричного заряду, основна функція якого полягає у відстеженні точки максимальної потужності, з урахуванням вхідної напруги від сонячних панелей, стану батареї (струму, температури, опору електрохімічних комірок) та інших факторів [5].

Це дає можливість:

1. Продовжити служби термін акумуляторної батареї (зазвичай на основі LIFEPO4 – літій-ферум полімерні) [5].

2. Максимально використовувати всю енергію, отриману від сонця. Існує таке поняття як коефіцієнт перетворення. У якісних контролерах він досягає 95% і більше [5].

3. Убезпечити електронні схеми інвертора та батарей від перенапруги, стрибків електрики [5].

Сонячна енергія сама собою нестабільна. Залежить від часу доби, сезону, хмарності, прозорості атмосфери (наявності дрібнозважених літаючих мікрочастинок), старіння фотоелементів, чистоти з поверхні та ін [5].

І всі ці коливання, які якщо накласти на графік протягом дня, являють собою хаотичну послідовність піків і спадів.

І з усім цим вхідним енергетичним хаосом, що надходить від сонячних панелей і покликаний боротися MPPT [5].

Відстеження точки максимальної потужності.

Приклад. 10 сонячних панелей, кожна 450 Вт видають сумарно максимум 450·10=4500 Вт. Під цю потужність підбираємо інвертор 5 кВт. І батарею напругою 48 і струмом заряду 100 В, що становить 48 · 100 = 4,8 кВт. Як бачимо всі елементи, у нас збалансовані. Але це все розрахункові показники [5].

І усією цією справою керує MPPT, по-перше, спочатку «збираючи інформацію», по-друге, перерозподіляючи енергію в залежності від цієї зібраної інформації [5].

Тобто напруга на виході MPPT-контролера може постійно змінюватись, щоб налаштувати оптимальний струм в акумуляторі (рис. 1.8) [5].

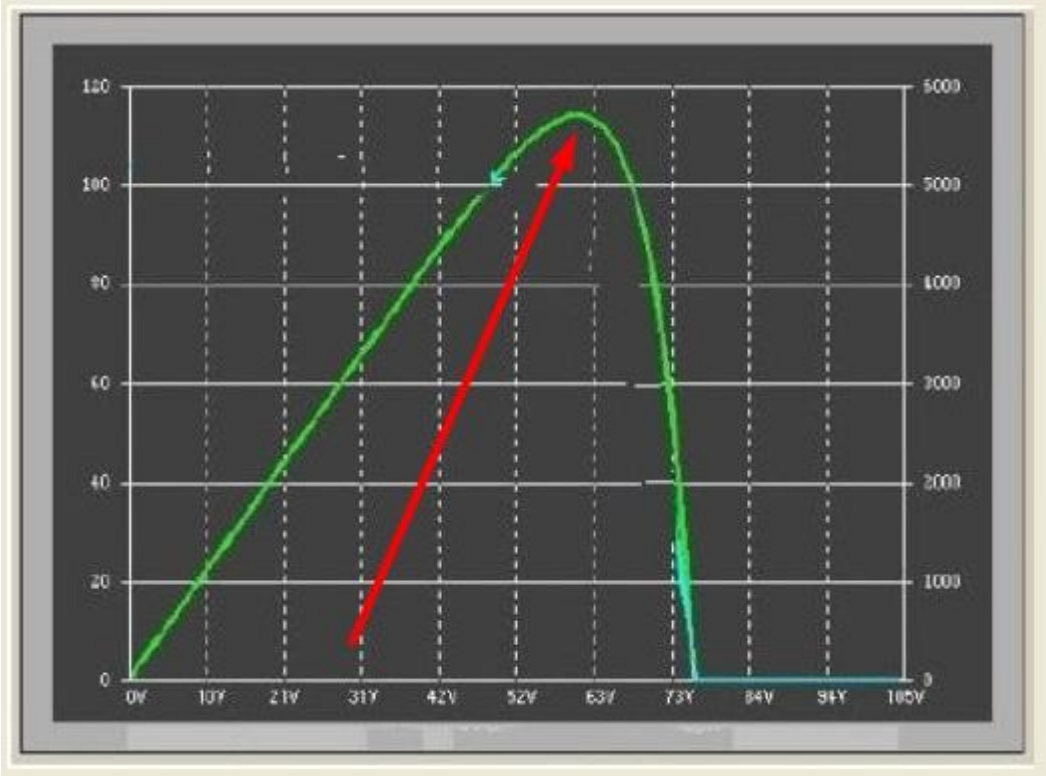

Рисунок 1.8 – Графік максимальної потужності [5]

Якщо подивитися криву зелену лінію, то помітно, що вона має гострий пік угорі - це є точка максимальної потужності. MPPT «шукає» саме цю точку, виконує перетворення напруги/струму, щоб змінити її точно так, як потрібно батареї в конкретний момент часу. Ситуація може змінюватись щомиті. І цей пік постійно зсувається із зміною умов освітлення/погоди, температури, електричних параметрів [5].

Бренди сонячних інверторів.

На ринку України представлені більше 50 торгових марок. В залежності від рівня розвитку компанії, наявності технологічної бази для досліджень та новацій, виробничих потужностей можна чітко виділити компанії топ рівня, середня ланка та компанії з Китаю [6].

До топ рівня ми відносимо виробників – SMA, ABB, Fronius. Принципова відмінність даних брендів є широка лінійка моделей, наявність значної гарантії на обладнання, сервісна підтримка, зручні сервіси он-лайн моніторингу роботи інверторів. Перелічені аргументи не є вичерпним і кожна з компаній намагається відрізнятися чимось унікальним [6]:

ABB – підкреслює свій статус одного з найбільшого світового виробників електротехнічного обладнання, а найкращі технології застосовує у своїх мережевих перетворювачах.

SMA – спирається на лідерські позиції продажів інверторів у всьому світі, підкреслюючи розробки німецької інженерної школи.

Fronius – є одним з найкращих виробників зварювальних апаратів на протязі останніх 20 років. Інженерний досвід здобутий в зварюванні був поступово впроваджений в розробці сонячних інверторів.

1.3 Вибір сонячної панелі, як складової сонячної електростанції

Технологія виробництва.

Сонячні батареї виготовляють з кристалічного кремнію. Це найпоширеніша речовина для створення сонячних комірок. Даний вид кремнію

розділяється на види, які визначаються розміром кристалів і методиками виготовлення. Окремий вид сонячних панелей – тонкоплівкові [7].

Для виготовлення монокристалічних сонячних батарей використовують максимально чистий кремній, технологія є порівняно дорогою, а тому й коштують монокристалічні батареї дорожче, ніж полікристалічні. Відмінною ознакою монокристалічних сонячних батарей є високий показник коефіцієнта корисної дії (ККД) (близько 17-22 %) [7].

Особливий відблиск поверхні полікристалічних сонячних батарей пояснюється специфікою технологічного процесу виробництва. Полікристалічий кремній, являє собою сукупність з безлічі різних кристалів, які утворюють єдиний модуль. Така технологія вимагає менших енерговитрат, а відповідно, і собівартість отриманого кремнію менша. Представлені на ринку полікристалічні сонячні батареї мають ККД 15-18 %, при цьому значно дешевші [7].

Принципово зрозуміти те, що основною відмінністю між моно та полікристалічними сонячними батареями, при однаковій номінальній потужності, буде лише габаритний розмір сонячної панелі та їх вартість [7].

Температурний коефіцієнт.

В реальних умовах сонячна панель нагрівається, в результаті чого номінальна потужність сонячного модуля знижується. За результатами досліджень встановлено, що при підвищенні температури на 1 градус Цельсія від стандартних умов Standard Test Conditions (STC) (вище +25 ˚C), сонячний модуль буде втрачати потужність згідно з температурним коефіцієнтом, який в середньому у моно- і полікристалічних сонячних модулів становить -0,41 %. Для прикладу за умови нагріву поверхні сонячної панелі до температури + 65 ˚C, потужність сонячної панелі 275 Вт зменшиться до 225 Вт [7].

Деградація.

Монокристалічні сонячні модулі відзначаються більшою швидкістю деградації в порівнянні з полікристалічними сонячними модулями в перший рік. Потужність якісної полікристалічної сонячної батареї в перший рік

знижується в середньому на 2 %, монокристалічні на 3 %. У наступні роки монокристалічний модуль деградує на 0,71 %, в той час як полікристалічний деградує на 0,67 % в рік. Вельми незначна різниця [7].

Показник продуктивності в життєвих умовах.

Даний параметр показує, наскільки реальне значення потужності може відхилятися від даних, отриманих виробником в ідеальних лабораторних умовах. Такий показник можна зустріти в паспортах під назвою Normal Operating Cell Temperature (NOCT). Для проведення такого тесту застосовують параметри, які наближенні до життєвих, а не лабораторних умов експлуатації сонячних батарей [7]:

- Рівень інсоляції 800 Вт/м^2.
- Температура +20 ˚С
- Сила вітру – 1 м/с

На практиці сонячна панель потужністю 275 Вт буде потужністю 205 Вт. Купуючи сонячні панелі, обов’язково ознайомтеся з сертифікатом тестування [7].

Сьогодні в Україні величезним попитом користуються китайські панелі, так як їх вартість на порядок нижча від європейських та американських аналогів. Пояснюється це різним рівнем оплати праці, податковими пільгами та екологічними нормами в країнах Європейського Союзу, Північної Америки в порівнянні з азіатськими країнами. Відповідно, значно простіше перенести виробництво до Китаю чи Малайзії. Логічним при цьому виникає питання – за умови зниження ціни – знижується якість? Відповідь лежить в площині належного фабричного лабораторного контролю (від виробника), підтвердження характеристик через проходження процедур у міжнародних центрах експертизи та сертифікації, включення виробників у різноманітні рейтинги а також відповідність вимогам національного законодавства [7].

Сертифікація у міжнародних центрах експертизи.

За умови, роботи сонячних панелей у фотоелектричних системах, підключених до мережі Європейського Союзу, вони повинні бути

сертифіковані знаком європейського відповідності СЕ. Це обов'язкова умова для отримання податкових відрахувань за використання енергоефективних товарів. Різним типам модулів відповідають певні сертифікати. Так, для панелей на кристалічному кремнії передбачений сертифікат CEI EN 61215. Найвідоміша лабораторія Європі – TUV, і якщо продукт має відмітку "TUV", то він, безумовно, відповідає високим європейським вимогам. В США найавторитетнішими висновками вважається тести каліфорнійського агентства California Energy Commission. При проведенні тестувань, для отримання сертифіката, фотоелектричні елементи повинні подолати наступні випробування, визначення потужності в стандартних умовах інсоляції, перевірка роботи в екстремальних температурних умовах і випробування механічної надійності [7].

Сертифікація сонячних батарей в Україні.

Сонячні панелі/батареї не входять в перелік товарів що підлягають обов'язковій сертифікації на території України. Великі постачальники, щоб зняти всі пересторогі перед клієнтами, добровільно сертифікують свою продукцію в Україні. Перелічені в розділі топ-виробники проходять обов'язкову сертифікацію в європейських інстанціях, що можна відслідкувати на офіційних сайтах лабораторій, а також знайти підтвердження на маркуваннях пристроїв [7].

Сонячні панелі українського виробництва.

В Україні реальних виробників сонячних батарей можна перелічити на пальцях однієї руки [7].

ПАТ "Квазар" – на сайті стверджується, що фотомодулі мають українську складову, підтверджену відповідним сертифікатом. Компанія займається будівництвом та сервісним обслуговуванням сонячних електростанцій [7].

ТОВ "ПРОЛОГ СЕМИКОР" – компанія займається виробництвом зливків монокристалічного кремнію. Виробляють панелі нестандартних розмірів та потужності [7].

Організація виробництва сонячних панелей в Україні залишається неконкурентною справою, відносно світових виробників, в силу об’єктивних обставин: недостатнього фінансування наукових досліджень, застарілості виробничої бази, відсутності держаної підтримки. Єдиний шанс використання сонячних панелей українського виробництва – це часткове застосування панелей в будівництві промислових СЕС. Згідно закону України «Про електроенергетику», за умови використання обладнання українського виробництва в об’єктах електроенергетики забезпечується додаткова надбавка до «Зеленого тарифу» + 10 % [7].

Ціна і якість сонячної панелі.

Якщо розглядати питання вибору сонячних панелей комплексно, то економія на придбанні обладнання в майбутньому обернеться істотними втратами в генерації, які в рази будуть перевищувати кошти, які «вдалося» заощадити на першому етапі. Для вибору якісних сонячних панелей перед покупкою для себе поставте ряд параметрів [7].

1.4 Програма енергоефективних проєктів «70/30»

У 2017 році Київ виділив 30 млн грн на енергоефективні гранти для об’єднаних співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ) і житлово-будівельних кооперативів (ЖБК) [8].

У наступному році з міського бюджету було спрямовано 30 млн грн на гранти для будинків ОСББ і ЖБК. Кошти були спрямовані на проведення енергоефективних заходів, вартість яких на 70% оплачуватиме місто [8].

Програма «70 на 30 » за 2014-2015 рр. збільшила масштаби фінансування майже у 6 разів – із 5,5 млн грн до 20 млн грн. У 2015 році енергоефективні заходи провели в 13 будинках, які загалом зекономили на електриці та тепловій енергії 4,6 млн грн. Протягом 2016 року 62 будинки отримали гранти на відшкодування 70 % вартості енергоефективних проєктів у житлових будинках. Сума допомоги з боку міста цим будинкам складала 20 млн грн. Мешканці зібрали ще 10 млн грн [8].

Попередні підрахунки показали, що за рік мешканці економили 193 тисячі гривень на тепловій енергії і електриці. Загальна вартість робіт – 418 тисяч гривень, із яких місто відшкодувала 284 тисячі. Тобто люди вклали в роботи трохи більше 133 тисяч гривень, які повернулись за рахунок економії менш як за один рік [8].

Місто опрацьовує аналогічний механізм для будинків, де ще не створено ОСББ або ЖБК [8].

Зараз на фінальній стадії затвердження порядку проведення аналогічного алгоритму виконання енергоощадних заходів. Мешканці зможуть отримати допомогу на термомодернізацію будинку зібравши збори, сформувавши свій енергоефективний проєкт і подавши його до Департаменту житлово-комунальної інфраструктури КМДА [8].

Із 16 жовтня до 22 грудня 2023 року Київська міська державна адміністрація приймала заявки для участі в міській конкурсній програмі енергоефективних проєктів «70/30» на 2024 рік. Програма дає змогу мешканцям житлових будинків, у яких створені ОСББ та ЖБК, здійснити енергоефективні заходи для зменшення вартості комунальних послуг. Відповідне рішення прийняла профільна комісія конкурсу енергоефективних проєктів [9].

Завдяки їй вдалося успішно виконати близько 700 проєктів з енергоефективності. Програма передбачає механізм співфінансування, де 70% вартості робіт оплачує місто, 30 % – мешканці. Проєкт реалізовується на умовах конкурсу, де найголовнішим чинником є співвідношення обсягу інвестованих коштів та рівня досягнутої енергоефективності. Мається низка прикладів, коли вкладені кошти люди повертали менш, ніж за один-два опалювальні сезони [9].

Навіть в умовах воєнного стану місто не припинило реалізацію таких важливих для містян проєктів, що мають попит і працюють в інтересах людей [9].

До переліку робіт, що можуть бути виконані в будинку, належать [9]:

- капітальний ремонт, реконструкція, модернізація, технічне переоснащення, встановлення нового індивідуального теплового пункту або пунктів;
- капітальний ремонт та утеплення фасаду;
- капітальний ремонт і теплоізоляція даху і підвальних перекриттів;
- капітальний ремонт – заміна вікон на енергозберігаючі та дверей у місцях загального користування;
- капітальний ремонт, реконструкція, модернізація внутрішньобудинкових інженерних мереж;
- встановлення вузла обліку теплової енергії та/або гарячої води;
- капітальний ремонт, реконструкція, модернізація систем електричного освітлення із заміною освітлювальних приладів у місцях загального користування на енергоефективні та/або із встановленням датчиків руху для регулювання освітленості в місцях загального користування;
- реконструкція або технічне переоснащення систем електропостачання та/або теплопостачання та/або гарячого водопостачання із застосуванням відновлюваних чи альтернативних джерел енергії;
- капітальний ремонт, реконструкція, технічне переоснащення внутрішньобудинкового електричного обладнання;
- інші енергоефективні заходи.

Алгоритм проходження конкурсу по програмі «70 / 30» зображено на рисунку 1.9.

Рисунок 1.9 – Алгоритм конкурсу «70/30» [8]

Висновки до розділу 1

Сонячна енергетика є одним з ключових напрямків у розвитку сучасних відновлюваних джерел енергії. Визначення та термінологія, пов'язані з цією галуззю, охоплюють такі поняття, як сонячні панелі, інвертори, акумулятори, фотогальванічні модулі та СЕС. Ці елементи складають основу сонячної енергетичної системи, яка здатна генерувати електроенергію з екологічно чистого та невичерпного джерела – сонячного світла.

Одним з важливих аспектів під час проєктування СЕС є вибір інвертора, який перетворює постійний струм, згенерований сонячними панелями, на змінний, придатний для побутового або промислового використання. Основні критерії вибору інвертора включають його потужність, ефективність, надійність та сумісність із сонячними панелями.

Ще одним критично важливим елементом є вибір сонячної панелі, яка має забезпечити максимально ефективне використання сонячної енергії. При виборі панелей враховуються такі показники, як потужність, ефективність, тип (монокристалічні, полікристалічні або тонкоплівкові), довговічність та витривалість у кліматичних умовах.

Українська програма енергоефективних проєктів «70/30» спрямована на підтримку проєктів з підвищення енергоефективності шляхом співфінансування. Програма забезпечує відшкодування до 70% вартості таких заходів для будинків, що беруть участь у проєкті, що стимулює населення до впровадження енергоефективних технологій, у тому числі сонячних електростанцій. Завдяки цьому, користувачі отримують змогу не лише зменшити витрати на енергоносії, але й внести свій вклад у зменшення впливу на довкілля.

Загалом, перехід на сонячну енергію та реалізація енергоефективних проєктів у рамках програми «70/30» сприяють зниженню споживання традиційних енергоресурсів і підвищенню енергетичної незалежності країни.

2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Сонячна електростанція (СЕС) — раціональна інвестиція та надійне джерело енергії у будь-яку пору року. На дахах приватних будинків, офісів, підприємств та на земельних ділянках повсюдно зустрічається різна кількість панелей та різна комплектація СЕС. Щоб дізнатись, скільки фотовольтаїчних панелей та іншого обладнання потрібно, використовуйте калькулятор СЕС [10].

Визначення призначення СЕС та кількості споживаної електроенергії.

Щоб розрахувати сонячну електростанцію, необхідно визначитися з її призначенням — для вирішення якої проблеми вона потрібна [10]:

1. Для повного чи часткового електропостачання власних потреб підійде автономна чи гібридна СЕС. Щоб вибрати комплект станції, необхідно мати уявлення про кількість споживаної електричної енергії за рік та про середнє споживання за добу у різні періоди. До сумарної витрати електрики, що вимірюється в кіловат-годинах (кВт·год), входить потужність всіх електроприладів. Лампи освітлення, холодильники, телевізори, кондиціонери, нагрівальні пристрої, двигуни та механізми використовують електрику.

2. Якщо планується частину електроенергії спрямовувати на електроживлення приватного будинку, дачі, офісу, готелю, спорткомплексу, підприємства або фермерського господарства, а надлишки продавати в мережу - крім власного навантаження, потрібно визначити розмір інвестицій у проєкт та наявність відповідної площі для встановлення станції. Для цього завдання передбачена гібридна електростанція [10].

3. Якщо метою є фінансовий прибуток від продажу електроенергії за "зеленим" тарифом, необхідна мережева станція. В даному випадку потрібно визначити суму початкових вкладень, окупність та не забути про законодавчі обмеження до об'єктів, для яких застосовується "зелений" тариф [10]:

- приватні домогосподарства $P \leq 30$ кВт;

- споживачі, енергетичні кооперативи Р ≤ 150 кВт (без ліцензії);
- юридичні особи - для об'єктів, встановлених на землі та/або покрівлях / фасадах будівель Р ≤ 10 ≤ МВт (з ліцензією).

2.1 Визначення необхідної кількості сонячних панелей та їх встановлення

Розрахунок сонячних батарей виконується з урахуванням безлічі факторів, що впливають на ефективність виробництва електроенергії та, як наслідок, на їх кількість [10]:

- кристалічний склад фотоелементів - монокристалічні або полікристалічні;
- орієнтація панелей - південна, південно-східна, західна та інші варіанти розміщення;
- вибір оптимального кута нахилу, при якому генерація буде максимальною;
- спектр та інтенсивність сонячної радіації у регіоні встановлення відповідно до таблиці інсоляції міст України;
- бренд-виробник та якість панелей в цілому – це безпосередньо впливає на їх ефективність, температурний коефіцієнт, швидкість деградації та довговічність;
- якість монтажу та технічного обслуговування.

