

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного
менеджменту

Ковбанюк Максим Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.2

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення методики оцінювання метрологічних параметрів вхідних
даних на етапі проектування сонячної електростанції

(назва роботи)

Інженерія відновлюваної енергетики

(назва освітньої програми)

152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня М. А. Ковбанюк

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Цих Віталій Сергійович, канд. техн. наук, доцент

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

В. С. Цих

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Автоматизації та енергетики

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту

Освітній рівень Бакалавр

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Освітня програма Інженерія відновлюваної енергетики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« ____ » _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Ковбанюку Максиму Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення методики оцінювання метрологічних параметрів вхідних даних на етапі проектування сонячної електростанції

керівник роботи Цих Віталій Сергійович, канд. техн. наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені ІФНТУНГ від "29" квітня 2025 року № 268/7

2. Строк подання студентом роботи "09" червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Проаналізувати стан розвитку сонячної енергетики в Україні та обґрунтувати актуальність забезпечення точності вхідних даних при проектуванні СЕС

2. Визначити перелік основних вхідних даних, що використовуються на етапі передпроектного обстеження, та оцінити їх вплив на ефективність проекту.

3. Дослідити джерела похибок, що виникають під час збору вхідних даних, та розробити класифікацію параметрів за критичністю до точності.

4. Обґрунтувати вимоги до метрологічних характеристик вхідних даних (точність, похибка, достовірність, невизначеність) з урахуванням специфіки СЕС.

5. Розробити універсальну методику обстеження об'єкта для подальшого проектування СЕС, що враховує практичні, метрологічні та нормативні аспекти.

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтролер</i>	<i>доцент Яворський А. В.</i>		
<i>Перевірка на плагіат</i>	<i>доцент Миндюк В. Д.</i>		

7. Дата видачі завдання “29” квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача завдання (відповідно до наказу)	29.04.2025	
2	Розроблення розділу №1 – «Аналіз особливостей проектування сонячних електростанцій з урахуванням метеорологічних параметрів вхідних даних»	10.05.2025	
3	Розроблення розділу №2 – «Оцінювання факторів, які впливають на точність та якість проектування сонячних електростанцій»	16.05.2025	
4	Розроблення розділу №3 - «Розроблення методики проведення обстеження об'єктів із врахуванням точності вхідних даних»	20.05.2025	
5	Розроблення - «Основні норми обстеження будівель на предмет доцільності встановлення СЕС»	30.05.2025	
6	Завершення формування третього розділу (типові помилки, модернізація/автоматизація, висновки)	06.06.2025	
7	Оформлення роботи	08.06.2025	

Студент

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ковбанюк М. А. «Розроблення методики оцінювання метрологічних параметрів вхідних даних на етапі проектування сонячної електростанції». Дипломна робота освітнього рівня – бакалавр, на правах рукопису. Спеціальність – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка». – Івано-Франківськ, 2025.

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена проблемі забезпечення високої точності вхідних даних на етапі проектування сонячної електростанції (СЕС), що є критичним для ефективної та економічно обґрунтованої реалізації проекту. У роботі розглянуто специфіку формування технічного завдання для СЕС із урахуванням метрологічних характеристик параметрів, що підлягають вимірюванню.

Особливу увагу приділено оцінюванню чинників, які впливають на точність та якість даних, що використовуються під час проектування. Проведено аналіз похибок вимірювань, спричинених технічними і людськими факторами, а також досліджено вплив класу точності вимірвальних приладів на достовірність отриманих результатів. Здійснено класифікацію параметрів за критичністю до точності та сформульовано основні метрологічні вимоги до процесу обстеження об'єкта.

У межах дослідження розроблено методику проведення обстеження об'єктів з урахуванням метрологічної обґрунтованості кожного етапу збору даних. Основна ціль методики — у результаті її проведення надати замовнику та виконавцям розуміння того, які результати вимірювань є найважливішими та можуть найкритичніше вплинути на загальну вартість і комплектацію об'єкта.

Загальний обсяг роботи становить 70 сторінок, включає 19 рисунків, 4 таблиці та 55 використаних джерел.

Ключові слова: МЕТОДИКА, ТОЧНІСТЬ, ПОХИБКИ, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ПРОЕКТУВАННЯ СЕС, ОБСТЕЖЕННЯ, ПРОГРАМНІ ПРОДУКТИ.

ABSTRACT

Kovbaniuk M. A. “Development of a methodology for evaluating metrological parameters of input data at the design stage of a solar power plant”. Bachelor’s Thesis, manuscript form. Field of Study – 152 “Metrology and Information-Measuring Technologies”. – Ivano-Frankivsk, 2025.

The bachelor's qualification thesis is dedicated to the issue of ensuring high accuracy of input data at the design stage of a solar power plant (SPP), which is critical for the effective and economically justified implementation of the project. The study examines the specifics of forming a technical assignment for an SPP, taking into account the metrological characteristics of the parameters subject to measurement.

Particular attention is paid to evaluating the factors that influence the accuracy and quality of the data used in the design process. An analysis of measurement errors caused by both technical and human factors was carried out, as well as a study of the impact of the accuracy class of measuring instruments on the reliability of the obtained results. A classification of parameters according to their sensitivity to accuracy has been developed, and the main metrological requirements for the site survey process have been formulated.

As part of the study, a methodology for conducting site surveys was developed, taking into account the metrological justification of each stage of data collection. The main goal of the methodology is to provide clients and engineers with a clear understanding of which measurement results are most important and can critically affect the total cost and configuration of the system.