Для визначення кількості сонячних батарей потрібно спочатку вибрати їх тип і визначитися з сумарною потужністю СЕС. Як приклад наведемо розрахунок з монокристалічним модулем Risen RSM120-8-590M 590 Вт розміром 2172×1303×35 мм (площа 2,83 м^2) [10].

Для СЕС 12,0 кВт вам знадобляться панелі в кількості [10]:

$$\frac{12\ 000\ \text{Вт}}{590\ \text{Вт}} \approx 20{,}34\ \text{шт.}$$

Округлюємо у більшу сторону - отримуємо 21 шт. Фактична потужність електростанції становитиме [10]:

$$590 \text{ Вт} \cdot 21 \text{ шт.} = 12390 \text{ Вт.}$$

Розрахунок площі покрівлі або ділянки під модулі виконується за формулою [10]:

$$2{,}83 \text{ м}^2 \cdot 21 \text{ шт.} = 59{,}43 \text{ м}^2.$$

Маючи вихідні дані, розрахунок сонячних батарей калькулятором спростить завдання [10].

Калькулятор сонячних панелей допоможе розрахувати навантаження, вибрати обладнання з урахуванням інсоляції та деяких інших нюансів, дати уявлення про очікувану окупність та вироблення електрики в різні сезони і т.д. [10].

Підключення сонячних панелей.

Вибір схеми підключення сонячних панелей залежить як від характеристик самих панелей та інвертора, так і від їх розташування [11]. Існує кілька типів схем підключення сонячних панелей: послідовна, послідовно-паралельна та паралельна (остання практично не застосовується у домашніх сонячних електростанціях) [11].

Перед аналізом схеми підключення розглянемо основні параметри сонячних панелей, які необхідно враховувати при розрахунку стрінга та виборі методу підключення [11]:

- V_{oc} (напруга холостого ходу): максимальна напруга сонячної панелі, яка використовується для визначення довжини стрінга (ланцюга) сонячних панелей. Цей параметр залежить від характеристик інвертора [11].
- I_{sc} (струм короткого замикання): максимальний струм сонячної панелі. Його значення має відповідати параметрам інвертора (зокрема, MPPT-

трекера). Перевищення цього параметра може призвести до зниження ефективності роботи системи, втрати гарантії або навіть пошкодження інвертора [11].

- V_{mp} (напруга на точці максимальної потужності): стандартна робоча напруга сонячної панелі, яка забезпечує максимальну потужність.
- Температурний коефіцієнт Voc: показує зміну напруги панелі залежно від температури навколишнього середовища.

Як приклад, розглянемо сонячні панелі *Ja Solar JAM60S20-380/MR* та інвертор *HUAWEI SUN2000-30KTL-M3*. Для визначення кількості панелей у стрінгу необхідно врахувати максимальну вхідну напругу постійного струму інвертора, яка, згідно з технічною документацією, становить 1100 В. Цей параметр визначає допустиме максимальне значення напруги для стрінга, відповідно до характеристик інвертора [11].

Припустимо, простий розрахунок:

$$\frac{1100}{41{,}62} = 26{,}43 \text{ панелі},$$

де 1100 – максимальна вхідна напруга інвертора, В;

41,62 – V_{oc} сонячної панелі, В.

Вірний розрахунок потребує врахування температурного коефіцієнта V_{oc}, який для даних панелей становить −0,272 %/°C. З урахуванням зниження температури до −25°C, напруга панелі зростає на 13,5%, отже [11]:

$$26 \cdot 41{,}62 \cdot 1{,}135 = 1228 \text{ В}.$$

Для цього робимо поправку, на температурний коефіцієнт, і формула має вигляд [11]:

$$\frac{1100}{41{,}62 \cdot 1{,}135} = 23{,}28 \text{ панелі.}$$

При визначенні кількості панелей у стрінгу необхідно завжди округляти отримане значення до меншого цілого числа. У разі сумнівів доцільно зменшити кількість панелей на одну, щоб забезпечити безпеку та стабільність роботи системи. У нашому випадку оптимальною кількістю є 22 панелі.

Температурний коефіцієнт V_{oc} кожної панелі слід брати з технічної документації виробника, оскільки цей параметр безпосередньо впливає на розрахунок напруги стрінга з урахуванням температурних змін [11]. Це гарантує точність розрахунків та відповідність системи технічним вимогам інвертора.

Для спрощення розрахунків вже є онлайн калькулятори, у тому числі від Huawei [11].

Приймаємо для розрахунків 22 панелі. Підставляємо характеристики однієї сонячної панелі при +25 градусах (STC) [11]:

$$V_{ос\ стрінга} = 41{,}62 \cdot 22 = 915{,}64 \text{ В},$$
$$V_{тр\ стрінга} = 34{,}77 \cdot 22 = 764{,}94 \text{ В},$$
$$I_{\ стрінга} = 11{,}47 \text{ А},$$
$$P_{\ стрінга} = 380 \cdot 22 = 8360 \text{ Вт}.$$

У інверторі є 4 MPPT-трекери, кожен із яких ми можемо підключити до мережі [11]:

$$P_{\ станції\ DC} = 8360 \cdot 4 = 33440 \text{ Вт}.$$

Теоретично отримані результати виглядають задовільними. Сонячні панелі функціонують за умов, далеких від оптимальних. Їх робота може здійснюватися при неоптимальних кутах нахилу, змінній освітленості та нестабільній температурі. Це призводить до зниження їх ефективності, і в реальних умовах експлуатації характеристики панелей здебільшого наближаються до параметрів, визначених у режимі NOCT [11]:

$$V_{ос\ стрінга} = 39{,}14 \cdot 22 = 861 \text{ В},$$
$$V_{тр\ стрінга} = 32{,}72 \cdot 22 = 719{,}84 \text{ В},$$
$$I_{стрінга} = 9{,}30 \text{ А},$$
$$P_{стрінга} = 287 \cdot 22 = 6314 \text{ Вт}.$$

І майже завжди:

$$P_{\ станції\ DC} = 6314 \cdot 4 = 25256 \text{ Вт}.$$

Інвертор матиме недостатню потужність на вході.

Щоб виправити цю ситуацію та підвищити ефективність роботи станції, необхідно враховувати кількість сонячних батарей. Для цього частина стрінгів будується паралельно [11].

Перед цим необхідно перевірити, чи не перевищуються наступні показник інвертора - Максимальний вхідний струм (на MPPT), у нашому випадку може бути не більше 26 А, виходить 22,94 [11].

Тоді є варіанти:

1. Зробити 2 паралельні стрінги, по:

$$8360 \cdot 2 \cdot 2 = 33440 \text{ Вт}.$$

Та залишок з 2 стрінгів зробити без паралелі:

$$33440 + 8360 + 8360 = 50160 \text{ Вт.}$$

Більшу кількість панелей не потрібно ставити.

2. Обмежитись трьома стрінгами, з’єднаними паралельно, але помістити менше панелей у кожний стрінг – 21 [11]:

$$380 \cdot 21 \cdot 3 \cdot 2 = 47880 \text{ Вт.}$$

Максимально-оптимальне рішення, і ще один стрінг залишається вільним.

3. Приймаємо конфігурацію на 5-ти стрінгах, 2 у паралелі + 1, разом:

$$8360 \cdot 2 \cdot 2 + 8360 = 41800 \text{ Вт.}$$

Рекомендований мінімум.

Інші варіанти підключення також є можливими та мають практичне обґрунтування, однак їх необхідно ретельно враховувати у процесі проектування [11].

Також допускаються компромісні конструкції, залежно від рівня затінення, орієнтації панелей щодо сторін світу та їхніх кутів нахилу. Проте такі рішення є унікальними для кожного окремого випадку і потребують індивідуального підходу до аналізу та розрахунків [11].

Кут встановлення сонячних панелей.

Як було виявлено в численних експериментах та на прикладі реальних об’єктів, кут нахилу суттєво впливає на продуктивність фотомодулів. Обравши не той кут, власник станції може недорахуватись до 20 % виробітку. Насправді, розрахунок кута зробити надзвичайно просто. Достатньо дізнатися приблизну широту регіону, де розміщується об’єкт. Для визначення оптимального нахилу

панелі влітку, віднімемо 15° від значення широти. Взимку ж додаємо 15° (рис.2.1). Оберемо широту Київської області [12].

Рисунок 2.1 – Кут нахилу сонячних панелей в різні сезони [12]

Як бачимо у таблиці 2.1, Київська область розміщується на 50°27' північної широти та 30°31'25" східної довготи [12].

Таблиця 2.1 – Залежність куту нахилу від широти місцевості [12].

Широта місцевості	Кут нахилу
0-15 °C	15 °C
15-25 °C	Кут нахилу рівний широті
25-30 °C	+/- 5 °C до широти
30-35 °C	+/- 10 °C до широти
35-40 °C	+/- 15 °C до широти
Більше 40 °C	+/- 20 °C до широти

Тому в даному регіоні рекомендується влітку виставляти кут нахилу панелей у 30º, а зимою – 70°. Але є одне але. Виставляти оптимальний кут можна лише в тому випадку, якщо фотомодулі розміщуються на поворотній металоконструкції. Коли ж вони змонтовані на даху або на нерухомій конструкції, відштовхуємось від того, чи хочемо забезпечити максимальний виробіток влітку, чи вибрати середнє значення нахилу (між 70° та 30°) для більш рівномірного показника продуктивності. Обидві стратегії мають свої переваги. В першому випадку, ми максимізуємо значення виробітку станції саме в ті місяці, на які припадає найбільший рівень сонячної інсоляції – це травень, червень, липень та серпень (таблиця нижче, кВт·год/м^2/день). Так ми отримаємо найбільший прибуток від продажу електроенергії по «зеленому тарифу» [12].

Якщо ж розмістимо панелі при куті 50 º, то дещо зменшимо степінь виробітку станції з травня по вересень, зате збільшимо взимку і ранньою весною. Такий варіант підійде, якщо господарство потребує більшої кількості електроенергії саме зимою. Крім цього, сніг не так осідатиме на фотомодулях [12].

Загалом існує три варіанти встановлення сонячних панелей [13]:

- Установка сонячних батарей на нерухому конструкцію
- Установка на двовісний трекер (поворотну платформу, яка може обертатися за сонцем в двох площинах)
- Установка на одноосьовий трекер (платформа може змінювати тільки одну вісь, найчастіше — ту що відповідає за нахил)

У варіантів №2 і №3 є свої переваги (значне збільшення виробітку), але є і недоліки (більш висока ціна, необхідність додаткової площі і т.п.) [13].

Залежність вироблення електроенергії панелями сонячних батарей потужністю 1 кВт на широті місцевості 37.3 ° від кута нахилу і орієнтації (таблиця 2.2) [13].

Таблиця 2.2 – Залежність вироблення електроенергії

Кут нахилу	**Азимутальний кут Сонця**	**Річне виробництво електроенергії, кВт·год**
37.3°	180° (південь)	1273
37.3°	135° (південний-захід/південний-схід)	1189
37.3°	90° (захід/схід)	989
37.3°	45° (північно-захід/північно-схід)	743
37.3°	0° (північ)	620
15°	180° (південь)	1221
15°	135° (південний-захід/південний-схід)	1183
15°	90° (захід/схід)	1083
15°	45° (північно-захід/північно-схід)	975
15°	0° (північ)	925
45°	180° (південь)	1254
45°	135° (південний-захід/південний-схід)	1163
45°	90° (захід/схід)	945
45°	45° (північно-захід/північно-схід)	668
45°	0° (північ)	529
60°	180° (південь)	1164
60°	135° (південний-захід/південний-схід)	1072
60°	90° (захід/схід)	845
60°	45° (північно-захід/північно-схід)	542
60°	0° (північ)	374
90° (вертикально)	180° (південь)	800
90° (вертикально)	135° (південний-захід/південний-схід)	771
90° (вертикально)	90° (захід/схід)	611
90° (вертикально)	45° (північно-захід/північно-схід)	369

Продовження таблиці 2.2

90° (вертикально)	0° (північ)	239
0° (горизонтально)	Не застосовується	1099

З таблички видно, що оптимальна вироблення протягом року це нахилити сонячні батареї 45 ° в південному напрямку, і при цьому можна оцінити втрати, якщо розташуємо сонячну електростанцію з відхиленням [13].

Розрахунок кількості сонячної енергії, що отримується сонячними панелями при падінні сонячних променів під кутом, відмінним від 90 °, розглянемо на наступному прикладі. Сонячні панелі орієнтовані на південь, без поздовжнього нахилу. Сонце світить з південного сходу. Лінія, проведена перпендикулярно між сонячними батареями і напрямком на Сонце, має кут, рівний (рис. 2.2) [13]:

$$\frac{360}{8} = 45°.$$

Ширина одного пучка падаючого сонячного випромінювання буде дорівнювати [13]:

$$\frac{\tan(|90 - 45|)}{\sin(|90 - 45|)} = 1{,}41 \text{ м.}$$

Кількість сонячної енергії, що отримується сонячними панелями, дорівнюватиме:

$$\frac{1}{1{,}41} \cdot 100\% = 71\%,$$

від потужності, яка була б отримана, якщо Сонце світило з півдня [13].

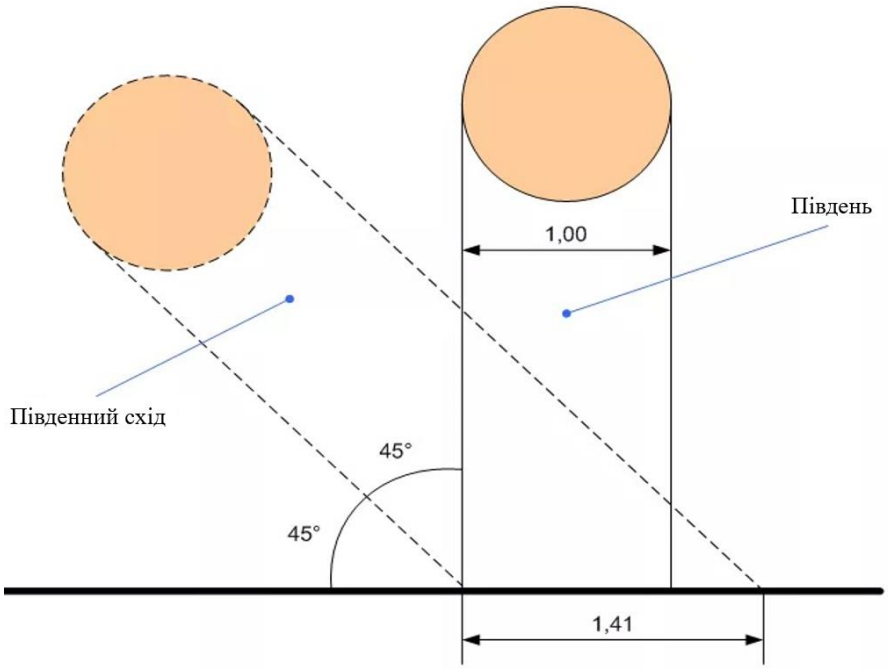

Рисунок 2.2 – Розрахунок сонячного пучка [13]

Коли коштів недостатньо, і змонтувати поворотну конструкцію надто дорого, рекомендується розміщувати панелі на статичній конструкції з кутом нахилу у 35°. Саме такий нахил панелей призведе до максимального річного виробітку станції. 30 кВт станція на основі полікристалічних панелей покаже сумарну генерацію у 33,5 МВт при нахилі у 35°, тоді як при нахилі у 50° річне виробництво впаде приблизно на 1 МВт [12].

Тому не слід нехтувати таким поняттям, як нахил панелей, адже показник генерації та, в підсумку, кінцевий прибуток, певною мірою залежить від нього [12].

2.2 Вибір та розрахунок інвертора

Основні компоненти системи.

Сонячна фотоелектрична система включає в себе різні компоненти. Основними компонентами сонячної фотоелектричної системи є контролер сонячного заряду, інвертор, акумуляторна батарея, допоміжні джерела енергії і навантаження (прилади) [14].

- PV-модуль (сонячна панель, сонячна батарея) - перетворює сонячне світло в електроенергію (постійний струм DC) [14].
- Контролер заряду - регулює напругу і струм, які виходять від панелей PV, що йдуть до АКБ і запобігає перезарядку акумуляторів і продовжує їх термін служби [14].
- Інвертор - перетворює вхідний постійний струм від PV панелей (або вітряка) в змінний струм для використання споживачем [14].
- Акумуляторна батарея (АКБ) - зберігає енергію для подальшого використання (при відсутності мережі або незадовільної її якості), по суті це ємність з електроенергією [14].
- Навантаження (споживач) - це електричні прилади, підключені до сонячної фотоелектричної системі, такі як: освітлення, телевізор, комп'ютер, холодильник і т. д [14].
- Допоміжні джерела енергії - генератор (дизель, бензин, газовий) або інші ВДЕ (вітряк, гідроелектростанція) [14].

Припустимо в домі присутні електроприлади [14]:

- Електричний чайник - потужність 1200Вт, працює 0,15 години / день.
- Холодильник – 75 Вт, 12 годин / день.
- Телевізор – 150 Вт, 4 години / день.
- Освітлення лампи LED – 5 Вт, 14 шт, 5 годин / день.
- Акумулятори 12 В.

2.2.1 Визначення об’ємів споживання електроенергії

Першим кроком в розробці сонячної фотоелектричної системи є з'ясування загального споживання енергії яке має генеруватися PV системою [14]:

Виконуємо розрахунок загальної кількості ват-годин на день для кожного пристрою, що використовується. Потім сумуємо значення споживання

електроенергії для всіх пристроїв, щоб визначити загальну добову потребу в енергії для всього обладнання [14].

(1200 Вт · 0,15 год) + (75 Вт · 12 год) + (150 Вт · 4 год) + (5 Вт · 14 шт · · 5 год) = 2030 Вт·год/добу.

Розраховуємо загальну кількість Вт·год на день, необхідне для модулів PV [14].

2075 · 1,3 = 2639 Вт·год/добу.

2.2.2 Сонячні панелі

Різні PV модулі будуть виробляти різну кількість енергії. Щоб дізнатися потужність модулів PV - потрібно орієнтуватися на загальну споживану пікову потужність. Вироблена пікова потужність (W_p) залежить від розміру модуля PV і кліматичних умов. Щоб визначити розмір PV-модулів, обчислюємо наступне [14]:

Потужність, необхідна від модулів PV. Розділіть загальну кількість ват-годин на день, необхідну від модулів PV, на 3,1, фактор генерації панелі [14].

$$W_p = \frac{2639 \text{ Вт} \cdot \text{год/добу}}{3{,}1} = 852 \text{ Вт}.$$

Виконуємо розрахунок кількісті PV-панелей для системи. Отриману відповідь розділимо на номінальну вихідну потужність одного модуля. Округлюємо дробову частину до наступного найбільшого повного числа, це і буде необхідна кількість PV-модулів [14].

$$\frac{852}{540} = 2 \text{ модулі (потужністю по } 540\text{Вт}).$$

Результатом обчислення є мінімальна кількість панелей PV. Якщо буде встановлено більше PV-модулів, система буде працювати продуктивніше. Якщо використовується менша кількість PV-модулів, система може взагалі не працювати під час хмарних періодів [14].

2.2.3 Підбір інвертора

Номінальна вхідна потужність перетворювача ніколи не повинна бути нижче, ніж загальна потужність приладів. Інвертор повинен мати таку ж номінальну напругу, що і акумулятор (або блок АКБ) [14].

Для автономних систем інвертор повинен бути досить потужним. Потужність інвертора повинна бути на 25-30 % більше, ніж приладів. У разі експлуатації двигунів або компресорів - типорозмір перетворювача повинен бути в 3 рази більше ємності цих приладів [14].

Номінальна потужність інвертора повинна бути такою ж, як і номінальна потужність PV, щоб забезпечити безпечну і ефективну роботу [14].

$$1200 + 75 \cdot 3 + 150 + 5 \cdot 14 = 1645 \text{ Вт},$$
$$1645 \text{ Вт} \cdot 1{,}3 = 2138{,}5 \text{ Вт}.$$

Відповідно - нам підходить гібридний інвертор з потужністю мінімум 2,2 кВт (наприклад Must 3034 VPK потужністю 3 кВт) [14].

2.2.4 Підбір акумуляторної батареї

Тип акумуляторної батареї, рекомендований для використання в СЕС, представляє собою акумулятор із глибоким циклом розряду. Такі батареї спеціально розроблені для розрядки до низького рівня залишкової енергії, а також для швидкої перезарядки або циклічного заряду і розряду протягом тривалого періоду експлуатації.

Акумуляторна батарея повинна мати достатню ємність (зазвичай це блок, що складається з кількох акумуляторів), щоб забезпечити накопичення енергії

для роботи приладів у нічний час та у похмурі дні. Для визначення необхідної ємності батареї необхідно виконати наступні розрахунки [14]:

- Розрахувати загальну кількість ват-годин на день, яку споживають прилади (у нашому прикладі це 2030 Вт·год/добу) [14].
- Поділити загальну кількість ват-годин на день на коефіцієнт 0,85, що враховує втрати енергії в процесі зарядки та розрядки батареї [14].

$$\frac{2030}{0{,}85} = 2388 \text{ Вт} \cdot \text{год/добу}.$$

Розділимо отриману відповідь, на 0,6 - для врахування глибини розряду (DOD 60 %) [14].

$$\frac{2388}{0{,}6} = 2985 \text{ Вт} \cdot \text{год/добу}.$$

Розділимо результат на номінальну напругу батареї (12 В) [14].

$$\frac{2985}{12} = 249 \text{ А} \cdot \text{год/добу}.$$

Помножимо відповідь на дні автономії (кількість днів, які Вам необхідно щоб система працювала коли немає енергії, створюваної панелями PV, або при відсутності мережі), щоб отримати необхідну Ампер-годинну ємність акумулятора з глибоким циклом розряду [14].

$$249 \text{ А·год /добу} \cdot 3 \text{ доби} = 747 \text{ А·год}.$$

Таким чином, батарея повинна бути підібрана 12 В на 800 А·год і забезпечувати 3-денну автономію (АКБ 200 А·год – 4 шт.). Варто не забувати

про те, що система може бути 12 В, 24 В або 48 В, що впливає на схему підключення АКБ між собою [14].

2.2.5 Підбір контролера заряду

Контролер заряду зазвичай розраховують по потужності масиву PV, струм і напругу для заряду АКБ. З практики - підбір контролера заряду полягає в тому, щоб потужність масиву PV розділити на 13 (13 якщо система 12 В, 26 – 24 В, 52 – 48 В) і підібрати найближчий типорозмір КЗ з деяким запасом [14]:

$$\frac{540 \cdot 2}{26} = 42 \text{ А.}$$

2.3 Рекомендований переріз проводів для сонячних електростанцій

Від правильності вибору перерізу проводів залежить надійність, ефективність і безпеки роботи всієї системи [15].

Таблиця 2.3 - Рекомендований переріз в лінії постійного струму при підключенні фотомодулів до контролера заряду або інвертора [15]

Тип станції	**Напруга в точці максимальної потужності, В**	**Переріз жили лінії, мм^2**		
		до 10 м	**10 — 25 м**	**25 — 50 м**
Автономні	30	10	16	25
	60	6	10	16
	90	4	6	10
Мережеві	360	4	4	6
	620	4	4	4

Таблиця 2.4 - Рекомендований переріз в лінії постійного струму при підключенні акумуляторів до інвертору [15]

Струм розряду , А	**Переріз кабелю, мм²**		
	12В	**24В**	**48В**
50	25	16	10
100	35	25	16
120	50	35	25
200	70	50	35

Вибір переріз кабелю виходячи з розрахунку за формулою:

$$I_{\text{розр}} = \frac{P_{max\ \text{інвертора}}}{U_{\text{АКБ}}}, \quad (2.1)$$

де $I_{розр}$ — максимальний струм розряду, що може виникнути при нормальному режимі роботи системи, А;

$P_{max\ \ інвертора}$ — максимальна потужність інвертора (або максимальна потужність навантаження системи), Вт;

$U_{АКБ}$ — сумарна напруга АКБ, В.

Приклад:

Дано:

$P_{max\ інвертора}$ = 10000 ВА

Напруга на АКБ = 48 В

Рішення:

Максимальний струм розряду:

$$I_{\text{розр}} = \frac{10000}{48} = 208 \text{ А.}$$

Підбираємо перетин з таблиці 2.4 при напрузі системи 48 В і при струмі разряду 208 А перетин проводу буде 35 мм^2.

Таблиця 2.5 - Рекомендований переріз у лінії постійного струму при підключенні інвертора до мережі [15]

Потужність, кВт (кіл-сть фаз)	Переріз кабелю, мм^2				
	до 10 м	10–25 м	25–50 м	50–75 м	75–100 м
3 (1Ф)	4	6	10	16	25
5 (1Ф)	4	10	16	25	25
5 (3Ф)	4	4	4	6	10
10 (3Ф)	4	4	6	10	16
15 (3Ф)	4	6	10	10	16
20 (3Ф)	10	10	16	25	25
25 (3Ф)	10	10	16	25	25
30 (3Ф)	10	16	16	25	25

Примітка: Інформація подана з урахуванням втрат в кабелі менше 1%

2.4 Електрозахист для сонячної електростанції

Кожна СЕС, незалежно від типу (автономна, мережева чи гібридна), піддається ризикам аварії, джерелом якої можуть різноманітні фактори [16]:

- несприятливі атмосферні явища сильний вітер, блискавка, ожеледь;

- людський фактор пов’язаний з помилками монтажу або навмисним вандалізмом;
- обставинами пов’язаними з аварійними режимами роботи загальної енергомережі.

Враховуючи високу вартість обладнання, що встановлюється при монтажі СЕС, а також підвищені вимоги до надійності роботи фотоелектричних систем протягом тривалого терміну необхідно забезпечити їй необхідний електротехнічний захист. На практиці, для виконання таких завдань на об’єкті будівництва встановлюються спеціалізовані щити електротехнічного захисту постійного та змінного струму [16].

1. Захист по стороні постійного струму DC (сонячні панелі):

З метою забезпечення повноцінного захисту СЕС від перевантажень по струму, можливого перенапруги (наприклад, в неї вдарить блискавка) та інших подібних проблем проводиться установка спеціальних щитів DC. В середньому кожна секція сонячних батарей потребує встановлення обмежувача перенапруги, вимикача навантаження, і двох запобіжників на плюс і мінус [16];

2. Захист по стороні змінного струму AC (інвертор):

Всі інвертори обладнані власним захистом, якими є запобіжники. Однак для того, щоб заміна пошкоджених елементів стала набагато зручніше, з боку мережі для СЕС рекомендується встановити окрему систему захисту. У такий захист входить пристрій захисного відключення, автоматичний вимикач та блискавкозахист [16].

Принципово важливо зрозуміти, що для належної та гарантованої роботи вищезгаданого обладнання слід використовувати належні комплектуючі перевірених світових брендів, що спеціалізуються на виробництві обладнання в сфері сонячної енергетики [16].

Аспект на який варто звернути увагу – для кожної СЕС в залежності від типу, потужності, комплектації підбирається свій комплект електротехнічного захисту, який прораховується інженерами [16].

СЕС підключена до зовнішньої електромережі піддається загрозам в декількох областях:

- в установці постійного струму між фотоелектричними модулями і інвертером (наприклад, виникнення струмів короткого замикання, перепад струму внаслідок затінення фотопанелі) [16];
- в монтажі змінного струму в місці підключення до інвертора і загальної мережі (наприклад, через зростання напруги в місці приєднання інвертора, коливань напруги в мережі) [16];
- у низьковольтній мережі до якої підключені, наприклад, датчики, контролери [16].

До системи захисту сонячних батарей входять [16]:

- запобіжники I-го і II-го рівня, автоматичні вимикачі струму;
- обмежувачі перенапруги (розрядники);
- монтаж заземлення, зрівнювання потенціалів;
- блискавкозахист (громовідведення).

В фотоелектричних системах існують також інші засоби захисту, що входять до складу самих елементів, наприклад, пропускні діоди [16].

З метою забезпечення повноцінного захисту СЕС від перевантажень по струму, можливого перенапруги (наприклад, в неї вдарить блискавка) та інших подібних проблем проводиться установка спеціальних щитів DC. В середньому кожна секція сонячних батарей потребує встановлення обмежувача перенапруги, вимикача навантаження, і двох запобіжників на плюс і мінус [16].

Всі інвертори обладнані власним захистом, якої є запобіжники. Однак для того, щоб заміна пошкоджених елементів стала набагато зручніше, з боку мережі для СЕС рекомендується встановити окрему систему захисту. У такий захист входить пристрій захисного відключення і автоматичні вимикачі. Ці пристрої убезпечать інвертор від струмів, і захистять обладнання [16].

Висновки до розділу 2

Проєктування СЕС є багатокомпонентним процесом, що включає комплексний розрахунок усіх її елементів для досягнення оптимальної ефективності. Правильна методика розрахунку СЕС є критично важливою, оскільки враховує загальну потужність, необхідну для забезпечення споживання електроенергії, а також місцеві кліматичні умови, що впливають на продуктивність станції.

Першочергово важливим етапом є визначення необхідної кількості сонячних батарей, що залежить від щоденного енергоспоживання, інтенсивності сонячного випромінювання в регіоні та технічних характеристик обраних панелей. Точний розрахунок кількості панелей дає можливість забезпечити необхідний обсяг виробленої електроенергії та уникнути як надлишкових витрат, так і дефіциту енергії.

Наступний важливий аспект — підключення сонячних панелей, яке може здійснюватись послідовно, паралельно або комбіновано, залежно від необхідного рівня напруги та струму. Вибір методу підключення впливає на загальні електричні параметри системи, тому він здійснюється відповідно до потужності інвертора та інших вимог обладнання.

Електрозахист є обов’язковою складовою безпеки СЕС. Його забезпечують захисні пристрої, такі як запобіжники, автоматичні вимикачі, пристрої захисту від перенапруги та заземлення. Ефективна система захисту мінімізує ризики пошкодження обладнання від короткого замикання, перенапруг чи інших аварійних ситуацій.

Розрахунок і вибір інвертора залежать від потужності сонячних панелей та специфіки підключення. Інвертор повинен відповідати потужності системи, мати високий коефіцієнт корисної дії та сумісність з іншими компонентами. Це забезпечує ефективне перетворення постійного струму в змінний.

Також для підвищення ефективності важливо враховувати кут падіння сонячних променів, який оптимізується залежно від географічного

розташування. Правильний кут нахилу панелей дає можливість максимально захоплювати сонячну енергію протягом року.

Окрім цього, для забезпечення стабільності роботи електростанції необхідно правильно підібрати переріз проводів. Він розраховується на основі струмових навантажень і потужності системи, щоб зменшити втрати електроенергії та уникнути перегріву проводів.

Загалом, точність у розрахунках і виборі всіх компонентів є запорукою надійності, безпеки та ефективності СЕС. Це дає можливість власникам максимально використовувати потенціал сонячної енергії та знизити витрати на електроенергію.

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ БАГАТОКВАРТИРНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

3.1 Характеристика об'єкта та початкові дані

Житлові багатоповерхові багатоквартирні будинки, для яких здійснюється розрахунок і монтаж СЕС, розташовані у місті Києві. Проєктом передбачено встановлення СЕС для часткового забезпечення потреб загальнобудинкових споживачів в електричній енергії .

Відповідно до завдання на проєктування в даному розділі розроблено наступні проєктні рішення:

- розстановка сонячних панелей, підключення інвертора, встановлення АКБ, на крівлі та в приміщеннях підземного паркінгу з урахуванням технологічних особливостей СЕС малої потужності;

- улаштування заземлення;

Номінальна потужність генерації СЕС – 34,67 кВт.

Вихідні дані.

Робочий проєкт по об'єкту "Реконструкція інженерних мереж (електропостачання) багатоквартирних житлових будинків шляхом здійснення енергоефективних заходів (встановлення СЕС на даху)" виконаний на підставі наступних матеріалів:

- Завдання на проєктування;

- Закон України №2020-19 від 13.04.2017 "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо поліпшення умов ведення будівельної діяльності";

- Технічні характеристики повноекранних фотовольтаїчних модулів типу: Longi Solar LR5-54HTH-430M потужністю 430 Вт виробництва компанії Longi;

- Технічні характеристики інверторів типу: SUN-12K-SG04LP3-EU та виробництва компаній Deye;

- Клас наслідків об’єкта будівництва відповідно до ДСТУ 8855:2019 "Визначення класу наслідків (відповідальності)" – СС2;

- інші вихідні дані, які надаються житловим будинком згідно з ДБН А.2.2-3:2014.

Проєктні рішення виконані відповідно наступних норм та правил, що діють:

- ДБН Б.2.2-12:2019 "Планування та забудова територій";

- ДБН В.1.1-7:2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги";

- СОУ-Н ЕЕ 20.178:2008 "Схеми принципові електричні розподільчих установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова";

- ГКД 34.20.507-2003 "Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. - Правила (в редакції наказу Міненерго вугілля від 21.06.2019 № 271)";

- Правила улаштування електроустановок;

- ГКД 341.004.001-94 "Норми технологічного проєктування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6-750 кВ".

Коротка характеристика та призначення об’єкта.

Даним проєктом передбачена розробка рішень щодо реконструкції системи електропостачання, яка забезпечує функціонування окремих споживачів електроенергії житлових будинків в м. Київ, з влаштуванням дахової СЕС для власного споживання з встановленою сумарною потужністю панелей 34,67 кВт.

Встановлення обладнання передбачено на даховій частині та технічному поверсі будівлі.

Проєктована СЕС призначена для виробництва електроенергії, шляхом безпосереднього перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію, за допомогою фотовольтаїчних напівпровідникових монокристалічних модулів (далі ФВМ). Встановлення ФВМ передбачається на даху будівлі житлового будинку. Монтуються на опорні баластні металоконструкції та на стінах надбудов.

Електрична потужність постійної напруги, отримана з фотовольтаїчних модулів (ФВМ) одиничною потужністю 450 Вт, збирається по радіальній мережі до 800 В. Відповідно до проєктних рішень підключення блоків ФВМ виконати до стрінгових інверторів, які в свою чергу приєднується до ввідно-розподільного пристрою (далі ВРП) житлового будинку. В інверторах відбувається перетворення потужності з постійної напруги в змінну. Вся згенерована потужність ФЕС передається в ВРП житлового будинку та розподіляється по внутрішній мережі власного споживання.

Відповідно до завдання на проєктування введення в експлуатацію генеруючих потужностей передбачено в одну чергу, а саме: встановлення фотовольтаїчного та інверторного обладнання на покрівлі будівлі, прокладання кабельних ліній до ВРП.

Кліматичні характеристики району будівництва.

Ділянка розміщення дахової СЕС розташована в м. Київ.

Дане розташування має наступні характеристики:

- кліматичний район будівництва I;
- середньорічна температура повітря +7.2°C;
- абсолютна мінімальна температура повітря -22°C;
- абсолютна максимальна температура повітря +37°C;
- сумарна кількість опадів - 655 мм;
- середньорічна вологість - 79%;
- глибина сезонного промерзання ґрунту – 0,78м.

Техніко-економічні показники наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Техніко-економічні показники будівлі

№ з/п	Найменування	Одиниці	Характеристика, значення
1	Вид будівництва	-	Реконструкція
2	Тривалість будівельно-монтажних робіт (далі БМР)	місяці	2
3	Загальна генерована потужність СЕС (по інверторам)	кВт	36
4	Номінальна потужність генерації СЕС	кВт	34,67
5	Категорія надійності електропостачання	-	III
6	Напруга в мережі живлення	кВ	0,4/0,23
7	Річний видобуток електроенергії	МВт·год/рік	75,92
8	Пікова потужність панелі	Вт	430
9	Кут нахилу панелей до лінії горизонту	Град.	23
10	Загальна площа для встановлення ФВМ на покрівлі	$м^2$	1126,94
11	Житлова площа приміщень	$м^2$	0
12	Площа приміщень МЗК	$м^2$	1176
13	Потреба в основному обладнанні:		
	- Інвертор Deye SUN-12K-SG04LP3-EU, Рн=12 кВт	шт.	3 (ОСББ)
	- Фотоелектрична панель Longi Solar LR5-54HTH-430M	шт.	108 (з яких 12 ОСББ)
	- Акумуляторна батарея Dyness B4850	шт.	24 (з яких 20 ОСББ)
	- Акумуляторна батарея Dyness A48100	шт.	6 (з яких 5 ОСББ)
	- З’єднання панелей в стрінги по, шт.: - 12 панелей	шт	9
14	Генеруюча потужність сонячних панелей	кВт	46,44

3.2 Основні електротехнічні рішення

3.2.1 Вихідні дані

Вихідними даними для проєктування є:

- Завдання на проєктування;
- Загальне обстеження інженерних мереж будинку електропостачання (проведення обмірних робіт та збір інформації щодо об’єкту проєктування);
- Існуюча проєктна документація на будинок.

Проєктна документація розроблена для наступних умов майданчика будівництва:

- характеристичне значення снігового навантаження на рівні землі для м. Київ за ДБН В.1.2-2:2006 ”Навантаження і впливи” прийнято 760 Па.

- характеристичне значення товщини стінки обледеніння на рівні землі для м. Київ за ДБН В.1.2-2:2006 “Навантаження і впливи” прийнято 19 мм.

- характеристичне значення вітрового навантаження на рівні землі для м. Київ за ДБН В.1.2-2:2006 прийнято 480 Па.

- Клас наслідків відповідальності об'єкту за ДСТУ 8855:2019 прийнято СС2.

Для перетворення сонячної енергії в електричну передбачено будівництво дахової СЕС з подальшою генерацією електроенергії до внутрішньої мережі. Електрична енергія постійного струму, що виробляється ФВМ, надходить до інверторів гібридного типу, де перетворюється в електричну енергію змінного струму. Інвертори приєднуються до будинкової електричної мережі змінного струму 380 В через двонаправлені лічильники електричної енергії та до АКБ в яких накопичується електрична енергія при відсутності потреби в живленні будинкових споживачів. Заряд АКБ можливий також від зовнішньої мережі.

Для комплектації СЕС передбачено встановлення наступного основного обладнання:

- масив фотовольтаїчних модулів 34,67 кВт;

- блок стрінг-інверторів 3,85 кВт;

- блок моніторингу та управління в складі інверторного обладнання;

- лічильники генерації;

- блок захисту по постійному струму зі сторони ФЕМ;

- блок захисту по постійному струму зі сторони акумуляторів;

- блок захисту по змінному струму зі сторони мережі та гарантованих споживачів.

Загальний принцип роботи фотовольтаїчної електростанції: зранку під дією сонячного випромінювання на фотоелектричних модулях з'являється напруга. Інвертори Deye SUN-12K-SG04LP3-EU максимальною номінальною потужністю змінного струму, що генерується 12 кВт, починають видавати потужність у мережу. Перед підключенням до мережі інвертор проводить моніторинг параметрів лінії електропередач і починає видачу потужності лише за умов відповідності цих параметрів внутрішнім налаштуванням інвертора.

Потужність станції непостійна і напряму залежить від рівня сонячного випромінювання. Тому регулювання добового графіка ФЕС не передбачено, адже можливі великі коливання протягом денного часу доби, а вночі ФЕС працювати не здатна. Виробництво електроенергії можна передбачити лише за рік на основі аналізу багаторічних кліматичних даних.

Електростанція спроєктована та налаштована таким чином, що визначені граничні показники якості електроенергії можуть бути досягнуті без додаткової модернізації електричних мереж загального призначення (окрім тієї, яка необхідна для видачі потужності електростанції).

3.2.2 Технічні вимоги по виготовленню і монтажу

Виготовлення та монтаж елементів несучих сталевих конструкцій каркасу будівлі вести згідно з ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції. Норми проєктування", ДСТУ Б В. 2.6-199:2014 "Конструкції сталеві будівельні. Вимоги до виготовлення" та ДСТУ Б В. 2.6-200:2014 "Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу", ДБН А.3.2-2-2009 ССБП "Промислова безпека

в будівництві. Основні положення", проєкта виробництва робіт (ПВР), розробленого монтажною організацією.

Монтаж металоконструкцій передбачено по елементним.

Роботи по монтажу металоконструкцій фіксувати складанням актів прихованих робіт за формою додатку К ДБН А.3-1-5:2009 та актів проміжного приймання відповідальних конструкцій за формою додатку М ДБН А.3-1-5:2009.

На всіх етапах монтажу конструкцій забезпечити стійкість всіх елементів конструкцій.

Усі з'єднання елементів роз'ємні (болти, гайки, шайби).

3.2.3 Протикорозійний захист та рекомендації стосовно протипожежного захисту

Протикорозійний захист елементів сталевих конструкцій каркасу будівлі згідно з ДСТУ Б В.2.6-193:2013 "Захист металевих конструкцій від корозії.

Сталеві профілі повинні мати гаряче-оцинковане покриття.

Можлива заміна складу і технології нанесення покриття при узгодженні їх з авторами даного робочого проєкту.

3.2.4 План електростанції

Проєктом виділено зону розташування фотогальванічних панелей та інверторів з АКБ.

Фотогальванічні панелі розташовані на крівлі будинку на легких металевих конструкціях, що забезпечують кут нахилу в північному напрямку 20…30° в напрямку схід-захід 10° (рис. 3.1).