The total volume of the thesis is 70 pages, including 19 figures, 4 tables, and 55 sources

Keywords: METHODOLOGY, ACCURACY, ERRORS, SOLAR POWER PLANT, SOLAR POWER PLANT DESIGN, SURVEY, SOFTWARE PRODUCTS.

Зміст

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ СИМВОЛІВ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 Аналіз особливостей проєктування сонячних електростанцій з урахуванням метрологічних параметрів вхідних даних.....	10
1.1 Поточний стан і перспективи сонячної енергетики в Україні.....	10
1.2 Основні етапи проєктування сонячної електростанції.....	16
1.3 Передпроектне обстеження: мета, задачі та значення точності.....	17
1.4 Вплив похибок і неточностей на ефективність СЕС.....	19
1.5 Постановка задачі дослідження.....	21
РОЗДІЛ 2 Оцінювання факторів, які впливають на точність та якість проєктування сонячних електростанцій.....	22
2.1 Вимірювання геометричних параметрів об'єкта.....	22
2.1.1 Розміри даху, форма (плоский/скатний), орієнтація.....	22
2.1.2 Наявність і габарити конструкцій, що можуть затінювати.....	23
2.1.3 Інструменти вимірювання (рулетка, дрон, курвіметр, LIDAR).....	23
2.2 Тіньовий аналіз.....	24
2.2.1 Вплив тіней на генерацію енергії.....	25
2.2.2 Методи розрахунку (PVsyst, SketchUp, AutoCAD).....	25
2.2.3 Вимоги до точності моделей.....	27
2.3 Електротехнічні вимірювання.....	28
2.3.1 Вимірювання споживання електроенергії.....	28
2.3.2 Струми в трифазній мережі.....	29
2.3.3 Частота та обсяг вимірювань: разово/багаторазово.....	30
2.4 Трасування кабелів.....	31
2.4.1 Потреба в точності при вимірюванні довжин.....	31
2.4.2 Вплив неточностей на вартість та втрати.....	31

2.4.3 Запас по довжині: теорія і практика.....	32
2.5 Людський фактор і методи його мінімізації.....	32
2.6 Узагальнення вимог до точності на етапі проєктування.....	34
2.7 Висновки до розділу 2.....	38
РОЗДІЛ 3 Розроблення методики проведення обстеження об'єктів із врахуванням точності вхідних даних.....	39
3.1 Методика проведення обстеження.....	39
3.1.1 Структура та призначення опитувальних листів і шаблонів обстеження.....	40
3.1.2 Методика оцінки придатності вхідних даних для проєктування.....	42
3.2 Основні норми обстеження будівель на предмет доцільності встановлення СЕС.....	44
3.2.1 Особливості дотримання нормативних вимог на базі практичного досвіду.....	45
3.2.2 Типові помилки під час обстеження будівель на предмет доцільності встановлення СЕС.....	47
3.3 Рекомендації щодо вдосконалення методик обстеження.....	50
3.4 Висновки до розділу 3.....	54
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ.....	64

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ СИМВОЛІВ

СЕС – Сонячна електростанція

БР – Бакалаврська робота

ГІС – Геоінформаційна система

ПЗ – Програмне забезпечення

БІМ (BIM) – Building Information Modeling (Інформаційне моделювання будівель)

КСС – Коефіцієнт сезонності сонячної радіації (в контексті аналізу потенціалу СЕС)

GPS – Global Positioning System

UAV – Unmanned Aerial Vehicle (безпілотний літальний апарат)

GNSS – Global Navigation Satellite System

КТ – Коефіцієнт тепловтрат (в аналізі панелей)

ГВт, МВт, кВт – Гіга-, Мега-, кіловати

EN50160 – Європейський стандарт якості електропостачання

НДІ – Науково-дослідний інститут

НКРЕКП – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг

ДБН – Державні будівельні норми

ДСТУ – Державний стандарт України

КПІ – Київський політехнічний інститут

LIDAR – Light Detection and Ranging

IoT – Internet of Things (Інтернет речей)

RSEW – Renewable and Sustainable Energy Reviews (назва журналу)

CAD – Computer-Aided Design

ВСТУП

Актуальність роботи

У сучасних умовах розвитку енергетичного сектору України дедалі більшого значення набувають технології використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної. Сонячна енергетика розглядається як перспективний напрям через її екологічність, доступність і здатність зменшувати залежність країни від традиційного викопного палива. Водночас ефективність експлуатації сонячних електростанцій значною мірою визначається якістю та точністю даних, що застосовуються під час проектування. Наявність похибок у вхідних даних може призвести до неправильної оцінки енергетичного потенціалу, нерационального підбору обладнання, зниження продуктивності та перевитрат бюджету. Відтак, виникає нагальна потреба у створенні методики оцінювання метрологічних параметрів цих даних, що є актуальним завданням сучасної проектної практики.

Мета і задачі дослідження

Метою бакалаврської роботи є розроблення методики оцінювання метрологічних параметрів вхідних даних, що використовуються при проектуванні сонячної електростанції. Актуальність теми зумовлена тим, що точність цих даних безпосередньо впливає на ефективність, надійність і економічну доцільність технічних рішень.

У ході дослідження проаналізовано розвиток сонячної енергетики в Україні та визначено основні чинники, що впливають на якість проектування. Встановлено перелік вхідних параметрів, оцінено їх вплив на результат і досліджено джерела похибок, включно з технічними обмеженнями вимірювальних засобів і людським фактором. Здійснено класифікацію параметрів за критичністю до точності та обґрунтовано метрологічні вимоги до вхідних даних.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процес оцінювання точності даних при проектуванні сонячної електростанції.