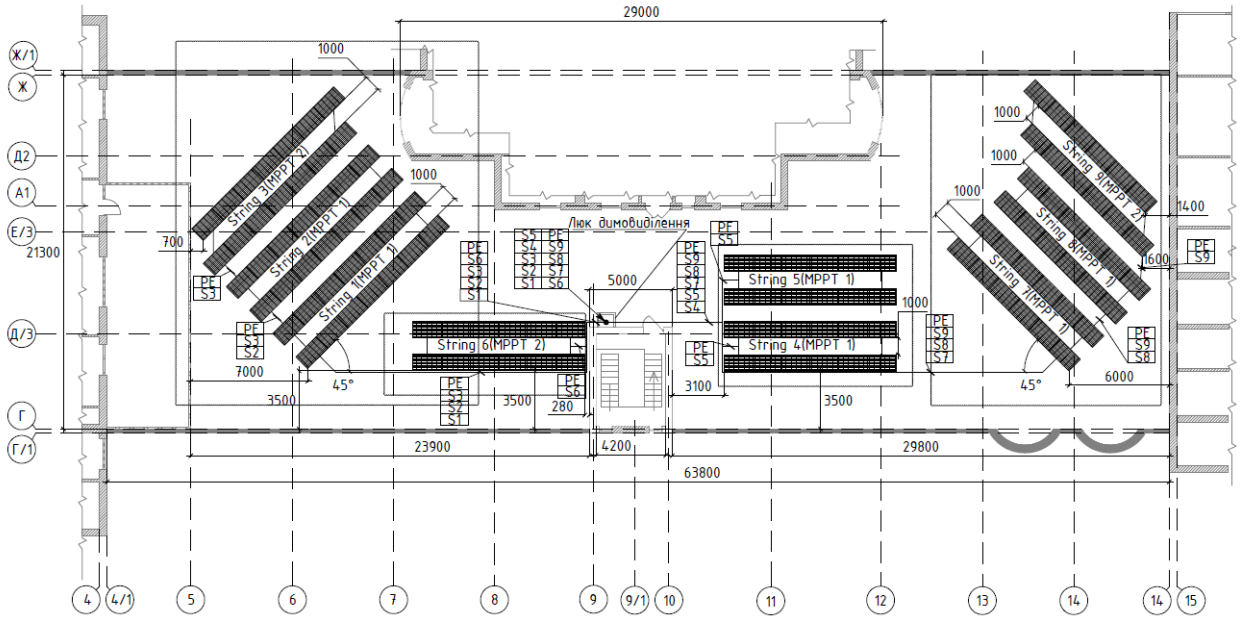

Рисунок 3.1 – План розташування сонячних панелей

Інвертори встановлено за критерієм мінімізації довжини кабельних ліній від них до щитових житлового будинку-в підвальному приміщенні.

Генеральним планом виділено зону розташування фотофольтаїчних модулів, та інверторів.

З метою зменшення втрат напруги в кабелях, інвертори розміщуються за критерієм мінімізації кабельних зв’язків від них до кожного з блоків фотовольтаїчних модулів.

3.2.5 Мережі постійного струму та мережі 0,4кВ генерованих потужностей

Головна схема електричних з'єднань СЕС обумовлена схемою її підключення до зовнішньої мережі та особливістю технології виробництва електроенергії на сонячних електростанціях малої потужності.

Електрична енергія постійного струму, що виробляється сонячними модулями (кількістю 108 шт.) з сонячного випромінювання, надходить до гібридних інверторів, де перетворюється в електричну енергію змінного струму напругою 0,4 кВ.

Фотоелектричні модулі Longi Solar LR5-54HTH-430M номінальною потужністю 430 Вт (пік) ланцюгами послідовно підключаються до інверторів.

Мережі між сонячними модулями та між ланцюгами модулів виконуються гнучким кабелем з мідною жилою, які за допомогою хомутів кріпляться до несучих конструкцій сонячних модулів.

Підключення СЕС виконується до внутрішньої мережі будівлі через пристрої, що забезпечують обмеження витоку електроенергії у зовнішню мережу (розумний лічильник-обмежувач генерації).

Електроенергія вироблена інвертором надходить до щитів РЩ де встановлюється лічильник-обмежувач генерації та автоматичні вимикачі.

Крім захисних функцій автоматичні вимикачі дозволяють відключати інвертори від енергомережі для виконання робіт з обслуговування або ремонту.

При цьому обов’язково використання пояснювальних бірок.

Приєднання гібридних інверторів до існуючої ВРП виконати кабелями ВВГнг.

Основною технологічною ланкою виробництва електроенергії є сонячні панелі, які перетворюють електромагнітну енергію сонячної радіації безпосередньо в електричний струм постійної напруги. Характеристики сонячних панелей виробництва компанії LogicPower, застосованих в даному проєкті, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Основні параметри сонячних панелей типу Longi Solar LR5-54HTH-430M

№ з/п	Найменування показника	Значення
1	Відносне значення ефективності	22%
2	Вага	20,8 кг
3	Габаритні розміри	1722×1134×30 mm
4	Робоча температура , C	-40…+85°C
5	Температурний коефіцієнт Pmax	-0,29 %/°C
6	Температурний коефіцієнт Voc	-0,23 %/°C
7	Температурний коефіцієнт Isc	0,05 %/°C
	STC	
8	Максимальна потужність, Pm	430 Вт
9	Напруга холостого ходу, Voc	39,13 В
10	Струм короткого замикання, Isc	14,15 А
11	Максимальна напруга, Vmp	32,84 В
12	Струм короткого замикання, Imp	13,1 А
	NOCT	
13	Максимальна потужність, Pm	321 Вт
14	Напруга холостого ходу, Voc	36,74 В
15	Струм короткого замикання, Isc	11,43 А
16	Максимальна напруга, Vmp	29,97 В
17	Струм короткого замикання, Imp	10,72 А

Параметри панелей наведені для нормальних умов при інтенсивності сонячної радіації 1000Вт\м^2 та температурі панелі 25 °C.

Проєктом передбачено послідовне з’єднання панелей по 12 шт. в стрінги.

Електричні параметри блоків з панелей на 12 шт. потужністю 430 Вт:

- P_m = 3,85 кВт;
- U_{mp} = 394,08 В;
- I_{mp} =13,1 А.

Електрична енергія постійного струму, одержана від модулів надходить до інверторів де перетворюється в електроенергію трифазного змінного струму синусоїдальної форми.

За наявності струму від ФЕМ і напруги в мережі змінного струму, інвертор починає перетворення електроенергії постійного струму, що виробляють ФЕМ, і видає її в мережу змінного струму. Перетворювач відбирає максимальну потужність, яку здатний видати ФЕМ в мережу, в будь-який момент при різному рівні сонячного випромінювання. Роботою інвертора керують мікропроцесори, які забезпечують вихідний струм синусоїдальної форми з мінімальною похибкою та синхронізованою по фазі напругою. Застосований логічний контроль забезпечує автоматизоване функціонування інвертора і всієї ФЕС, а також постійний контроль точки максимальної потужності ФЕМ і зниження втрат в черговому режимі в той час доби, коли відсутня сонячна радіація.. До інверторів виконується підключення: 3 стрінгів по 12 панелей в стрінг у сумі (36 ФЕМ), сумарною потужністю по модулях 9,9 кВт(пік). Максимальні встановлена потужністі на вихідних клемах інверторів при цьому становлять 36 кВт. Всі ФЕМ розбиті на 9 стрінгів (108 ФЕМ) паралельних груп по 12 послідовно з’єднаних модулів. Дана конфігурація забезпечує оптимально узгоджену роботу ФЕМ з інвертором.

Інвертори встановлено за критерієм мінімізації довжини кабельних ліній від них до кожного з блоків фотофольтаїчних модулів.

Проєктом передбачена установка одного трифазного гібридного інвертора Deye SUN-12K-SG04LP3-EU номінальною потужністю 12 кВт. Основні параметри даного інвертора наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Основні параметри інвертора типу SUN-12K-SG04LP3-EU

№ з/п	Найменування показника	Значення
1	Макс. Вхідна потужність постійного струму (Вт)	15600
2	Вхідна напруга фотоелектричної системи (В)	550В (160В ~ 800В)
3	Діапазон MPPT (В)	200В-650В
4	Макс. PV Isc(A)	34A+17A
5	Кількість рядків на один MPPT-трекер	2+1
6	Вихідна потужність змінного струму (Вт)	12000
7	Вихідна частота та напруга	50/60 Гц; 3L/N/PE 220/380, 230/400V_{ac} (трифазна)
8	Вага (кг)	33,6

Захист мережі постійного струму в точці приєднання виконується комплектною апаратурою інверторів (пристрій захисного відключення, обмежувач перенапруг).

Роботою інверторів керують мікропроцесори, які забезпечують вихідний струм синусоїдальної форми з мінімальною похибкою та синхронізованою по фазі напругою. Застосований логічний контроль забезпечує автоматизоване функціювання кожного інвертора і всієї СЕС, а також постійний контроль точки максимальної потужності ФВМ і зниження втрат в черговому режимі в той час доби, коли відсутня сонячна радіація. Керування синхронною роботи гібридних інверторів здійснює вбудований системний контролер, з можливістю оперування даними, який максимізує продуктивність компонентів системи в режимі реального часу та підтримує їх ідеальне налаштування.

Перед підключенням до мережі інвертор проводить моніторинг параметрів лінії електропередач і починає видачу потужності лише за умов відповідності цих параметрів внутрішнім налаштуванням інвертора.

Відповідно до запроєктованої ієрархічної структури електростанції проєктом передбачено організацію наступних кабельних зв’язків, які здійснюються по силовим кабелям:

- між фотогальванічними панелями при їх послідовному з’єднанні у блоки;

- між блоками та щитами постійного струму(ЩРС(DC));

- між щитами ЩРС(DC) та інверторами;

- між інверторами та щитами акумуляторних батарей (ЩАКБ);

- між щитами ЩАКБ та акумуляторами;

- між щитами ЩРС(АС) та ГРЩ будинкової системи електропостачання;

- між інверторами та щитами захисту зі мережі і гарантованих споживачів(ЩРС(АС));

- між щитами ЩРС(АС) та гарантованими споживачами.

Послідовне з’єднання фотогальванічних панелей в блоки виконати кабелем, який постачається комплектно з панелями.

Приєднання блоків панелей до інверторів виконати мідними кабелями перетином 6 мм в зовнішній ізоляції, що не розповсюджує горіння.

Система захисту від атмосферних перенапруг складається з двох частин:

- багаторівнева система захисту на всіх класах напруги за допомогою обмежувачів перенапруг які встановлені в інверторах та щиті захисту,

- контур заземлення.

Заземлюючий пристрій електростанції улаштовується з урахуванням наявності на території

електростанції:

- електричних мереж до 1 кВ з глухо заземленою нейтраллю;

- електричних мереж до 1 кВ з ізольованою нейтраллю;

- електричних мереж понад 1 кВ з ізольованою нейтраллю.

Відповідно до вимог глави 1.7 ПУЕ:2022, заземлюючий пристрій електростанції виконується за вимогою до його опору для електроустановок напругою до 1 кВ в електричних мережах з глухо заземленою та ізольованою

нейтраллю, до заземлюючих пристроїв яких ставляться більш жорсткі вимоги, ніж до заземлюючих пристроїв електричних мереж понад 1 кВ з ізольованою нейтраллю. Відповідно до п. 1.7.92 та 1.7.96 ПУЕ опір заземлюючого пристрою повинен складати не більше 4 Ом.

Інвертори заземляються мідним кабелем до існуючого контуру заземлення будівлі.

Кожний ряд опорних стійок під блоки фотогальванічних панелей приєднати до заземлюючого пристрою мідним провідником ПВ-3 1х6. Корпуси фотогальванічних панелей приєднати до опорної конструкції мідним провідником ПВ-3 1х6. Було враховано також і підключення до існуючого контуру заземлення, для посилення захисту від прямого попадання блискавки.

До заземлюючого пристрою електростанції для захисту від непрямого дотику приєднати всі металеві корпуси електротехнічного обладнання (в т. ч. інверторів, опорні конструкції панелей) та екрани кабельних ліній.

Захист інверторів обладнання складається з трьох частин:

- Захист інвертора зі сторони мережі змінного струму;
- Захист інвертора зі сторони мережі постійного струму від ФЕМ;
- Захист інвертора і акумуляторів;
- Захист інвертора і гарантованих споживачів;

Для захисту інвертора зі сторони мережі змінного струму встановлюється в розподільчому щиту, або, у разі неможливості встановлення обладнання в розподільчому щитку, встановлюється окремий щит захисту. Захист передбачає встановлення реле контролю напруги, пристроя захисного відключення, пристрою захисту від імпульсних перенапруг та автоматичного вимикача.

Для захисту інвертора зі сторони постіного струму від ФЕМ встановлюється щит, який буде в собі мати на кожен стрінг для обох полюсів запобіжники, пристроя відключення від імпульсних перенапруг та автоматичного вимикача.

Для захисту інвертора і акумуляторів передбачено встановлення щита захисту, в якому будуть встановлено на кожний полюс запобіжники та автоматичний вимикач.

Для захисту інвертора та гарантованих споживачів передбачено встановлення щита захисту, який буде в собі мати реле контролю напруги, пристроя захисного відключення, пристрою захисту від імпульсних перенапруг та автоматичного вимикача.

Захисне обладнання вибирається згідно технічного паспорту вхідних та вихідних характеристик інвертора.

Характеристики застосованого в проєкті обладнання відповідає вимогам ДБН В.1.2-11 щодо економії енергії.

При реконструкції відбувається розділення системи електроспоживання на частину гарантованих споживачів електропостачання яких здійснюється від СЕС, АКБ та електроморежі, та інших споживачів. До 1 групи споживачів проєктом віднесені: насоси циркуляції в ІТП, ліфти, освітлення МЗК, зарядні станції електромобілей. Системи освітлення заземлення об’єкту залишаються без змін.

Облік електроенергії на вводі 0,4 кВ виконаний з використанням вбудованих лічильників інверторного обладнання, а також аналізатора електричної енергії DTSU666-H та DDSU666-H. Пристрої призначені для вимірювання та контролю електричних параметрів, споживання енергії та якості електроенергії, наприклад, вищих гармонік. Застосовується на енергорозподільчих установках, для реєстрації місць виникнення витрат та контролю граничних значень, а також як датчик значень вимірювання для техніки управління будівлями та ПЛК.

3.2.6 Організація будівництва

Всі необхідні дані для проведення будівельно-монтажних робіт відображені в робочій документації.

Будівельно-монтажні роботи передбачено виконати силами спеціалізованої будівельної організації, оснащеної необхідними машинами і механізмами для будівельно-монтажних робіт.

СЕС, як об’єкт будівництва, не має складної не освоєної технології і відноситься до нескладних об’єктів.

Місцеві будівельні матеріали при будівництві не використовуються.

Проєкт виконання робіт з будівництва об’єкта повинен розроблятися підрядником.

При виконанні всього комплексу будівельно-монтажних робіт повинно бути забезпечено виконання заходів з охорони праці при використанні машин і технічних засобів.

Виконання робіт узгодити з усіма зацікавленими організаціями.

3.3 Розрахунок потужності сонячної електростанції та кута нахилу

Споживання електроенергії приведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Гарантовані споживачі

№ з/п	Споживач	Наванта-ження, кВт	Місцезнаходження розподілу
1	ХВП 1 зона	6,8	ГРЩ-1
2	ХВП 2 зона	8,8	ГРЩ-1
3	Аварійне освітлення	0,1	ГРЩ-2
4	Живлення ЩУА-2	1	ГРЩ-3
5	Евакуаційне освітлення коридору	0,37	ЩЗ-12Є
6	Евакуаційне освітлення коридору	0,37	ЩЗ-12Ж
7	Евакуаційне освітлення коридору	0,37	ЩЗ-12Є
8	Евакуаційне освітлення коридору	0,37	ЩЗ-12Ж
9	Евакуаційне освітлення коридору	0,2	ЩЗ-12Є
10	Евакуаційне освітлення коридору	0,2	ЩЗ-12Ж
11	Евакуаційне освітлення тамбуру	0,2	ЩЗ-12Є
12	Евакуаційне освітлення тамбуру	0,2	ЩЗ-12Ж
17	Робоче освітлення коридору	0,37	ЩЗ-12Є
18	Робоче освітлення коридору	0,37	ЩЗ-12Ж
19	Робоче освітлення коридору	0,37	ЩЗ-12Є

Продовження таблиці 3.4

№ з/п	Споживач	К-сть, кВт	Місцезнаходження розподілу
20	Робоче освітлення коридору	0,37	Щ2-12Ж
21	Робоче освітлення коридору	0,37	Щ2-12Є
22	Робоче освітлення коридору	0,37	Щ2-12Ж
25	Центральний тепловий пункт	16,8	Щ-ЦТП
Загальна потужність		38,0	

Порахуємо загальну потужність споживачів:

$$P_{заг} = 6,8+8,8+0,1+1+0,37 \cdot 10+0,2 \cdot 4+16,8 = 38 \text{ кВт}.$$

Інвертор може пропускати більшу потужність на 15% від номінальної:

$$P_{інв} = 38+(38 \cdot 0,15) = 43,7 \text{ кВт}.$$

Освітлення працює непостійно, тому що встановлені датчики руху та насоси ХВП не працюють одночасно.

Для даної СЕС вибираємо інвертор: Deye SUN-12K-SG04LP3-EU у кількості 3 шт.

Характеристики інвертора вказані в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Характеристики обраного інвертора

Бренд	Deye	
Вид	Гібридний	
Тип мережі	Трьохфазний	
Вихідна напруга	400	В
Кількість MPPT	2+1	шт
Вхідна напруга ФЕМ	550	В
Umin	160	В
Umax	800	В
Максимальна Потужність DC	15600	Вт
Потужність AC	12000	Вт
Техніка Перетворення	трансформаторний	

Продовження таблиці 3.5

Вбудований електрозахист	інтегрований	
ККД перетворення	97	
Можливі обмеження генерації	немає	
Комунікація	Wi-fi	
Iac min-max	20/19,1	A
Idc min-max	34+17	A
Геометрія сигналу	Чиста синусоїда	
Тип установки	настінний	

Для СЕС вибираємо ФЕМ: Longi Solar LR5-54HTH-430M

Характеристи обраного ФЕМ вказані в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Характеристики обраного ФЕМ

№ п/п	Найменування показника	Значення
1	Відносне значення ефективності	22%
2	Вага	20,8 кг
3	Габаритні розміри	1722×1134×30 mm
4	Робоча температура , C	-40…+85°C
5	Темп. Коеф Pmax	-0,29 %/°C
6	Темп. Коеф Voc	-0,23 %/°C
7	Темп. Коеф Isc	0,05 %/°C
	STC	
8	Максимальна потужність, Pm	430 Вт
9	Напруга холостого ходу, Voc	39,13 В
10	Струм короткого замикання, Isc	14,15 А
11	Максимальна напруга, Vmp	32,84 В
12	Струм короткого замикання, Imp	13,1 А

Продовження таблиці 3.6

	NOCT	
13	Максимальна потужність, Pm	321 Вт
14	Напруга холостого ходу, Voc	36,74 В
15	Струм короткого замикання, Isc	11,43 А
16	Максимальна напруга, Vmp	29,97 В
17	Струм короткого замикання, Imp	10,72 А

Рівень сонячної інсоляції зображено на рисунку 3.2.

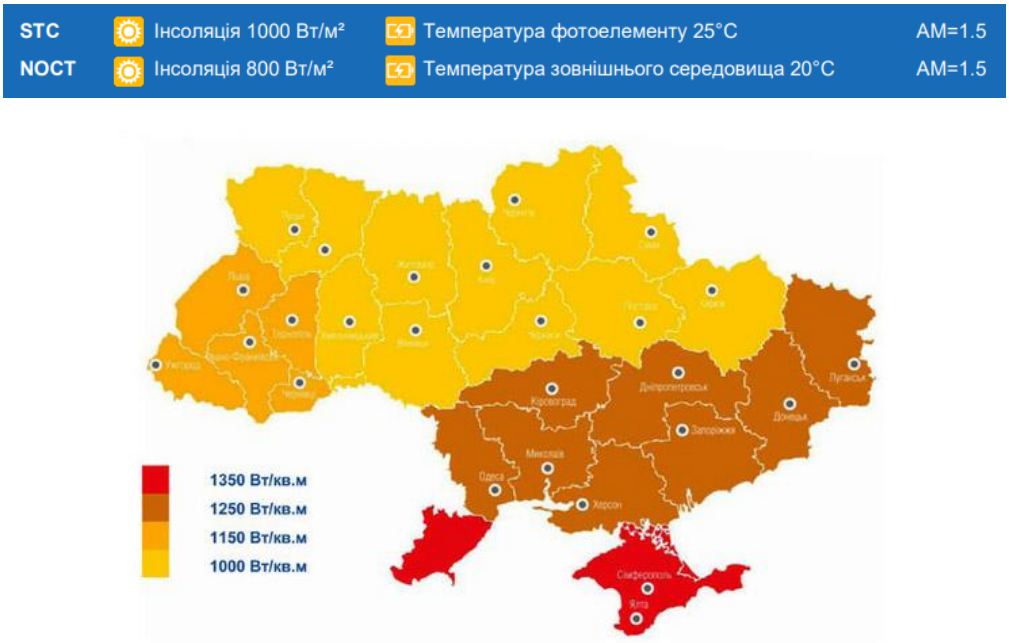

Рисунок 3.2 – Рівень сонячної інсоляції в різних регіонах

Теоретична максимальна кількість панелей для даної СЕС:

- I-а черга: 12 шт.;

- II-а черга: 96 шт.

Наступні розрахунки проводимо в програмі Excel.

Одною з основних формул розрахунку, є формула розрахунку максимальної напруги ФЕМ:

$$U_{max} = U_{\text{хх}(OC)} \cdot \frac{(1 - K_{\text{тк}uoc} \cdot (T_{\text{зима}} + 25)}{100}, \quad (3.1)$$

де $U_{\text{хх}(OC)}$ – напруга холостого ходу ФЕМ при температурі фотоелементу 25°С;

$K_{\text{тк}uoc}$ – температурний коефіцієнт панелі при х.х. та при температурі фотоелементу 25°С;

$T_{\text{зима}}$ – найнижча температура в місці розташування СЕС, згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія".

Для визначення можливої кількості ФЕМ, користуємося формулою:

$$n_{\text{ФЕМ}} = \frac{P_{DC\text{макс.інв.}} \cdot n_{\text{інв.}}}{P_{\text{пік.ФЕМ}}}, \quad (3.2)$$

де $P_{DC\text{макс.інв.}}$ – максимальна вхідна потужність інвертора;

$P_{\text{пік.ФЕМ}}$ – пікова потужність одного ФЕМ при температурі фотоелементу 25°С;

$n_{\text{інв.}}$ – кількість інверторів в СЕС.

Визначаємо загальну площу СЕС:

$$S_{\text{СЕС}} = \frac{L_{\text{ФЕМ}} \cdot B_{\text{ФЕМ}} \cdot n_{\text{ФЕМ}}}{10^6}, \quad (3.3)$$

де $L_{\text{ФЕМ}}$ – довжина 1 ФЕМ, мм;

$B_{\text{ФЕМ}}$ – ширина 1 ФЕМ, мм;

$n_{\text{ФЕМ}}$ – кількість ФЕМ.

Ефективність панелі в стрінгу:

$$U_{\%} = \left| \frac{25 - T_{\text{зима}}}{K_{\text{тк}иос}} \right|, \quad (3.4)$$

де $T_{\text{зима}}$ – найнижча температура в місці розташування СЕС, згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія";

$K_{\text{тк}иос}$ – температурний коефіцієнт панелі при х.х. та при температурі фотоелементу 25°С.

Розрахунок напруги стрінгу ФЕМ при +25°С

$$U_{\text{ОС.С.}} = U_{\text{хх(ос)}} \cdot n_{\text{ФЕМ.С.}}, \quad (3.5)$$

де $U_{\text{хх}(OC)}$ – напруга холостого ходу ФЕМ при температурі фотоелементу 25°С;

$n_{\text{ФЕМ.С.}}$ – кількість ФЕМ в стрінгу.

Розрахунок загальної максимальної напруги живлення MPP в стрінгу:

$$U_{\text{MPP.C.}} = U_{\text{макс.MPP}} \cdot n_{\text{ФЕМ.С.}}\,, \tag{3.6}$$

де $U_{\text{макс.MPP}}$ – максимальна напруга живлення MPP одного ФЕМ;

$n_{\text{ФЕМ.С.}}$ – кількість ФЕМ в стрінгу.

Максимальна потужність одного стрінгу:

$$P_{\text{пік.С.}} = P_{\text{пік.ФЕМ}} \cdot n_{\text{ФЕМ.С.}}\,, \tag{3.7}$$

де $P_{\text{пік.ФЕМ}}$ – пікова потужність одного ФЕМ при температурі фотоелементу 25°C;

$n_{\text{ФЕМ.С.}}$ – кількість ФЕМ в стрінгу.

Виконуємо перевірку потужності

$$3 \cdot P_{\text{пік.С.}} < P_{DC\text{макс.інв.}}\,. \tag{3.8}$$

Числові значення розрахунків зображені на рисунку 3.3, які автоматично обраховуються, якщо задати необхідні параметри СЕС, такі, як технічні характеристики інвертора та ФЕМ.

Частина схеми електричної принципової зображено на рисунку 3.4.

Для СЕС нам знадобиться:			108,8372	=	108	шт	загальною потужністю			46440	Вт		
Замовник попросив встановити		108	панелей, тому робимо перерахунок потужності				46440	Вт					
Загальна площа ФВМ(ФЕМ)	210,8968	м2											
Робимо розрахунок для стрінгів СЕС													
Наша станція по інверторах має		6	основних MPPT трекера та		3	додаткових							
В загальному ми маємо	9	входів, або полів до яких можна приєднати				12	панелей з'єднаних у стрінг						
Робимо перевірку з поправкою на температурний коефіцієнт													
Перевірку розраховуємо для найнижчої температури, так як чим нижча температура, тим більша буде напруга в стрінгу													
Перевірка робиться при найнижчій температурі, згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія":									м. Київ	-22	℃		
Панелі в стрінгу видадуть на	10,81	%	більше значення напруги										
Тобто Umax буде дорівнювати		43,35995											
Тоді панелей в стрінгу буде дорівнювати			18,4502	шт	Це максимальна кількість панелей, яку може витримати інвертор								
Заокруглюємо вниз і віднімаємо 1, отримаємо			16	шт	панелей, які можна приєднати на 1 стрінг, ми встановимо							12	
Uoc стрінга, при +25˚С буде		469,56	В										
Макс. U жив MPP стрінга	394,08	В											
Ікз стрінга	14,15	А											
P пікове стрінга	5160	Вт											
На даному інверторі є	2	та додатковий		1	MPPT входи								
Тому потужність станції по постійному струму буде				15480	Вт	що задовільняє умові			<	15600	Вт		
Перерахунок по NOCT													
Uoc стрінга буде		440,88	В										
Макс. U жив MPP стрінга	359,64	В											
Ікз стрінга	11,43	А											
P пікове стрінга	3852	Вт	34668										
На даному інверторі є	2	та додатковий		1	MPPT входи								
Тому потужність станції по постійному струму буде				11556	Вт	що задовільняє умові			<	15600	Вт		

Рисунок 3.3 – Розрахунок СЕС за допомогою Excel

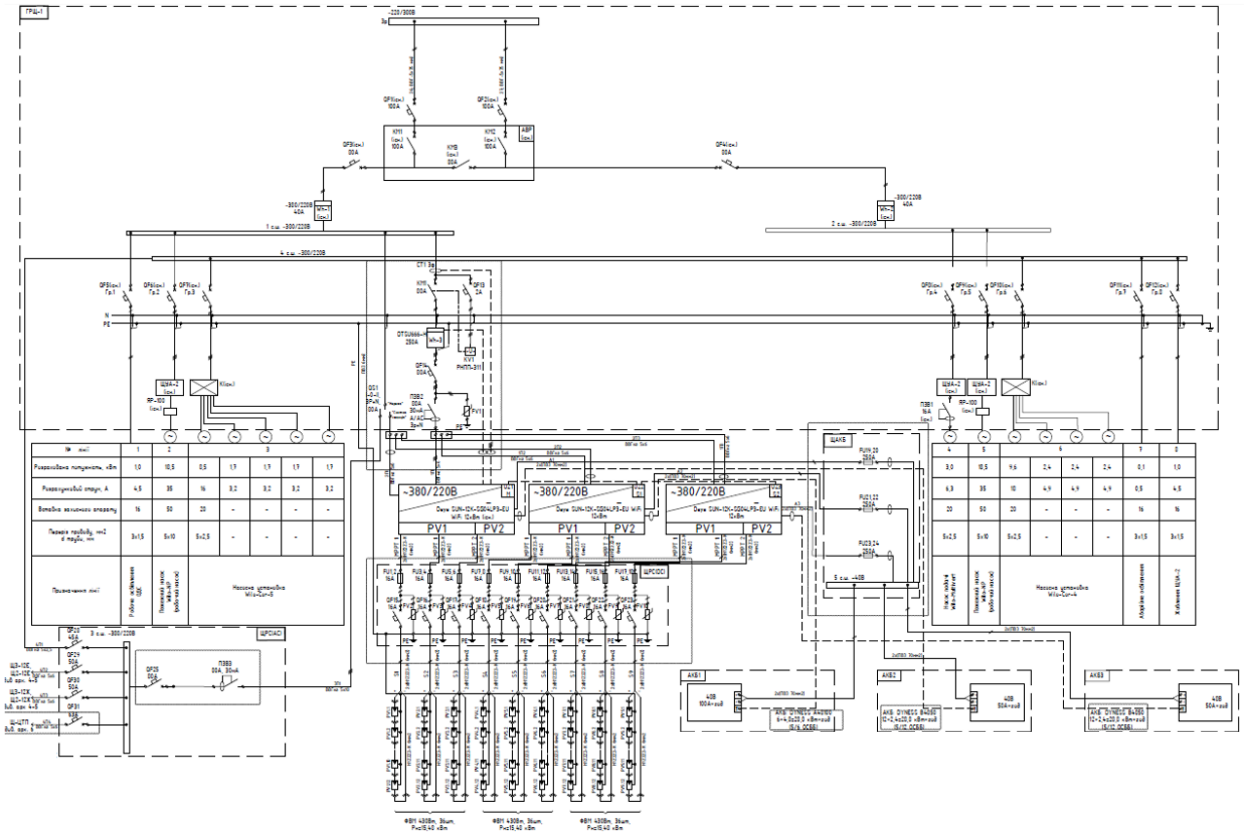

Рисунок 3.4 - Схема електрична принципова СЕС

Розраховуємо кут нахилу. Розміри одного ФЕМ вказані в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Габарити ФЕМ

Розміри сонячної панелі		
Д	Ш	В
1722	1134	30

Кут встановлення ФЕМ становить 30°.

Широта міста Київ становить 50° 27’ 0”. Визначимо широту для розрахунків:

$$\phi = 50° + \frac{27'}{60} + \frac{0"}{3600} = 50{,}45.$$

Виконуємо аналогічний розрахунок, щоб визначити кут падіння сонячних променів взимку.

Проводимо розрахунок відстаней між панелями за допомогою програми Excel, визначивши проекцію та висоту ФЕМ при 30° (рис. 3.5).

Розміри сонячної панелі													
Д	Ш	В											
1722	1134	30	мм										
Кут встановлення		30	градусів										
Широта міста		50	градусів	27	мінут	0	секунд						
Широта для розрахунків			50,45	градусів									
Робимо розрахунки для зими, бо взимку менший кут падіння, тому тіні будуть більшими													
На 22 грудня кут падіння сонячних променів припадає на						23	градусів	30	мінут	0	секунд	південної широти	
Для розрахунків		-23,5	градусів										
На 23 вересня та 21 березня кут падіння сонячних променів припадає на								0	градусів	0	мінут	0 секунд	екватор
Для розрахунків		0	градусів										
На 22 червня кут падіння сонячних променів припадає на						23	градусів	30	мінут	0	секунд	північної широти	
Для розрахунків		23,5	градусів										
Взимку кут падіння сонячних променів даної місцевості буде							63,05	градусів					
Проекція при		30	градусах на землю сонячної панелі буде					982,0728	мм				
Висота панелі при		30	градусах буде		567	мм							
Відстані між панелями повинні бути				288,2779	мм								
Для об'єктів крівлі розраховуємо відстань тіні об'єктів													
№	Назва об'єкту			Висота, м	Довжина тіні взимку								
1	Вент.шахти			2	1,016853431								
2	Пороги			0	0								
3	Тех. Поверхи			7	3,558987007								
4					0								
5					0								
6					0								

Рисунок 3.5 – Розрахунок відстаней та кріплення за допомогою Excel

Конструкція кріплення ФЕМ зображено на рисунку 3.6.

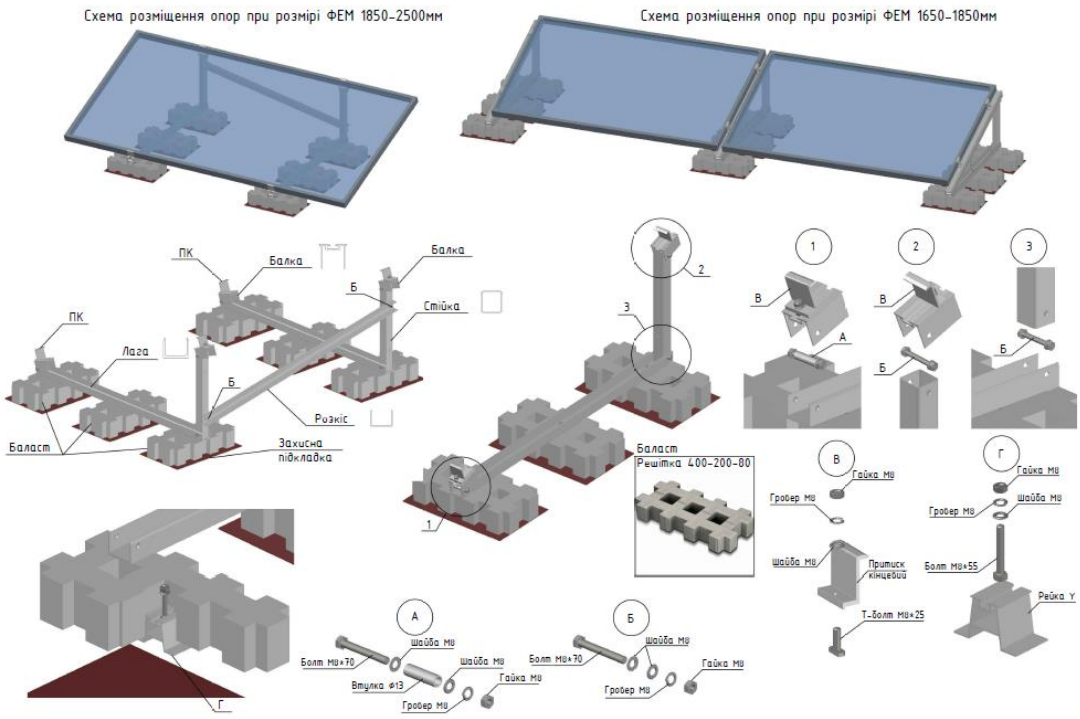

Рисунок 3.6 - Кріплення сонячних панелей

Відстані між панелями мають становити не менше 288,3 мм.

3.4 Економічна доцільність і термін окупності проєкту

При розрахунку терміну окупності був зроблений на основі наступних вихідних даних:

- Витрати, збереження та дохід;
- Фінансові показники;
- Щорічна економія і дохід.

Простий термін окупності буде складати 30,5 років.

Складний термін окупності буде складати 14,6 років.

Розрахунки проводилися в програмі RETScreen Expert.

Робота з програмою *RETScreen* починається з заповнення вкладки *«Місцезнаходження»*. Для переходу до створення проєкту СЕС обираємо пункт *«Електростанції»* (рис. 3.7).

Рисунок 3.7 – Створення проєкту

При активації об’єкту «Електростанції» відкривається нове вікно (рис. 3.8), в якому вибраємо Україна, м.Київ. Введення цих даних у програму здійснюється за допомогою поля «Пошук». Для збереження налаштувань необхідно натиснути на кнопку «Обрати» та підтвердити.

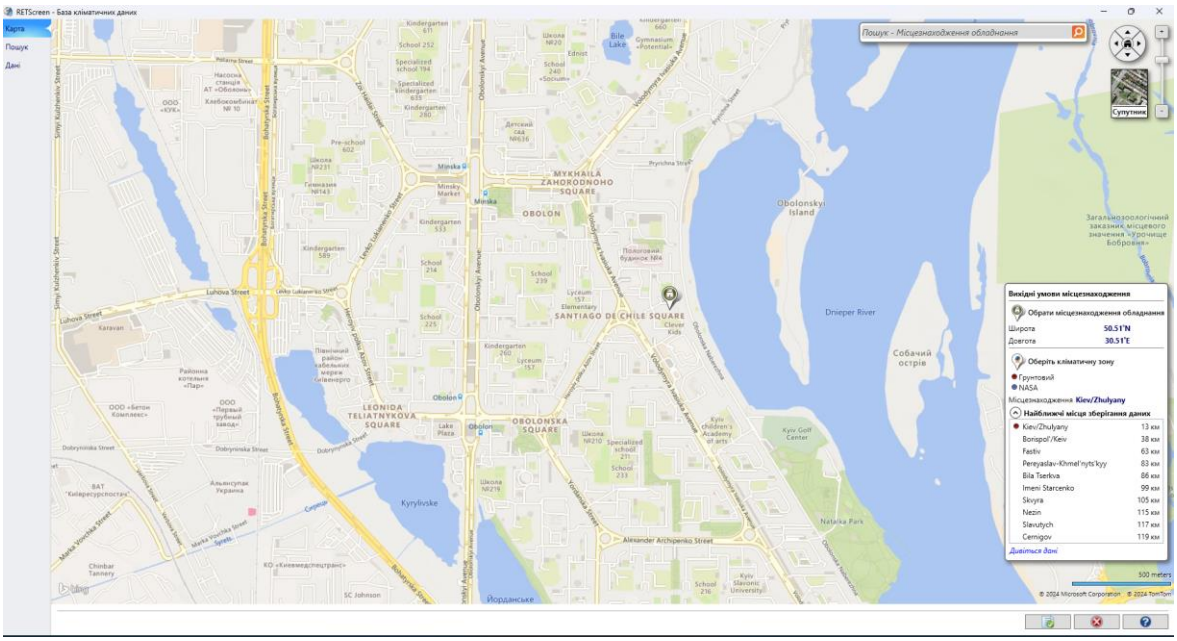

Рисунок 3.8 – Зміна кліматичної зони

Після того, як ми вибрали місцеположення електростанції, по ній утворюються вихідні умови та підбираються кліматичні дані місцевості (рис. 3.9).

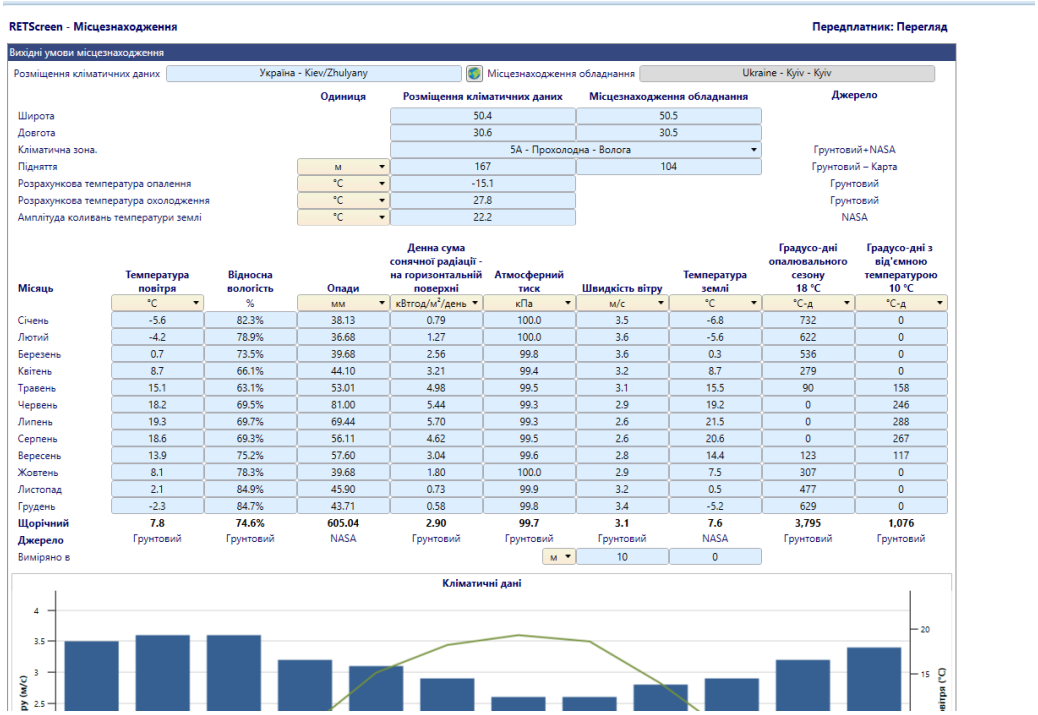

Рисунок 3.9 – Вихідні умови та кліматичні дані СЕС

Наступним кроком є заповнення листа *«Обладнання»*.