Предмет дослідження

Предметом дослідження виступають вхідні дані, що використовуються під час проектування СЕС, з акцентом на їхні метрологічні характеристики: точність, похибку, невизначеність та достовірність.

Методи дослідження

У роботі застосовано методи моделювання та аналітичні підходи. Проведено аналіз літературних і нормативних джерел, використано математичні методи для оцінювання похибок і невизначеностей, проведено мінімальне симуляційне моделювання у програмному забезпеченні (PVsyst, SketchUp, Skelion), виконано порівняльний аналіз даних, зібраних за допомогою GPS, лазерних далекомірів і супутникових карт.

Практичне значення одержаних результатів

Результати роботи мають прикладне значення для фахівців у сфері проектування сонячних електростанцій. Запропонована методика дозволяє підвищити надійність технічних рішень за рахунок системного підходу до збору та аналізу вхідних даних, з урахуванням їх метрологічних характеристик. Особливий акцент зроблено на виявленні тих параметрів, точність вимірювання яких має критичний вплив на енергетичну ефективність, вартість реалізації проекту та правильність конфігурації системи. Методика сприяє зменшенню похибок, втрат енергії через недосконале моделювання та забезпечує більш ефективне використання інвестицій.

Крім того, її можна використовувати як елемент автоматизованої перевірки вхідних даних у CAD/BIM-програмах, а також як навчальний інструмент для підготовки майбутніх інженерів-енергетиків і проєктувальників.

Відповідно, результатом стало створення універсальної методики обстеження об'єкта, яка дозволяє мінімізувати похибки, структурувати процес збору інформації та підвищити надійність проєктних рішень у сфері СЕС.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЄКТУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ З УРАХУВАННЯМ МЕТРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВХІДНИХ ДАНИХ

1.1 Поточний стан і перспективи сонячної енергетики в Україні

Галузь сонячної енергетики в Україні є однією з наймолодших у сфері електроенергетики, яка активно зростає. Станом на кінець 2020 року в експлуатації перебувало сонячних електростанцій сумарною потужністю 6320 МВт, не враховуючи приблизно 407,9 МВт, розташованих на тимчасово окупованих територіях. Ці об'єкти виробили 1,265 млрд кВт·год електроенергії. У першому кварталі 2021 року частка СЕС у загальній генерації електроенергії України становила близько 6% [1].

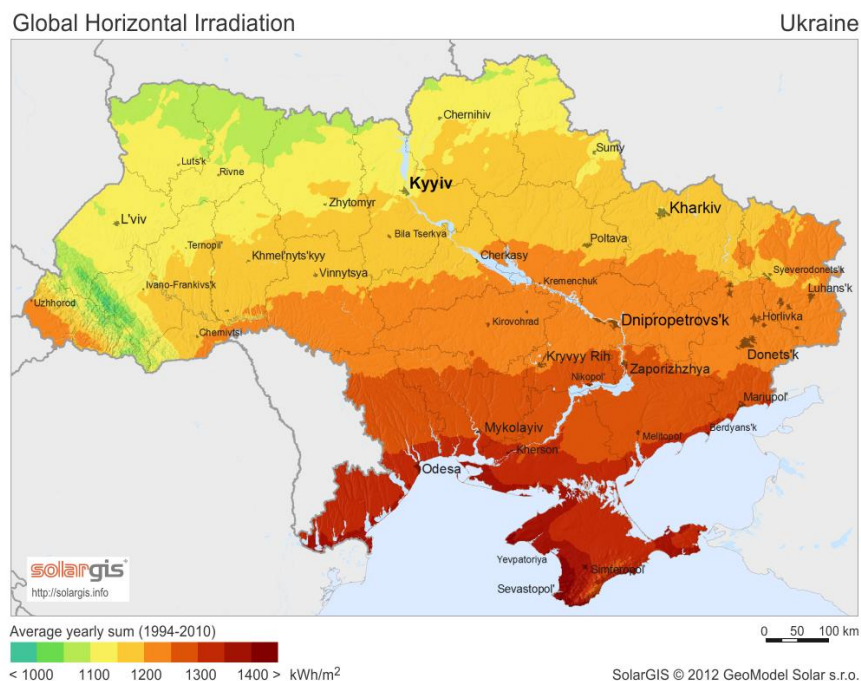


Рисунок 1.1 - Рівень сонячного випромінювання на території України [2].

Ці показники свідчать про високий темп розвитку сфери сонячної енергетики, яка з кожним роком зміцнює свою позицію в енергетичному балансі країни. Завдяки політиці децентралізації та підтримці "зелених" інвестицій

Україна створила сприятливий клімат для впровадження сучасних технологій у цій галузі.

Кліматичні умови всієї території України дозволяють впроваджувати системи теплопостачання, що працюють на сонячній енергії. Найбільш сприятливими для цього вважаються південні області та Кримський півострів. У виробництві електроенергії використовуються як фотоелектричні технології, так і геліотермальні установки. Річний рівень сонячної радіації в країні є порівнянним із показниками Швеції, Німеччини та США [1].

Особливо варто відзначити наявність регіонального розмаїття природно-кліматичних умов, що дозволяє адаптувати проекти СЕС до локальних особливостей. Це створює умови для рівномірного розповсюдження технологій сонячної генерації по території всієї країни.

Сонячне випромінювання може бути джерелом енергії навіть у хмарні дні. Сьогодні сонячна енергія активно застосовується в різних країнах не лише для генерації електроенергії, а й для забезпечення теплом та очищення води [3].