Зі списків, що випадають у жовтих комірках, вибираємо позиції:

- *«Тип об'єкту»* – «Електростанція»;
- *«Тип»* – «Фотоелектричний»;
- *«Країна»* – «Україна».

Для створення повного звіту необхідно заповнити детальну інформацію про об'єкт у сірих комірках *«Опис», «Підготовано для», «Підготовано»* та ін. (рис. 3.10).

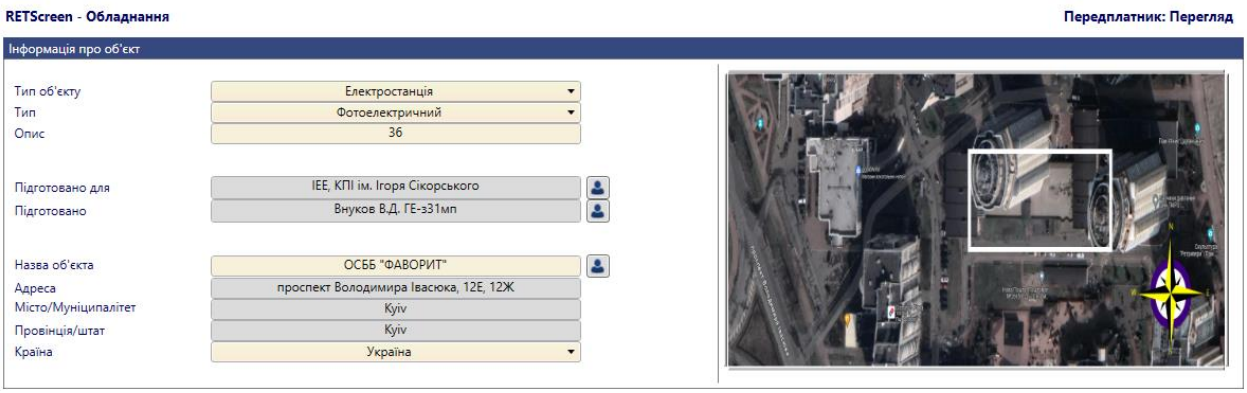

Рисунок 3.10 – Детальна інформація про об'єкт

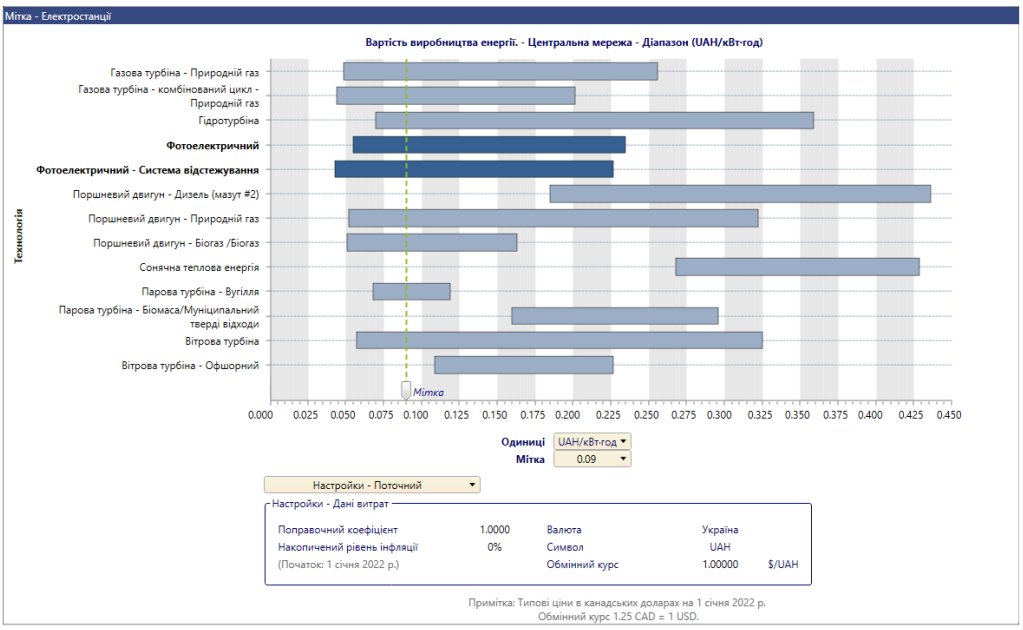

Рисунок 3.11 – Заповнення листа «Обладнання»

Наступним кроком є заповнення листа *«Енергетична модель»,* який складається з декількох розділів в залежності від обраного проєкту.

У вкладці «*Енергія*» заповнюємо комірки жовтого кольору, комірки синього кольору заповнюються вручну за наявними даними або автоматично за допомогою існуючих баз даних програми.

У розділі «*Паливо і графіки – Електрика та палива*» обраємо тип та ціну палива для аналізу (рис. 3.12). Ціна на електричну енергію на 2024 рік для побутових споживачів універсальних послуг становить 4,32 грн/кВт·год.

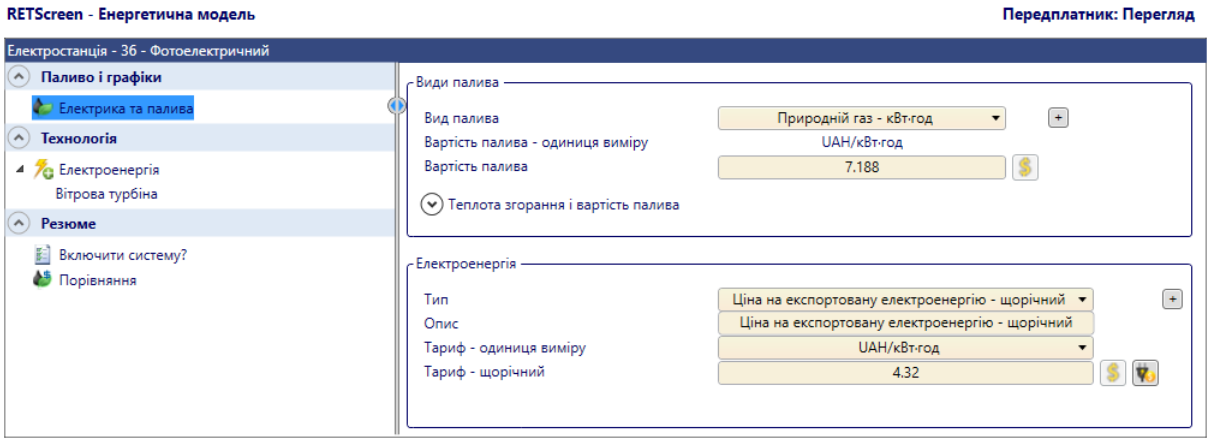

Рисунок 3.12 – Налаштування «Енергетичної моделі»

Наступним кроком необхідно створити *«Технологію»* для електроенергії: натиснути кнопку *«Електроенергія»* та обрати зі списку – *«Фотоелектричний»*.

Заповнення характеристик комірок СЕС можна проводити двома методами.

Рівень 1

Вносимо попередньо розраховану потужність електростанції, її початкові та щорічні затрати на експлуатацію для базового варіанту (рис. 3.13).

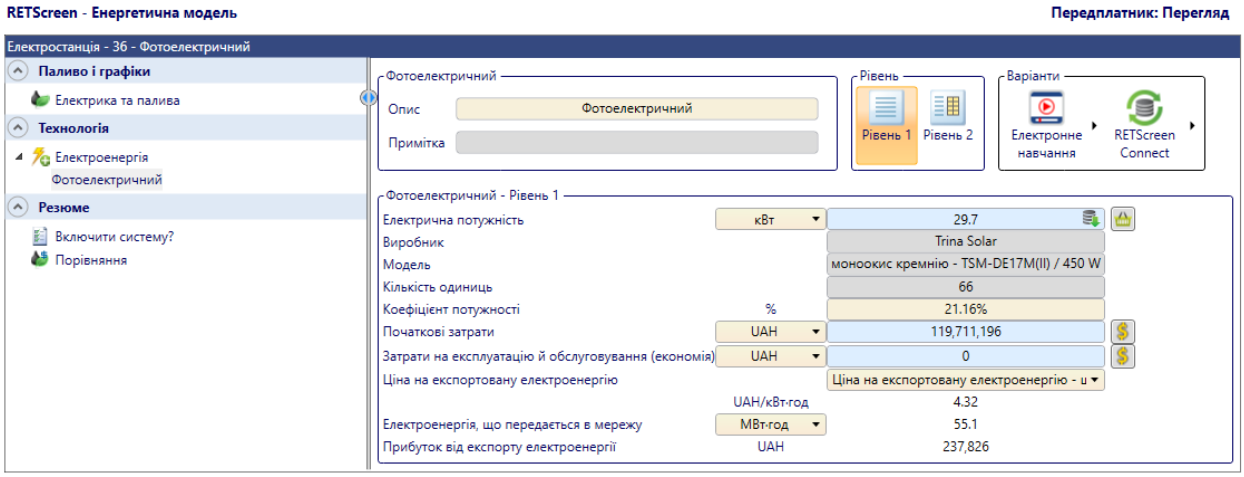

Рисунок 3.13 – Рівень 1

Рівень 2

Заповнюємо комірки, в яких вказуємо проєктну потужність електростанції, тип та електричну потужність обраного модуля, його положення/розташування та вартість. Необхідно врахувати встановлення інвертора для перетворення постійного струму сонячних модулів у змінний (рис. 3.14).

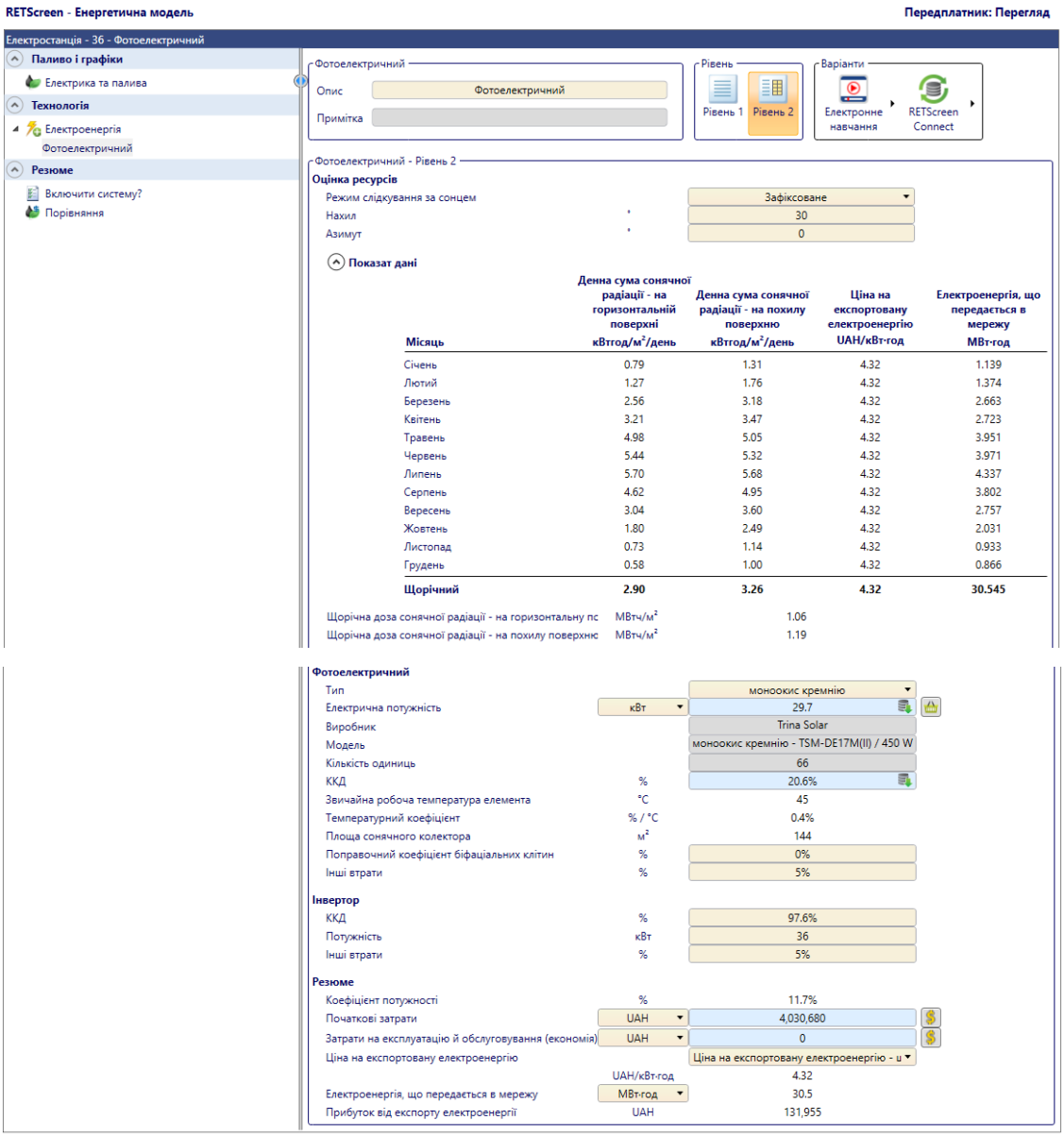

Рисунок 3.14 – Рівень 2

На основі погодних даних та інформації, програма самостійно розраховує річну генерацію електричної енергії.

Обираємо *«Зафіксоване»*. Інші режими потребують додаткових капітальних затрат, але збільшують кількість сприйнятої сонячної радіації.

В комірку *«Нахил»* вводимо значення кута нахилу сонячних модулів (СМ) до горизонтальної поверхні в градусах.

При встановленні панелей на плоский дах є можливість обирати кут нахилу для максимального вироблення електричної енергії в залежності від

географічного розташування та пори року (взимку сонце знаходиться в середньому нижче, ніж влітку, а сонячні модулі повинні бути розташовані перпендикулярно сонцю).

Азимут – кут між проекцією на горизонтальну поверхню нормалі до площини СМ і напрямом на південь (знак не має значення). Бажана орієнтація СМ – на південь, коли кут азимута – 0° у північній півкулі і 180° в південній півкулі. В нас панелі мають 4 орієнтації (0, 8, 82, 262), тому розраховуємо середню орієнтацію (це 88 градусів) та вводимо в розрахунок.

Інші витрати. Користувач має можливість вводити втрати у СМ, %, з різних джерел, які не враховані в інших місцях моделі: втрати через наявність на модулях бруду або снігу, або невідповідність та втрати у мережі. Типові значення коливаються від декількох відсотків до 15%. У деяких виняткових обставинах це значення може досягати 20%.

Резюме:

- *Коефіцієнт потужності*

Ми отримуємо коефіцієнт потужності, дорівнює відношенню середньорічної потужності, виробленої електростанцією, до її номінальної потужності.

- *Початкові витрати*

Ми вводимо початкові витрати для запропонованого випадку. Ця вартість включає купівлю обладнання (сонячні модулі та інвертори).

Для України вартість інвертора та панелей складає близько 1000 $/кВт.

- *Затрати на експлуатацію й обслуговування*

Ми вводимо витрати на технічне обслуговування всіх елементів запропонованої енергетичної системи. Витрати на експлуатацію фотоелектричних систем включають щорічні амортизаційні відрахування на ремонт або заміну інвертора та СМ.

Після заповнення листа *«Електростанція»* можна побачити, скільки енергії вироблятиме створена станція в залежності від географічних і погодних умов та обраного обладнання.

Наступним кроком є заповнення листа *«Аналіз затрат»*, який складається з декількох розділів в залежності від обраного проєкту.

Побудова СЕС передбачає початкові витрати та періодичні. До початкових затрат увійдуть:

- створення проєкту підключення станції;
- купівля сонячних модулів та інверторів;
- купівля або виробництво конструкції;
- роботи з встановлення на запуску обладнання.

Для плаского даху конструкція під СМ повинна забезпечувати заданий кут нахилу сонячної панелі до горизонту та мати необхідні міцністні характеристики, бути захищеною від корозії і достатньо важкою, щоб протистояти поривам вітру, та не повинна псувати дах.

Проєкт підключення, окрім всіх необхідних для цього розрахунків, передбачає купівлю додаткової потужності від енергопостачальної компанії у випадку продажу надлишкової електричної енергії у мережу. Інші дані заповнюються з прайс-листів матеріалів та послуг в Україні.

Наступним кроком є заповнення листа «*Аналіз викидів*».

Аналіз викидів

Даний пункт розрахунків показує, наскільки зменшуються викиди шкідливих речовин в атмосферу від запропонованої енергоустановки в порівнянні з базовою.

Також можна порахувати додаткові прибутки за рахунок зменшення викидів парникових газів, для цього необхідно заповнити комірки жовтого кольору, де вказується ставка, строк та темп зростання ставки кредиту на зменшення парникових газів (дані беруться відповідно до умов кредитування).

Фінансовий аналіз

Фінансовий аналіз призначений для визначення економічної доцільності впровадження нової енергоустановки. Програма розраховує *простий термін окупності* та *повернення капіталу* (дисконтований термін окупності), де враховується темп інфляції, і будує графік, на якому зображено сукупний потік

грошових коштів. Точка перетину графіка з горизонтальною віссю показує період, коли всі вкладені кошти повернуться до власника і скільки коштів він зможе економити на енергоресурсах в подальшому.

Для коректності графіка необхідно вказати строк реалізації проєкту, а також темп інфляції для розрахунку повернення капіталу (рис. 3.15).

На цьому етапі можна визначити доцільність обраного проєкту та шукати способи підвищення його рентабельності (наприклад, шукати приватного інвестора замість банку зі ставкою за кредитом на рівні 7%).

За допомогою інструменту генерації звіту – *«Звіт»* можна сформувати та зберегти техніко-економічне обґрунтування доцільності побудови СЕС (рис 3.16).

Рисунок 3.15 – Фінансовий аналіз

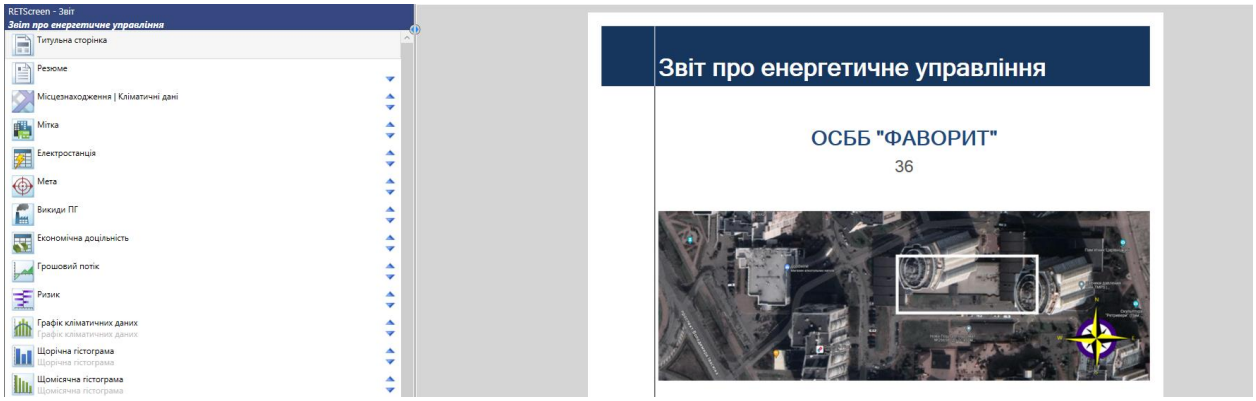

Рисунок 3.16 – Формування звіту

3.5 Оцінка впливу на навколишнє середовище

3.5.1 Підстави для проведення оцінки впливу на навколишнє середовище

Оцінка дії на довкілля розроблена з метою визначення негативної дії на довкілля, а також розробки заходів, що знижують рівень екологічної небезпеки.

Даний розділ проєкту розроблений з урахуванням вимог наступних нормативних документів:

- Закон України "Про охорону природного довкілля" [17];
- Закон України "Про охорону атмосферного повітря" [18];
- Закон України "Про екологічну експертизу" [19];
- Закон України "Про оцінку впливу на довкілля" від 23.05.2017 № 2059-VIII [20];
- ДБН А.2.2-1-2003 "Склад і зміст матеріалів оцінки дій на довкілля (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будівель і споруд" [21];
- ДСП 210-97 "Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами)" [22];

Загальна характеристика об'єкту проєктування

Запроєктований об'єкт споруджується для передачі і розподілу електричної енергії на напрузі 6/0,4 кВ і не має впливу на повітряний і водний

простір, а також не наносить шкоди грунтовому середовищу. У зв'язку з цим проведення повітряно-, грунто- та водоохоронних заходів по зниженню рівня виробничого шуму і вібрації даним проєктом не передбачено.

Шумових, ультразвукових, вібраційних і електромагнітних факторів, іонізуючих і неіонізуючих випромінювань та інших шкідливих чинників вказані вище об'єкти не вносять. Впливу біологічних і фізичних факторів на оточуюче середовище немає. В зв'язку з цим спеціальні заходи по охороні навколишнього середовища проєктом не передбачались.

3.5.2 Оцінка дій планової діяльності на природне довкілля

Очікуваних змін мікроклімату від планованої діяльності не прогнозується, зважаючи на відсутність тепло-, вологовиділень в масштабах, які можуть їх спричинити. В цілому вклад проєктованого об'єкта в загальне забруднення атмосфери відповідає нормам і вимогам екологічної безпеки, оскільки відсутні викиди забруднюючих речовин в навколишнє середовище. В результаті здійснення проєктних рішень планованої діяльності негативна дія проєктованого об'єкта на повітряне довкілля відсутня.

Згідно п. 8.57 [23] для СЕС, санітарно-захисна зона для захисту населення від дії електричного поля не встановлюється.

До фізичних дій відносяться шум, електромагнітні і іонізуючі випромінювання, вібрація.

На об'єкті відсутнє устаткування, що створює електромагнітні хвилі, іонізуючі випромінювання та виробничий шум. При будівництві не відбувається негативний акустичний вплив на природне довкілля і на здоров'я людей, що мешкають в найближчій житловій забудові. Передбачається використання сертифікованого устаткування, технічні характеристики котрого забезпечують дотримання нормованих рівнів звукового тиску в робочій зоні.

Згідно з інженерно-геологічним районуванням території України район проєктування розташований в центральних геополіогетичних межах.

У геологічному відношенні майданчика проєктування беруть участь насипні та рослинні грунти, суглинки і супіски. Дія на геологічне середовище в період проведення будівельних робіт відбуватиметься при проведенні земляних робіт, пов'язаних з організацією рельєфу. Глибина розробки грунту не перевищує 2 м. Дія оцінюється як незначна. Під час експлуатації об'єкта дія на геологічне середовище відсутня.

При експлуатації проєктованих споруд, дія на водні ресурси не відбуватиметься. В технологічних процесах вода не використовується.

Проєктований об'єкт розміщується на раніше освоєній території, тому в процесі будівництва і в нормальному режимі експлуатації додаткової негативної дії на рослинний і тваринний світ не станеться.

Відведена ділянка знаходиться поза територіями природно-заповідного фонду і територій перспективних для заповідників.

Ділянка до історико-культурних зон не належить.

Об'єкт проєктування знаходиться в зоні, яка вже техногенно порушена.

Дія на техногенне середовище в період проведення будівельних робіт оцінюється як незначна, а під час експлуатації об'єкта - відсутня.

В процесі будівництва відбувається негативний вплив на усі компоненти природного довкілля, яке виражається в порушенні грунтового покриття, у викидах шкідливих речовин в атмосферу від будівельної техніки, в забрудненні водного середовища, а також в утворенні відходів виробництва і споживання.

При цьому необхідно враховувати, що дія об'єкта на довкілля носитиме короткочасний характер і після закінчення будівництва припиниться.

Основним видом впливу в період будівництва на стан повітряного середовища являються викиди забруднюючих речовин.

Основними процесами, що приводять до забруднення повітря є робота будівельної техніки і автотранспорту.

При роботі двигунів автомобілів, в атмосферне повітря виділяються продукти спалювання палива: оксиди азоту, окисел вуглецю, вуглеводні.

За характером надходження забруднюючих речовин в атмосферу, усі джерела є неорганізованими.

Залпові викиди при виконанні будівельних робіт відсутні. Виникнення аварійних викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря унеможливлено.

До роботи допускаються будівельні машини в технічно справному стані, що виключає перевищення норм викиду в атмосферу шкідливих речовин.

При цьому, оскільки техніка працюватиме на усьому майданчику будівництва уздовж траси, усі викиди забруднюючих речовин розсіюватимуться не створюючи значні приземні концентрації на межі санітарно-захисної. Міра дії на атмосферне повітря оцінюється як незначна.

Вплив на водне середовище при будівельних роботах, зводиться в основному до використання води на потреби робітників на будівельних майданчиках.

При будівництві для господарсько-питних потреб передбачається використати провозну воду. При експлуатації об'єкта для технічних потреб (вмивальники та унітаз) вода використовується із свердловини. Для питних потреб використовується привозна очищена вода. Якість води для господарсько-питного водопостачання задовольняє вимогам [24].

Основними джерелами шуму в період будівництва є будівельні машини, механізми і транспортні засоби. Рівні звуку, що створюються цими машинами, відповідають санітарним нормам [25]. Шум в період будівництва має непостійний характер.

Основними джерелами шуму при експлуатації станції будуть силові трансформатори. Рівень звукового навантаження однієї точки складає - 71 дБ. До найближчої житлової забудови 250 метрів. Зважаючи на це використання даного обладнання задовольняє вимогам [26].

Для забезпечення захисту від шуму під час проведення робіт з модернізації передбачити проведення робіт тільки в робочий час (9-18) в робочі дні. Проведення робіт в інший час або вихідні дні забороняється. В технології

виконання робіт передбачити мінімальний час робот з інструментом, що має підвищену вібро-ударну активність(дрелі, перфоратори та ін.)

Заходи по забезпеченню нормативного стану довкілля в період будівництва

З метою забезпечення нормативного стану природного довкілля в період будівництва передбачаються наступні заходи:

Атмосферне повітря:

- проведення будівельних робіт по чітко наміченому плану;

- дотримання технології і забезпечення якості виконаних робіт;

- не допускається спалювання на будівельному майданчику відходів будівельних матеріалів.

Водне середовище:

- локалізація території стоянок і місць заправки дорожньо-будівельної техніки, з обов'язковим використанням ізоляційних піддонів;

Поводження з відходами:

- організація майданчиків тимчасового складування будівельного сміття і твердих побутових відходів;

- чітке дотримання режимів накопичення, умов зберігання, графіків вивезення тимчасово складованих відходів.

При дотриманні санітарних норм і правил в період будівництва, буде зведено до мінімуму його можлива негативна дія на природне довкілля.

Після закінчення будівельно-монтажних робіт для забезпечення радіаційної безпеки необхідно провести заміри для виявлення остаточного радіаційного контролю на території. Дана вимога передбачена [27], [28], [29].

3.6 Охорона праці при експлуатації об'єкта будівництва

Пункт відповідає вимогам наступних нормативних документів: [30-33].

3.6.1 Заходи щодо забезпечення безпеки процесів

Роботи, що виконуються на об'єкті є небезпечними внаслідок можливості ураження електричним струмом та можливості падіння працівників з висоти. У зв'язку з цим, роботи повинні виконуватися в строгій відповідності з правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС) і правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС).

Працівники, що задіяні при ремонтних та експлуатаційних роботах, повинні мати навички та знання для безпечного виконання робіт, мати відповідну групу з електробезпеки, пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці (наказ №15 від 26.01.2005р. Держгірпромнагляду, Типове положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях, затверджених наказом МНС України №368 від 29.09.2003р.).

До робіт не допускаються особи, які не пройшли медичний огляд.

Безпека обслуговуючого персоналу при експлуатації обладнання забезпечується за рахунок спеціальних конструктивних рішень:

- використання технічно досконалого обладнання;
- розміщення обладнання, що забезпечує його вільне обслуговування;
- захисного заземлення електроустановок;
- використання при виконанні будівельно-монтажних робіт машин та механізмів, в конструкції яких закладені принципи охорони праці.

При роботі в діючій електроустановці персоналу електромонтажних організацій заборонено виконувати роботи без зняття напруги поблизу струмоведучих частин і на струмоведучих частинах, що знаходяться під напругою.

Пожежна безпека забезпечується застосуванням негорючих конструкцій, заземленням устаткування, автоматичним відімкненням струмів короткого

замикання, дотриманням нормативних габаритів та вимог ізоляційних матеріалів, виконанням відгалуджень до вводів в будівлю ізольованими проводами.

3.6.2 Заходи щодо захисту персоналу від травмування

Для забезпечення безпеки персоналу при виконанні робіт:

- перед початком робіт повинен бути проведений інструктаж;
- повинні бути встановлені знаки безпеки відповідно до вимог [33];
- на місці роботи повинна бути "знята" напруга, а електрообладнання заземлене;
- при виконанні робіт на висоті необхідно виконати заходи захисту від можливості падіння людей або предметів (наказ №62 від 27.03.2007р. Про затвердження Правил охорони праці під час виконання робіт на висоті).

3.6.3 Вимоги до обслуговуючого персоналу

На електротехнічний оперативно-ремонтний персонал, який обслуговує електрообладнання сонячних станцій, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори за:

а) фізичні:

- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- нестача природного освітлення;
- небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- підвищена та знижена рухливість повітря;

б) психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);

- нервово - психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму - підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю струмопровідної підлоги. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник.

3) Електрозахисні засоби захисту.

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дає можливість отикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000 В):

- ізолювальні штанги;

- ізолювальні та струмовимірювальні кліщі;

- покажчики напруги;

- діелектричні рукавиці;

- слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електрообладнання, необхідно на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проєктом передбачено:

- Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°С за діапазон норм.

- Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1м.

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

Побутове обслуговування технічного персоналу передбачається в приміщенні з виділенням зон для переодягання, обігріву, сушіння спецодягу та ін.

Прийняті в проєкті технічні рішення дозволяють:

- запобігти ймовірності виробничого травматизму і професійних захворювань;

- скоротити до мінімуму витрати ручної праці;

- забезпечити нормальні умови праці.

3.6.4 Вимоги безпеки

Всі роботи (будівельні, монтажні і спеціальні) виконавчі роботи повинні виконуватися згідно з: [30, 34-38].

Заходи з питань охорони праці на окремі види робіт детально викладені в технологічних картах, застосованих в проєкті.

До верхолазних робіт з монтажу арматури тимчасового освітлення можуть допускатися особи, яким виповнилося 18 років, що пройшли медичний огляд, навчені безпечним методам роботи і мають посвідчення з перевірки знань з охорони праці.

Засоби захисту, які застосовуються для запобігання або зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що виникають при електромонтажних роботах, повинні відповідати вимогам нормативних документів.

Усі працівники, які перебувають на будівельному майданчику повинні бути забезпечені захисними касками.

Вантажно-розвантажувальні роботи на залізничних станціях, на територіях складів та на місцях проведення будівельно-монтажних робіт слід проводити згідно з "Типовою інструкцією з охорони праці при виконанні завантажувально-розвантажувальних робіт".

Вся будівельна техніка, пристрої, інструменти, що застосовуються на будівництві, повинні відповідати вимогам технічних умов. При

транспортуванні будівельних вантажів і будівельної техніки потрібно дотримуватись "Правил дорожнього руху", затверджених МВС України і [39].

3.6.5 Виконання робіт на висоті

Роботи на висоті — це роботи, при виконанні яких працівник перебуває на відстані менше 2 м від межі неогороджених зовнішніх або не перекритих внутрішніх перепадів по вертикалі 1,3 м і більше від робочої поверхні (ґрунту, перекриття, робочого настилу), а також роботи на похилій робочій поверхні незалежно від відстані від межі перепадів по вертикалі та наявності огородження.

Основним засобом захисту, що запобігає падінню з висоти, є захисне огородження перепадів по вертикалі або перекриття робочим настилом внутрішніх прорізів робочої поверхні, а допоміжним — безлямковий запобіжний пояс, який за функціональним призначенням використовують лише для підтримування працівника.

Задля «встановлення єдиного порядку організації і виконання робіт на висоті» було розроблено Правила охорони праці при роботі на висоті, затверджені наказом Держгірпромнагляду від 27.03.2007 № 62 (НПАОП 0.00-1.15-07; далі — Правила).

Правила виконання робіт на висоті та всі інші нормативно-правові акти з охорони праці до робіт на висоті відносять роботи на висоті понад 1,3 м.

У нормативних документах міжнародної організації праці під роботами на висоті розуміють роботи на рівні або нижче рівня поверхні землі, з якого може потрапити під дію травми, зокрема підйом і спуск з такого місця.

До таких робіт належать:

- роботи на риштуваннях і помостах;
- у кузові транспортного засобу;
- стаціонарних платформах і колисках;
- на сцені або естакаді (наприклад, під час концерту, зйомки);

- поруч з виїмками (котлованами, траншеями, колодязями), а також у разі використання для доступу опори або каната.

При цьому до робіт на висоті не відносять переміщення по стаціонарних драбинах (сходових маршах).

Розглянемо вимоги окремих розділів та підпунктів Правил і порівняємо їх з вимогами інших нормативних актів.

У Правилах є розділ 6.4 «Вимоги безпеки під час виконання робіт з колисок будівельних і тих, що навішуються на гак крана». Але згідно з частиною четвертою підпункту 7.5.28 Правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів, затверджених наказом Держгірпромнагляду від 18.06.2007 № 132 (НПАОП 0.00-1.01-07), такий спосіб виконання робіт дозволяється за умови використання спеціальних колисок і розроблення проєкту виконання робіт, який установлює порядок проведення робіт і заходи щодо здійснення безпечного виконання цих робіт, а також підлягає експертизі з питань охорони праці.

Устаткування для підіймання людей або людей і вантажів, в тому числі таке, де є ризик падіння з висоти понад три метри, передбачено Переліком типів машин, до яких застосовується процедура оцінки відповідності машини вимогам Технічного регламенту безпеки машин (п. 17 додатка 9 до Технічного регламенту безпеки машин, затвердженого постановою КМУ від 30.01.2013 № 62).

Підпунктом 7.2.1 Правил встановлено: «До початку проведення робіт на даху споруд необхідно виконати передбачені нарядом заходи безпеки, в тому числі: відгородити щитами, канатами тощо діючі електромережі та електроустаткування, що знаходяться на відстані 2,5 м і ближче до місця проведення робіт та вивісити на огорожі відповідні знаки та плакати безпеки...».

Однак допустима відстань людини у будь-якому можливому її положенні та інструментів і пристосувань, які вона використовує, від тимчасових огорож до струмопровідних частин, що перебувають під напругою до 1 кВ, визначена як 0,6 м (пп. 2.3.3, таблиця 2.3 Правил безпечної експлуатації електроустановок

споживачів, затверджених наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 09.01.1998 № 4; НПАОП 40.1-1.21-98).

А допустима відстань від будівельної машини (вантажопідіймального, землерийного, бурильного та інших механізмів) або від її підіймальної (висувної) частини, а також робочого органу або вантажу, що підіймається, в будь-якому положенні до вертикальної площини, утворюваної проекції на землю найближчого проводу, що перебуває під напругою повітряної наземної лінії електропередачі змінного струму, — 1 м. Більш безпечним є проведення робіт біля знеструмлених струмопровідних частин.

Згідно з підпунктом 7.7.3 Правил інвентарні риштування мають бути завширшки не менше 0,6 м із робочим проходом на них не менше 0,5 м, але відповідно до підпункту 6.2.3 ДБН А.3.2-2-2009 — ширина одиночних проходів до робочих місць і на робочих місцях має бути не менше ніж 0,6 м.

Підпунктом 7.10.6.3.7 Правил встановлені такі вимоги: «При виконанні робіт на висоті 3 м і більше з приставних драбин, які неможливо закріпити за елементи конструкції, спорудження тощо застосовують бокові відтяжки, зачеплені за верхню щаблину драбини (технологічні отвори у верхній частині драбини). Відтяжки розташовують паралельно площини спорудження, під кутом не менше 45° відносно осі тятиви драбини і кріплять знизу до природних (штучних) опор. Перед установкою драбини в робоче положення за її верхню щаблину кріпиться страхувальний канат і відтяжки. При підйомі й виконанні роботи з драбини працівник забезпечує власну безпеку (самострахування) за допомогою затискача (вузла, що самозатягується), закріпленого через карабін до страхувального вузла зачеплення поясу запобіжного лямкового або за допомогою страхувального каната, що утримується іншим працівником».

Хоча у такому випадку більш безпечним є проведення робіт із використанням засобів підмощування (риштування, помосту). Крім того, згідно з підпунктом 7.3.28 ДБН А.3.2-2-2009 приставні драбини без робочих площадок дозволяється використовувати тільки для переходу між окремими ярусами будівлі, що будується, і для виконання робіт, що не потребують від виконавця

упору в конструкції будівлі; роботи на приставних драбинах допускаються тільки у виняткових випадках — під час аварії, якщо вона створює небезпеку для життя людини та руйнування устаткування (для проведення робіт на висоті мають використовуватися більш безпечні автомобільні підіймачі).

Аналогічні вимоги містяться й у пункті 2.6 Вимог безпеки при роботі на висоті (НПАОП 0.00-7.07-87).

3.7 Комплексне управління безпекою та надійністю в інженерних системах і експлуатації об'єктів

Обслуговування діючих електроустановок, проведення в них оперативних перемикань, організацію і виконання ремонтних, монтажних або налагоджувальних робіт і випробувань повинні виконувати спеціально підготовленні і атестовані працівники.

Діючі електроустановки повинні бути укомплектовані необхідними захисними засобами відповідно до норм.

Споживачеві не дозволяється підключати додаткові навантаження, не передбачені проєктом, а також збільшувати номінальні струми запобіжників та інших захисних пристроїв.

Фахівці служб охорони праці зобов'язані контролювати безпечну експлуатацію електроустановок і повинні мати групу IV з електробезпеки.

Огляд і поточний ремонт заземлювальних пристроїв повинен виконуватись одночасно з оглядом і поточним ремонтом всього електротехнічного обладнання.

При експлуатації' електричних установок проводяться профілактичні огляди, перевірки, вимірювання, поточні та капітальні ремонти (крім вибухозахисного обладнання), направлені на забезпечення надійності їх роботи, підтримання і дотримання в повному обсязі вимог відповідних розділів [40].

Забороняється покладати на енергослужбу обов'язки, що не входять до її професійної компетенції.

Введення до експлуатації виконується після проведення пусконалагоджувальних робіт та проведення прийомоздавальних випробувань. Прийомоздавальні випробування проводить комісія, яка створена з представників "Споживача" та представника організації, яка виконувала монтаж: та налагоджування обладнання.

Після монтажу перевіряють:

- відповідність виконаних робіт та встановленого обладнання проєкту, погодженому з теплопостачальною організацією;
- стан електромереж належних Споживачу;
- наявність контрольно-вимірювальних приладів;

Технічне обслуговування обладнання виконується у повній відповідності з вимогами підприємств-виробників обладнання.

Основною вимогою, що визначає надійність будівельного об'єкта, є його відповідність призначенню і здатність зберігати необхідні експлуатаційні якості (гарантія безпеки для здоров'я людей, майна та навколишнього середовища, збереження цілісності об'єкта і його основних частин, виконання вимог, що гарантують можливість використання об'єкта за призначенням і нормального функціонування технологічного процесу, забезпечення можливості розвитку об'єкта, обмеження ступеня ризику, безвідмовності роботи захисних пристроїв, надійності систем і мереж життєзабезпечення, живучості будівельних конструкцій і т.п.) протягом встановленого терміну експлуатації.

Надійність функціонування ліній та електрообладнання станції забезпечується використанням сучасної мікропроцесорної техніки підвищеної надійності, вакуумних вимикачів з великим комутаційним ресурсом, а також систем автоматики, сигналізації та оповіщення, здатної визначати внутрішні несправності і запобігати утворенню аварій.

Роботи на території електростанції мають небезпеку ураження електричним струмом, в зв'язку з цим експлуатація повинна здійснюватися на підставі [41] і [33], а також інструкцій і правил, що діють на підприємстві.

Надійність і конструктивна безпека проєктованих споруд досягається в результаті використання:

1. Повноти та достовірності вихідних даних:

- технічні параметри існуючого обладнання.

2. Якісних будівельних матеріалів і конструкцій.

Для забезпечення безпечного монтажу обладнання і безпечних умов обслуговування та експлуатації, проєктом передбачено:

- розміщення обладнання з максимально можливим зручністю для обслуговування (огляд, профілактика, ремонт);

- заземлення металевих неструмоведучих частин обладнання, металевих оболонок екранів кабелів відповідно до вимог технічної документації на обладнання;

- захист обладнання від небезпечних напруг і струмів.

Для безпечного гасіння пожежі на об'єкті передбачено відключення ввідних комутаційних апаратів на КТП та на головній підстанції. Ці заходи безпеки обумовлені необхідністю зняття напруги з електроустановок при виникненні пожежі.

Основними заходами запобігання аварій електроустаткування і споруд є:

- проведення систематичних оглядів та профілактичних заходів, що усувають виявлені несправності конструкцій і використовуваного обладнання;

- перевірка цілісності ланцюга заземлення;

- утримання в належному санітарному стані електроустановок.

Будівельно-монтажні роботи повинні виконуватися відповідно до ПВР.