На глобальному рівні відзначається зростання обсягів інвестицій у сонячну енергетику, що є результатом зниження вартості обладнання та підвищення його ефективності. Цей тренд також спостерігається в Україні, де розширюються масштаби впровадження побутових і промислових СЕС.

Україна поступово знижує свою залежність від викопного палива, зокрема через підтримку відновлюваної енергетики. Згідно з прогнозами, до 2030 року країна здатна удесятеро збільшити частку ВДЕ і зменшити використання природного газу на 15%.

Крім цього, слід зауважити, що розвиток сонячної енергетики позитивно впливає на створення нових робочих місць, формування інфраструктури, розвиток суміжних галузей економіки та зменшення викидів вуглекислого газу.

Географія та клімат України є сприятливими для реалізації СЕС, навіть у північних областях. За рівнем потенціалу вони не поступаються багатьом регіонам Європи [3].

На сьогодні вітчизняний сектор сонячної енергетики знаходиться на етапі розвитку, подібному до того, який пройшли європейські країни 7–10 років тому. Україна має одні з найкращих умов для інвесторів: ресурси, земельні ділянки, пільгові тарифи, державну підтримку та чітко визначену енергетичну стратегію з метою досягти 25% «зеленої» енергії до 2035 року. Інтерес до галузі постійно зростає, і за оцінками, до 2020 року інвестиції в альтернативну енергетику сягнули 18 млрд доларів США.

Підтримка з боку міжнародних організацій та донорів також сприяє стабільному фінансуванню нових проєктів у сфері сонячної енергетики. Це дозволяє створювати масштабні проєкти не лише для власного споживання, а й для експорту електроенергії в країни ЄС.

Обсяг потужностей ВДЕ в Україні збільшився з 967 МВт у 2014 році до 1534 МВт на початку 2018 року, демонструючи стабільне зростання. Це дозволяє Україні впевнено рухатися до лідерських позицій у сфері «зеленої» енергетики [3].

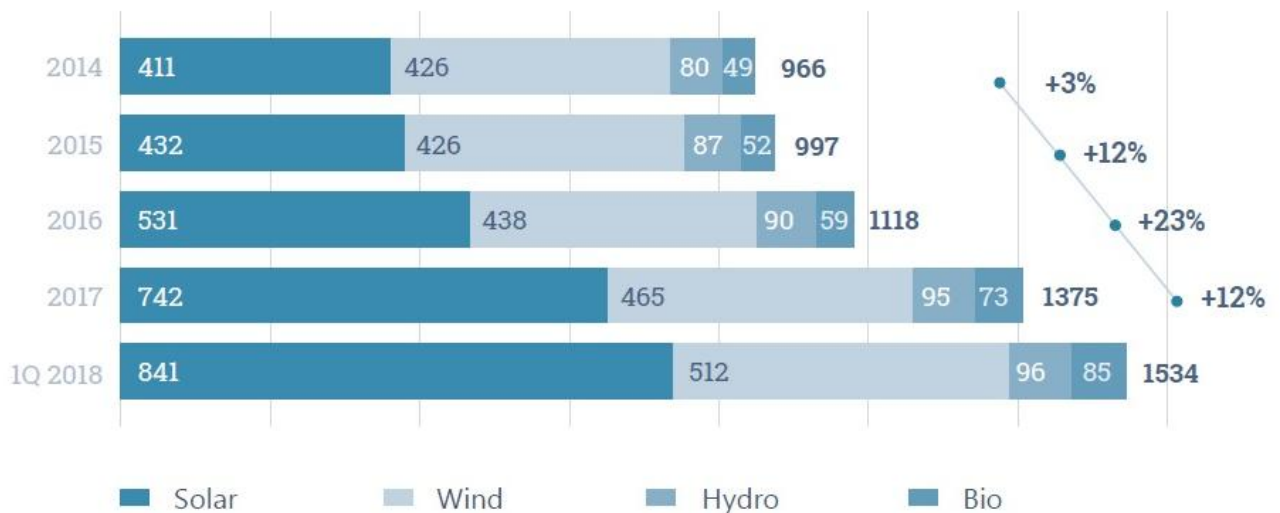


Рисунок 1.2 - Динаміка зростання ВДЕ у 2014–2018 рр. [3].

Розподіл відновлювальних джерел енергії за регіонами та який саме вид ВДЕ переважає в конкретній області продемонстровано на рисунку 1.3.