До робіт на об'єкті будівництва повинні допускатися люди з необхідним рівнем кваліфікації. В процесі будівництва необхідно проводити заходи, необхідні для виключення помилок осіб, що беруть участь в процесі будівництва і експлуатації, в тому числі шляхом визначення і фіксації у відповідній нормативній і проєктній документації їх функцій і ступінь відповідальності.

Ухвалення в експлуатацію закінченого об'єкта будівництва здійснюється на підставі [42].

Під час прийому електроустановок в експлуатацію повинні бути:

- розроблені експлуатаційні інструкції та оперативні схеми, технічна документація;

- експлуатаційні працівники, які пройшли відповідне навчання і перевірку знань;

- підготовлено запасні частини і матеріали, випробувані захисні засоби і інструмент;

- створені безпечні умови праці для виробничих працівників та перебування людей відповідно до вимог НД з охорони праці, промислової безпеки, пожежної та технологічної безпеки, екологічних та санітарних норм.

Проєктовані електроустановки перебувають на території СЕС та відносяться до ІІІ группи відповідно до [43], не передбачає наявність протипожежного водопроводу і пожежних резервуарів, а відповідно і автоматичного водяного пожежогасіння.

Технічні будівлі СЕС мають ІІІа ступінь вогнестійкості. У приміщенні вихід передбачаються безпосередньо назовні. Двері відкриваються назовні, по ходу евакуації.

На час виконання будівельно-монтажних робіт житловий будинок повинен отримати сертифікат відповідності та протоколи випробувань, що підтверджують мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі поширення вогню по них відповідно до передбачених у проєктній документації.

На території СЕС передбачено встановлення фотоелектричних панелей, які виконані із не горючих матеріалів.

Кожен пожежний щит (стенд) укомплектовано наступними засобами пожежогасіння згідно п.3.11 [34]:

- вогнегасник ВП-9(з) (ТУ У29.2-13485476.009 - 2002) - 1 шт;

- вогнегасник ВВК-3,5 (ТУ У29.2-13485476.012-2003) - 1 шт;

- вогнегасник ВП-100 (з) (ТУ У03954616.003-96) - 1 шт;

- ящик з піском (V=0,5 м^3)- 1 шт;

- покривало протипожежне (з негорючого матеріалу) 2х2 м - 1 шт;

- гак (багор) - 1 шт;

- лопата совкова - 1 шт;

- лом - 1 шт

- сокира - 1 шт.

Згідно ДСТУ Б А.2.2-7:2010 [44], об'єкт не підлягає розробці окремого розділу у складі проєкту. Проєктована СЕС є об'єктом виробництва альтернативної електроенергії і не є об'єктом гарантованого електропостачання.

За результатами зонування визначено, що територія, визначена детальним планом не потрапляє до:

- зони можливих значних (сильних) руйнувань, зони можливого небезпечного сильного радіоактивного забруднення;

- зони можливого сильного радіоактивного забруднення.

До інших небезпечних зон, визначених ДБН В.1.2-4:2019, територія не потрапляє.

На території, визначеній детальним планом потенційно небезпечні об’єкти відсутні. Зонування за вимогами цивільного захисту від об'єкта не проводиться.

Висновки до розділу 3

Дана СЕС буде мати в собі інвертор Deye SUN-12K-SG04LP3-EU, з вихідною потужністю 12 кВт, 36 сонячних панелей Longi Solar LR5-54HTH-430M 430 Вт потужністю кожна. Підключення послідовне, кількість стрінгів 2 основних по 12 панелей і додатковий на 12 панелей.

Виконано розрахунок окупності в програмі RETScreen Expert. Простий термін окупності буде складати 30,5 років. Складний термін окупності буде складати 14,6 років.

Проєкт із встановлення фотовольтаїчної СЕС у житлових будинках у місті Київ сприятиме підвищенню енергоефективності будівель та частковому забезпеченню загальнобудинкових потреб в електроенергії. Впровадження такої СЕС дозволить зменшити залежність від традиційних джерел енергії, що актуально з огляду на зростаючі ціни на енергоносії та потребу у підвищенні енергетичної незалежності.

Система буде генерувати електроенергію з чистого та поновлюваного джерела, знижуючи загальні витрати на електроенергію для обслуговування будинку та сприяючи зменшенню викидів парникових газів. Це матиме позитивний вплив на екологічну ситуацію в місті, одночасно покращуючи комфорт і безпеку мешканців.

Загалом, реалізація цього проєкту є важливим кроком у напрямку сталого розвитку житлового фонду Києва. Встановлення СЕС відповідає сучасним тенденціям енергозбереження та екологічної відповідальності, сприяючи створенню економічно вигідного та екологічного середовища для мешканців міста.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

4.1 Опис ідеї проєкту

У сучасних умовах стрімке зростання виробництва та споживання електроенергії ставить під загрозу стабільність енергосистем. Використання ВДЕ має великий потенціал, але супроводжується новими викликами, зокрема високою стохастичністю та мінливістю виробництва електроенергії з сонячних джерел. Для подолання цих труднощів необхідно розробити заходи, що дозволять аналізувати та оптимізувати виробництво і споживання енергії, враховуючи прогнози і забезпечуючи стабільну якість електропостачання.

Стартап має на меті стати провідним розробником інтелектуальних рішень для проєктування СЕС, спрямованих на підвищення частки ВДЕ та оптимізацію електромереж. Розвиток автономних енергосистем є актуальною відповіддю на потреби в сталій та ефективній енергетиці. Однак, попри переваги, автономні енергосистеми також стикаються з численними викликами, які потребують комплексного підходу.

Основні виклики:

1. Нестабільність джерел енергії. Автономні енергосистеми часто використовують сонячну енергію, що характеризується сезонними та добовими змінами. Потрібні методи для управління цією невизначеністю, що забезпечить стабільність і надійність.

2. Інтеграція з енергоефективними технологіями. Для забезпечення ефективної інтеграції потрібні високопродуктивні системи управління та зв'язку.

3. Енергонезалежність. Створення надійних систем зберігання та розподілу енергії є ключовим для забезпечення стабільного електропостачання в автономних умовах.

Основні перспективи:

1. Стійке електропостачання. Автономні енергосистеми можуть гарантувати стійке електропостачання у віддалених регіонах або в екстремальних умовах.

2. Енергетична ефективність. Розробка нових методів управління допоможе оптимально використовувати доступні джерела енергії.

3. Сприяння екологічному розвитку. Використання ВДЕ дає можливість скоротити споживання традиційних ресурсів і зменшити викиди парникових газів.

Стартап розробляє алгоритм, що враховує всі аспекти управління та оптимізації автономних енергосистем, пропонуючи ефективні рішення для подолання вищезазначених викликів і реалізації потенціалу.

Проєктна концепція стартапу детально описує основну ідею, що сприятиме глибокому розумінню її суті та визначенню потенційних ринків. Зокрема, у таблиці 4.1 представлені основні цілі та цільові ринки, для яких передбачається аналіз потенційних груп клієнтів.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	**Напрями застосування**	**Вигоди для користувача**
Аналіз потреб електропостачання: Проводиться аналіз виробництва енергії та споживання у реальному часі	**Домашні господарства:** Забезпечення сталого та ефективного використання енергії вдома	**Економія коштів:** Зменшення рахунків за електроенергію завдяки оптимізації споживання
Прогнозування дефіциту: Базуючись на аналізі, виконуються прогнози можливого дефіциту енергії та виділяє резервні режими для покриття потреб	**Бізнес та офіси:** Управління споживанням енергії в офісах та промислових приміщеннях для зменшення витрат	**Сталість електропостачання:** Забезпечення стабільності енергопостачання у разі дефіциту.
Система обмежень: У разі дефіциту, обмеження споживання для користувачів, забезпечуючи ефективне управління енергією	**Місцеві громади:** Впровадження в місцевих громадах для підвищення сталості та раціонального використання енергії	**Екологічна ефективність:** Сприяння зменшенню викидів та підтримка екологічної стійкості

Визначений список недоліків, переваг та нейтральних рис ідеї становить основу для формування його конкурентоздатності.

Зараз існують конкуренти, які виконують прогнози за аналогічними алгоритмами.

4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

У рамках цього розділу необхідно провести аудит технології, яка може бути використана для реалізації концепції проєкту (технології виготовлення товару).

Оцінка технічної можливості втілення ідеї проєкту включає в себе аналіз компонентів, представлених у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Технологічна здійсненність ідеї проєкту

Ідея проєкту	**Технології її реалізації**	**Наявність технологій**	**Доступність технологій**
Розробка алгоритму для проєктування СЕС	Використання алгоритмів аналізу даних, імплементація системи обмеження споживання	Ступінь наявності сучасних аналітичних та веб-технологій	Рівень доступності широкого спектру технологій у розробці СЕС

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Оцінка ринкового оточення включає складання таблиці чинників, які сприяють впровадженню проєкту на ринку, і тих, які можуть йому заважати. Ці чинники перелічені у відповідних таблицях 4.3 і 4.4. Порядок внесення чинників в таблиці відображає їхню відносну значущість.

Таблиця 4.3 - Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Складне економічне становище в країні	Брак коштів щодо реалізації продукту	Зниження собівартості
2	Конкуренція	Створення аналогічного алгоритму проєктування з дешевшою ціною	Зниження собівартості

Таблиця 4.4 - Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Розвиток алгоритму проєктування	Створення і оновлення функцій, розширення можливостей	Маркетинг

Завершальним кроком у вивченні можливостей впровадження проєкту на ринку є розробка SWOT-аналізу - матриці, яка враховує сильні (Strength) і слабкі (Weak) сторони, загрози (Troubles) та можливості (Opportunities). Зазначений SWOT-аналіз представлений у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - SWOT- аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони	Слабкі сторони
- постійна підтримка; - періодичне вдосконалення	- відсутність зацікавлення у незаможних громадян
Можливості:	**Загрози:**
- розвиток; - легкий доступ;	- складне економічне становище в країні; - конкуренція

4.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту

В ринковій стратегії для проєкту визначено ключові сегменти, які сприятимуть ефективному впровадженню та успішному розвитку. Для взаємодії з різними клієнтами ми обрали різні стратегії входження на ринок та розробили конкурентні переваги, спрямовані на задоволення їхніх потреб.

Перед вами таблиця, яка резюмує ринкову стратегію. Ми виділили три основні сегменти ринку: приватних клієнтів, бізнес клієнтів та державні установи та регуляторів. Для кожного з них ми визначили стратегії входження, конкурентні переваги та визначили мету, яку ми прагнемо досягти взаємодіючи з цими сегментами проведена у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Сегмети ринку

Сегмент ринку	**Стратегія входження**	**Конкурентні переваги**	**Мета**
Приватні клієнти	Проведення рекламних кампаній та промо-акцій для привертання уваги	Індивідуальний підхід, ефективна підтримка клієнтів	Залучення максимальної кількості приватних користувачів
Бізнес клієнти	Укладання стратегічних партнерств із компаніями у сфері енергетики, надання спеціалізованих рішень для бізнесу	Висока ступінь автоматизації.	Укладання довгострокових контрактів та забезпечення сталого потоку доходів
Державні установи та регулятори	Активна участь у програмах та ініціативах щодо сталого розвитку та використання ВДЕ	Високий рівень відповідності стандартам екологічності та сталого розвитку	Позиціювання як екологічно відповідального партнера

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару показано у таблиці 4.7

Таблиця 4.7 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Ключові переваги концепції товару	Опис
1	Ефективний аналіз енергопотоків	Підхід забезпечить точний та ефективний аналіз виробленої та спожитої електроенергії, що дозволить здійснювати обґрунтовані управлінські рішення
2	Автономна система	Забезпечення електроенергії в моменти дефіциту
3	Гнучкість та адаптивність	Індивідуальний підхід проєктування до різних умов і потреб користувачів, забезпечуючи гнучке й ефективне використання електроенергії
4	Інтеграція з відновлюваними джерелами	Інтеграція з системами ВДЕ, допомагаючи максимізувати використання зеленої енергії

Концепція, згідно з якою компанія ретельно обмірковує та координує роботу своїх численних каналів комунікації називається концепція маркетингової комунікації, вона продемонстрована у таблиці 4.8. Для успішного впровадження та популяризації програми заплановано використовувати різноманітні канали маркетингових комунікацій. Ці канали охоплюють онлайн та офлайн платформи та призначені для залучення уваги й інформування цільової аудиторії.

Таблиця 4.8 - Концепція маркетингової комунікації

Маркетингові комунікації	**Канали комунікації**	**Зміст**
Реклама в Інтернеті	Соціальні мережі, веб-сайт	Поширення інформації про переваги та можливості, залучення уваги потенційних клієнтів
Участь у виставках та конференціях	Галузеві заходи	Презентація підходів та рішень перед енергетичними фахівцями та представниками галузі
Контент-маркетинг	Блог, веб-сайт	Публікації, статті та інші матеріали, що розкривають можливості та переваги
Прямий маркетинг	Email-розсилки, телефонні дзвінки	Особистий контакт з потенційними клієнтами, надання інформації
Партнерські відносини	Укладення партнерських угод та співпраця з компаніями	Розширення аудиторії через партнерів

Висновки до розділу 4

Запропонований проєкт інноваційного алгоритму та підходу до проєктування для аналізу та оптимізації ВДЕ є важливим кроком у напрямку сталого розвитку та ефективного управління енергетичними ресурсами. Він спрямований на забезпечення стабільної та ефективної роботи енергосистем і максимальне використання поновлюваних джерел.

Під час розробки проєкту враховано сучасні виклики енергетичного сектора, пов'язані з коливаннями у генерації та споживанні електроенергії. Запропонований алгоритм успішно вирішує ці проблеми, надаючи можливість аналізувати та прогнозувати виробництво і споживання енергії, що дає можливість ефективно керувати енергосистемою.

Основні переваги продукту включають здатність забезпечувати стабільність і надійність енергопостачання за допомогою автоматичного управління енергоспоживанням у режимі реального часу. Алгоритм дає можливість оптимізувати використання ВДЕ та раціоналізувати енергоспоживання, сприяючи створенню більш стійкої та ефективної енергетичної системи.

Ми впевнені, що впровадження цього проєкту позитивно позначиться на енергетичному ринку, підвищить його конкурентоспроможність та сприятиме зниженню викидів забруднюючих речовин. Запропонований алгоритм та підхід до проєктування відкривають нові перспективи для розвитку енергетики, сприяючи створенню більш стійких і збалансованих енергетичних систем.

ВИСНОВКИ

1. Проєкти, спрямовані на розвиток сонячної енергетики, впровадження інноваційних алгоритмів для аналізу й оптимізації використання відновлюваних джерел енергії, а також комплексні рішення для підвищення енергоефективності в житлових будинках, є важливими кроками на шляху до сталого розвитку енергетичної галузі.

2. Розробка та впровадження фотовольтаїчних сонячних електростанцій у містах, дозволяють частково забезпечити енергетичні потреби багатоквартирних будинків і сприяють підвищенню енергоефективності житлового сектору. Ці системи не лише зменшують витрати на електроенергію, а й знижують екологічне навантаження за рахунок використання чистої енергії.

3. Інноваційні підходи до проєктування й управління енергетичними ресурсами, зокрема алгоритми для стабільної інтеграції ВДЕ в енергосистеми, вирішують критичні проблеми варіативності генерації та споживання. Такі алгоритми підвищують стабільність, надійність і ефективність енергопостачання, забезпечуючи автоматичне регулювання в режимі реального часу. Оптимізація використання відновлюваних джерел є основою для побудови більш стійких і збалансованих енергетичних систем, що відповідають сучасним вимогам екологічної відповідальності та енергозбереження.

4. Комплексне впровадження цих рішень не лише позитивно впливає на енергетичний ринок, але й сприяє створенню конкурентного середовища та зменшенню викидів у довкілля. Ці ініціативи відкривають нові можливості для розвитку в галузі енергетики, наближаючи нас до мети сталого і раціонального використання ресурсів, а також покращення якості життя та екологічної ситуації в містах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. https://solar-tech.com.ua/ua/osnovnye-ponyatiya-v-solnechnoi-energetike-2021-12-06.html
2. https://deye.com.ua/news-uk/shcho-take-vysokovoltnyj-invertor-navishcho-vony-potribni-chy-varto-vykorystovuvat-ikh-i-pry-iakykh-potuzhnostiakh-tse-aktualno/
3. https://setech.in.ua/yak-pravilyno-vibrati-nvertor/
4. https://prel.prom.ua/a379041-vibir-merezhevogo-invertora.html
5. https://brom.ua/uk/sho-take-kontroller-zaryada-sonyaschnyh-panelej-mppt-ukr?srsltid=AfmBOoqM20ZFOnBzQTx9z4lXoKunUYdY3lX0FnDX_R9Lmw9N8Iclc0XL
6. https://solarsystem.com.ua/yak-samostijno-pidibraty-invertor-dlya-sonyachnoyi-elektrostantsiyi/
7. https://solarsystem.com.ua/yak-vybraty-sonyachni-paneli-top-20-vyrobnykiv-mono-ta-polikrystalu/
8. https://old.kyivcity.gov.ua/news/45826.html?PrintVersion
9. https://kyivcity.gov.ua/news/iz_16_zhovtnya_v_kiyevi_rozpochnut_priyom_zayavok_dlya_uchasti_v_energoefektivniy_programi_7030_u_2024_rotsi/
10. https://www.solargarden.com.ua/metodyka-rozrahunku-sonyachnoi-elektrostantsii-ses/
11. https://greenpowertalk.tech/threads/sxema-podkljuchenija-solnechnyx-panelej-raschet-stringa-solnechnyx-batarej.296/
12. https://sun-energy.com.ua/articles/kut_paneli?srsltid=AfmBOooIRSOcCOtTFjY3rbAcxriCAUWWRvM5TYgDkmM4XbFXWJM-W6SU
13. https://eco-electrics.com.ua/news/iakii-kut-nahilu-soniachnih-batarei-optimalnii

14. https://alfa.solar/uk/content/vibir-gibridnogo-invertora-id15?srsltid=AfmBOooBCWv-I6kOrXQf3SJPcZOoUpRu2LdoN7dGBUX_bZs9Ly-JTgsK
15. https://solar-tech.com.ua/ua/rekomendovannoe-sechenie-provodov-dlya-ses-2019-04-10.html
16. https://solarsystem.com.ua/ru/elektrozahyst-dlya-sonyachnoyi-elektrostantsiyi-u-podarunok-vid-kompaniyi-solarsystem/?srsltid=AfmBOoqyiEWbNupJcfBWRVVSlJoIkyEE1HMiRz6NQJolHeHqcp2wdYAO
17. Закон України "Про охорону природного довкілля"
18. Закон України "Про охорону атмосферного повітря"
19. Закон України "Про екологічну експертизу"
20. Закон України "Про оцінку впливу на довкілля" від 23.05.2017 № 2059-VIII;
21. ДБН А.2.2-1-2003 "Склад і зміст матеріалів оцінки дій на довкілля (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будівель і споруд"
22. ДСП 210-97 "Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами)"
23. ДСП 173-96 "Державні санітарні правила планування і забудови населених пунктів"
24. ДСанПіН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною"
25. ДСН 3.3.6.037-99 "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку"
26. ДБН В.1.1-31:2013 "Захист територій, будівель і споруд від шуму"
27. Законом України "Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання"
28. НРБУ-97/Д-2000 "Норми радіаційної безпеки України"
29. ДСП 54-2005 "Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України"

30. ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека у виробництві
31. ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів"
32. Закон України "Про охорону праці"
33. ПТЕЕС "Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів"
34. НАПБ А.01.001-2014 "Правила пожежної безпеки в Україні"
35. НПАОП 0.00-1.15-07 "Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті"
36. НПАОП 0.00-1.71-13 "Правила охорони праці під роботи з інструментом та пристосування"
37. ДСТУ Б А.3.2-13:2011 "ССБП. Будівництво. Електробезпека. Загальні вимоги"
38. ДСТУ Б А.3.2-7:2009 "ССБП. Роботи фарбувальні. Вимоги безпеки"
39. НПАОП 0.00-1.62-12 "Правила охорони праці на автомобільному транспорті"
40. ПУЕ "Правила улаштування електроустановок" 2017р. видавництво "Форт"
41. ПББЕЕС "Правила будови і безпечної експлуатації електроустановок споживачів"
42. СОУ-Н ЕЕ 20.402:2007 "Прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів електричних мереж напругою від 0,38 кВ до 110 (150) кВ"
43. НАПБ 05.028-2004 "Протипожежний захист енергетичних підприємств, окремих об'єктів та енергоагрегатів. Інструкція з проєктування і експлуатаці"
44. ДСТУ Б А.2.2-7:2010 "Розділ інженерно-технічних заходів цивільного захисту (цивільної оборони) у складі проєктної документації об'єктів. Основні положення"