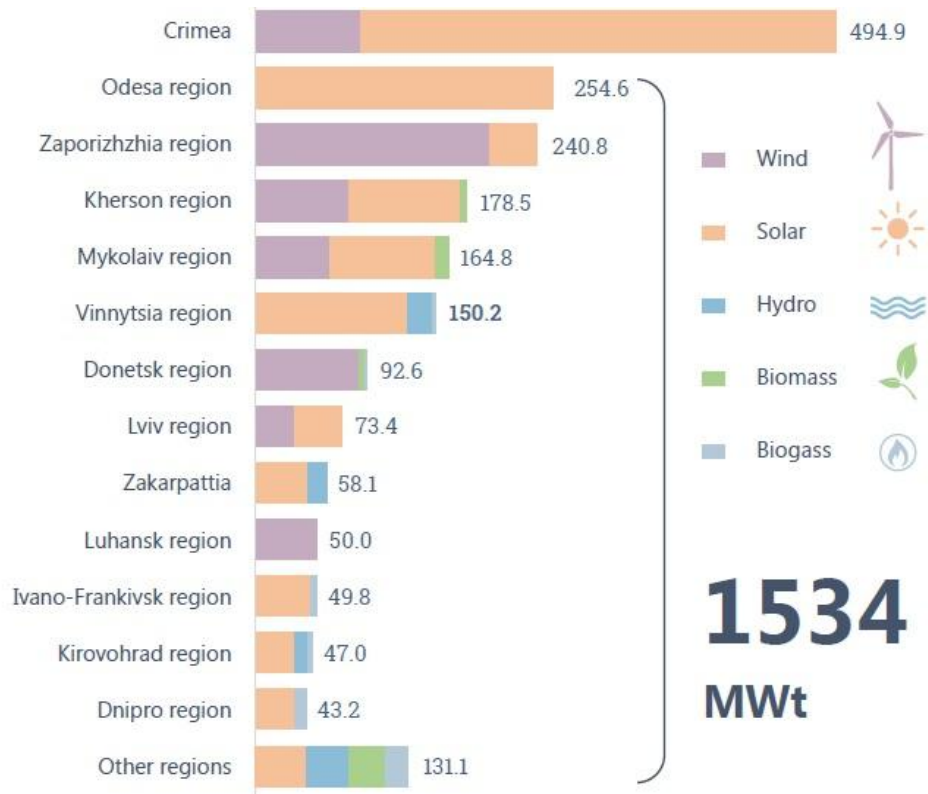


Рисунок 1.3 - Територіальний розподіл виробництва ВДЕ в Україні станом на I квартал 2018 року [3].

Оскільки сонячна енергія є найпоширенішою серед ВДЕ в Україні, концентрація СЕС прямо пов'язана з рівнем інсоляції регіонів. Найбільше станцій встановлено в зонах із найвищим рівнем сонячного випромінювання (рис. 1.4):

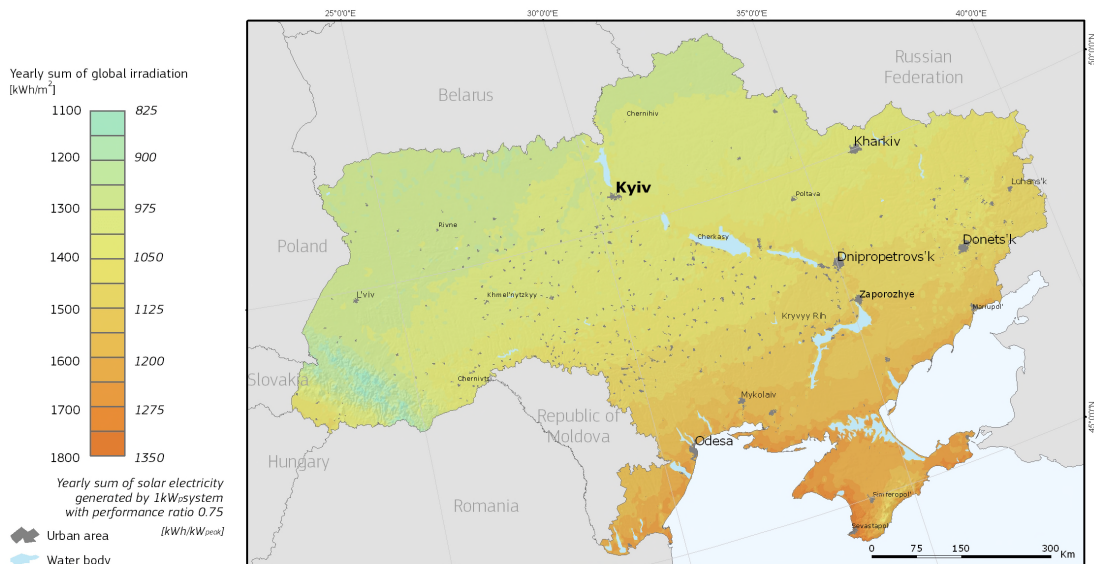


Рисунок 1.4 - Потенціал сонячної енергії в різних регіонах України [3].

Одним з основних питань для потенційних інвесторів є продуктивність сонячних батарей. Кількість виробленої енергії значною мірою залежить від місця встановлення СЕС. Рівень інсоляції прямо впливає на обсяг генерованої електроенергії [3].

Це зумовлює потребу в ретельному аналізі місцевих кліматичних даних при проєктуванні сонячних електростанцій. Використання спеціалізованих інструментів дозволяє точно розрахувати потенціал виробництва енергії та оптимізувати розміщення панелей.

Фотоелектричні установки є екологічним джерелом енергії. Для коректного проєктування використовуються дані про сонячне випромінювання, які надає система PVGIS, розроблена Європейською комісією. Ця система враховує різні типи випромінювання: пряме, дифузне та відбите, як за ідеальних умов, так і в реальних погодних сценаріях [3].

Підсумкові карти сонячного потенціалу, створені на основі моделювань PVGIS, є у відкритому доступі. Вони демонструють рівень сонячного опромінення за оптимального нахилу панелей до півдня. Також існують аналогічні карти по всій Європі (рис. 1.5).

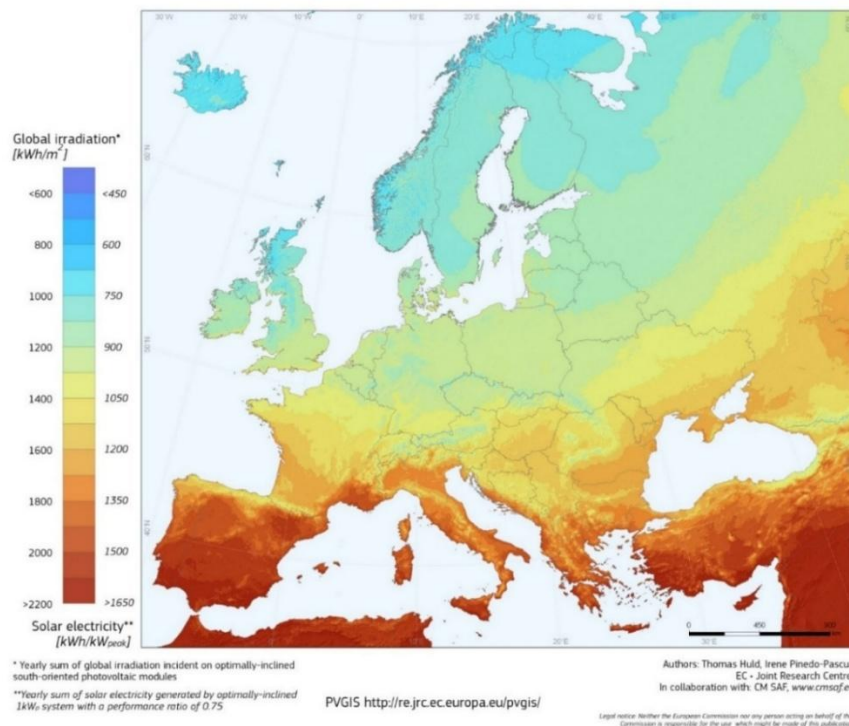


Рисунок 1.5 – Карта сонячного потенціалу Європи [3].

Станом на квітень 2019 року, 71% усіх об'єктів ВДЕ в Україні склали саме СЕС. Загальна встановлена потужність перевищувала 2,2 ГВт. Це забезпечило Україні перехід з 34-го на 23-є місце у світовому рейтингу. У перспективі в Україні можливе впровадження інноваційних рішень, зокрема встановлення сонячних панелей на дахах поїздів, як це роблять у країнах Європи [3].

Крім наземних станцій, особливої популярності можуть набути дахові СЕС на приватних і комерційних будівлях. Це дозволяє зменшити втрати електроенергії при передачі та забезпечує споживачам автономність.

Сонячна енергетика має низку переваг для країни та окремого споживача: зменшення використання викопних ресурсів, економія на імпорті енергоносіїв, підвищення енергетичної незалежності.

Сонячного випромінювання на Землі вистачає на задоволення глобальних енергопотреб у багато разів. Цей ресурс є безмежним і безкоштовним. Власникам СЕС не потрібно витрачатися на паливо – енергія надходить природним шляхом [4].

З урахуванням високого рівня інсоляції в Україні, особливо у порівнянні з Німеччиною – лідером у сфері сонячної енергетики, країна має надзвичайно сприятливі умови. Сонячні панелі мають термін служби до 25 років, а інвертори – близько 10 років. СЕС не потребують складного обслуговування і можуть працювати в автоматичному режимі. Більшість сучасних систем дозволяють дистанційне управління та моніторинг [4].

СЕС не створюють шуму та не шкодять довкіллю. Вони не мають рухомих частин (за винятком трекерів), що зменшує ймовірність поломок. Завдяки частим опадам, поверхня панелей самоочищається від пилу [4].

Устаткування СЕС легко демонтувати та змонтувати на новому місці. Також існує вторинний ринок обладнання, особливо в країнах ЄС [4].

Наявність акумуляторів забезпечує автономну роботу станції. Надлишки енергії можуть бути реалізовані в мережу за «зеленим» тарифом, який в Україні

– один із найвигідніших у Європі. Держава планує підтримку галузі до 2030 року. За розрахунками, витрати на СЕС окуповуються за 5–7 років [4].

Інвестування в сонячну енергетику є вигідною альтернативою традиційним формам капіталовкладень. Завдяки невисокому рівню конкуренції ризику залишаються помірними [4].

Загалом, сонячна енергетика України має потужний потенціал для зростання, сприяє досягненню кліматичних цілей і відкриває нові горизонти для сталого розвитку національної енергетики.

1.2 Основні етапи проектування сонячної електростанції

Проектування сонячної електростанції (СЕС) є критично важливим етапом у всьому життєвому циклі об'єкта. Саме на цій стадії формуються основні техніко-економічні параметри майбутньої установки: від масштабів будівництва до очікуваної ефективності, окупності та відповідності потребам замовника. Якісне проектування визначає не лише вартість реалізації проекту, а й довговічність та надійність функціонування СЕС у майбутньому [5].

Успішна реалізація СЕС передбачає індивідуальний підхід до кожного конкретного об'єкта. Важливо врахувати низку чинників: географічне розташування, інсоляцію, тип місцевості, орієнтацію та нахил даху чи площі, на якій планується встановлення станції. Крім того, необхідно зробити відповідні електротехнічні розрахунки, які враховують сумарну потужність системи, пікові навантаження, параметри інверторів, кабельні втрати та інше спеціалізоване обладнання [6].

Відповідно, усі етапи проектування відіграють важливу роль у успішній реалізації проекту сонячної станції, забезпечуючи ефективність, надійність та економічну доцільність використання сонячної енергії [5].

До основних етапів проектування СЕС належать:

- Попереднє дослідження та аналіз: визначення цілей та вимог проекту. Аналіз розташування майбутньої сонячної станції, включаючи кліматичні умови,

рівень сонячної радіації, рельєф місцевості та доступність земельних ділянок. Оцінка потенціалу сонячної енергії у вибраному місці.

- Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО): розробка бізнес-плану та оцінка економічної ефективності проекту. Розрахунок витрат на будівництво, обладнання, технічне обслуговування та експлуатацію. Визначення очікуваного прибутку та часу окупності проекту.

- Вибір технології та обладнання: визначення типу сонячної станції. Вибір сонячних панелей, інверторів, захисних пристроїв та іншого обладнання. Облік технічних характеристик, продуктивності, надійності та вартості обладнання.

- Проектування конструкції та інфраструктури: розробка дизайну та конструкції сонячної станції, включаючи розташування сонячних панелей, монтажної системи, комунікацій та захисних елементів. Проектування фундаментів, кріплень, електричних мереж та інших інженерних систем.

- Підготовка проектної документації: розробка технічного проекту сонячної станції з урахуванням усіх вимог та нормативів. Підготовка креслень, специфікацій, технічних умов підключення до мереж електропостачання.

- Отримання необхідних дозволів та погоджень: звернення за дозволами на будівництво та підключення до електромережі. Узгодження проекту з місцевими органами влади, енергетичними компаніями та іншими зацікавленими сторонами.

1.3 Передпроектне обстеження: мета, задачі та значення точності

Передпроектне обстеження є одним із найважливіших етапів підготовки до будівництва сонячної електростанції (СЕС). Саме на цьому етапі закладається технічна основа для правильного вибору технологічних рішень, визначення доцільності реалізації проекту та розробки обґрунтованої проектної документації. Без якісного обстеження можливі значні технічні похибки, які згодом призводять до втрат енергії, зниження прибутковості та ускладнення експлуатації СЕС [6].

Метою передпроектного обстеження є збір комплексної інформації про територію, де планується встановлення станції. Зокрема, це аналіз кліматичних умов, інсоляції, топографії, гідрології, наявності тіньових об'єктів, а також інфраструктури для підключення до електромережі. Усі ці параметри безпосередньо впливають на майбутню продуктивність станції та її економічну доцільність [5].

Серед ключових завдань обстеження варто виокремити кілька. По-перше, проводиться оцінка інсоляції — кількості сонячного випромінювання, що досягає поверхні землі. Для цього використовуються супутникові карти сонячної радіації (SolarGIS, PVGIS), які дозволяють оцінити потенціал генерації електроенергії з високою точністю [2][7].

По-друге, здійснюється аналіз ділянки на предмет орієнтації, кута нахилу поверхні та наявності об'єктів, що можуть створювати затінення в різні пори року. Ігнорування тіньових факторів може призвести до суттєвого зниження ефективності роботи СЕС. Для просторового моделювання все частіше використовуються програмні середовища, наприклад, SketchUp з Heliodon або Aurora Solar [8].

Третій важливий етап — топографічне та геодезичне обстеження. Потрібно дослідити рельєф місцевості, склад ґрунту, можливі гідрологічні загрози (підтоплення, паводки), а також визначити, чи можливо встановити модулі без дорогих земляних робіт [9].

Наступна задача — аналіз можливості приєднання до існуючих електромереж. Це включає перевірку відстані до найближчої лінії електропередач, наявність трансформаторних підстанцій та здатність мережі приймати надлишки енергії. Часто цей етап вимагає узгодження з операторами системи розподілу електроенергії [10].

Особливу увагу слід приділити точності вимірювань і розрахунків на цьому етапі. Будь-яка похибка — навіть у межах кількох відсотків — може суттєво знизити економічну ефективність проєкту. Наприклад, похибка у прогнозі інсоляції лише на 5% може призвести до зниження річного доходу на 8–10% [11].

Крім того, неправильне врахування тіньових зон або відхилення від оптимального кута нахилу панелей також можуть знижувати продуктивність станції на десятки відсотків [12].

Таким чином, передпроектне обстеження — це не лише формальність, а відповідальний і складний процес, який потребує застосування сучасних інструментів аналізу, точних розрахунків і врахування усіх локальних факторів. Його якісне виконання значно зменшує ризики та забезпечує стабільну роботу станції протягом її життєвого циклу.

1.4 Вплив похибок і неточностей на ефективність СЕС

Ефективність роботи сонячної електростанції (СЕС) залежить від багатьох факторів, серед яких особливе значення мають точність розрахунків та правильність монтажу. Навіть на етапі проектування незначні відхилення у параметрах можуть мати довготривалий вплив на обсяг генерованої електроенергії, стабільність роботи станції та її фінансову окупність [12].

Одним із критичних аспектів є правильне визначення кута нахилу та орієнтації фотоелектричних модулів (ФЕМ). Згідно з дослідженнями, оптимальний кут установки забезпечує максимальне поглинання сонячної енергії. Відхилення навіть на $5\text{--}10^\circ$ у бік або вгору/вниз може призвести до втрати до $10\text{--}15\%$ річної генерації електроенергії. Зокрема, в умовах України найчастіше використовують фіксовані конструкції з оптимізованим нахилом для зимового або літнього періоду, однак помилки в цих розрахунках несуть помітні втрати [13].

Ще одним суттєвим фактором є затінення. Часткове або повне затінення ФЕМ, спричинене деревами, будівлями або конструктивними елементами самої установки, здатне знижувати ефективність модулів у рази. Типовою помилкою є неправильне розташування рядів панелей або недостатній відступ між ними, що спричиняє тінь один на одного при низькому сонці. Відсутність тіньового аналізу

на етапі моделювання може призвести до зниження генерації на 20–40% у зимовий період [14].

Температурний режим також впливає на ефективність роботи ФЕМ. Надмірне нагрівання сонячних панелей призводить до зниження їх коефіцієнта корисної дії (ККД). Помилки при виборі типу панелей або відсутність вентиляційного зазору між модулями та поверхнею кріплення — ще один приклад проектних недоліків. Наприклад, монокристалічні панелі мають чутливість до температури близько $-0,4\%$ на кожен градус перевищення номінальних умов, що в умовах спекотного літа здатне знижувати ККД на 5–7% [15].

Крім технічних параметрів, важливу роль відіграють помилки в оцінці інсоляції. Якщо прогноз сонячної активності в регіоні виявляється завищеним, це веде до неправильної оцінки окупності проекту. Моделі генерації повинні враховувати річну хмарність, туманність, пилові бурі (для степових регіонів), що часто недооцінюється при «швидкому» проектуванні [2].



Рисунок 1.6 – Інженер записує вхідні дані [16].

Загалом, точність даних та прорахунків на всіх етапах — від передпроектного аналізу до вибору компонентів і монтажу — напряду впливає на те, чи буде СЕС ефективною упродовж усього періоду експлуатації. Практика показує, що зменшення загального ККД станції на 10% може подовжити термін окупності проекту щонайменше на 1,5–2 роки [17].

1.5 Постановка задачі дослідження

Сучасне проектування сонячних електростанцій ґрунтується на широкому спектрі вхідних даних, які характеризують як геометричні та просторові параметри місцевості, так і кліматичні, енергетичні та техніко-економічні показники. Достовірність і точність цих даних безпосередньо впливають на результати моделювання, вибір обладнання, обґрунтованість інвестицій та загальну ефективність роботи станції. У практиці проектування часто недостатньо уваги приділяється оцінці метрологічної якості таких даних, що зумовлює ризики відхилень між проєктними та реальними показниками.

У зв'язку з цим виникає необхідність у створенні методичного підходу, що дозволить здійснювати систематичну оцінку вхідних даних з погляду метрології – визначення похибок, джерел невизначеності, чутливості результатів до зміни параметрів та відповідності нормативним вимогам. Такий підхід має враховувати різноманітність типів даних (супутникові ГС-дані, лазерне сканування, вимірювання ручними інструментами, енергетичні довідники, симуляційне моделювання), методи їх збору, способи обробки та подальше використання у програмному забезпеченні, що застосовується для проектування СЕС.

Постановка задачі дослідження передбачає необхідність:

- провести аналіз типів вхідних даних, які використовуються на етапі проектування СЕС;
- ідентифікувати основні джерела похибок, які можуть впливати на результат моделювання;
- запропонувати методіку, яку можна застосовувати в практиці проектування або вбудувати в робочі алгоритми програмного забезпечення;

Таким чином, дослідження має на меті не лише сформулювати теоретичну базу для оцінювання метрологічних характеристик вхідних даних, а й забезпечити її практичне впровадження в проєктний процес, що дозволить підвищити точність, ефективність і економічну обґрунтованість проєктів у галузі сонячної енергетики.

РОЗДІЛ 2

ОЦІНЮВАННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ПРОЄКТУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

2.1 Вимірювання геометричних параметрів об'єкта

Точне вимірювання геометричних параметрів об'єкта є важливим етапом у процесі технічного аналізу, проєктування систем енергопостачання, реконструкції будівель або встановлення інженерних конструкцій, зокрема сонячних панелей. Правильно визначені параметри дозволяють не лише оцінити доступну площу, а й заздалегідь передбачити технічні обмеження, пов'язані з розташуванням, затіненням та структурними особливостями. В умовах сучасного будівництва та енергоаудиту вимірювання виконуються із застосуванням як традиційних, так і цифрових інструментів. У цьому розділі буде розглянуто основні аспекти вимірювання: від визначення розмірів і форми даху до виявлення потенційних зон затінення, а також описано відповідні інструменти та методики, що забезпечують точність та ефективність цього процесу.

2.1.1 Розміри даху, форма (плоский/скатний), орієнтація

Геометричні характеристики даху, зокрема його розміри, форма та орієнтація, мають ключове значення при аналізі можливості встановлення сонячних панелей або проведенні енергоефективної реконструкції. Визначення площі даху виконується з урахуванням його форми — плоска поверхня дозволяє здійснити вимірювання за допомогою простих геодезичних інструментів, тоді як скатні дахи потребують додаткових розрахунків для врахування кута нахилу. Орієнтація даху відносно сторін світу визначається компасом, теодолітом або за допомогою цифрових інструментів, зокрема геоприв'язки через дрони або супутникові знімки [18].

2.1.2 Наявність і габарити конструкцій, що можуть затінювати

Одним з критичних аспектів аналізу є виявлення перешкод, які можуть викликати затінення. До таких об'єктів належать димарі, вентиляційні шахти, антени, навісні системи, а також навколишні дерева або будівлі. Визначення їхнього розташування та габаритів виконується або візуально, або вимірами за допомогою рулетки, або шляхом створення тривимірної моделі об'єкта за допомогою аерофотозйомки. Аналіз тіней проводиться з урахуванням положення сонця у різні пори року, що дозволяє оцінити ефективність використання доступної площі даху [19].

2.1.3 Інструменти вимірювання (рулетка, дрон, курвіметр, LIDAR)

Для збору даних про геометрію об'єкта використовують різноманітні вимірювальні прилади. У найпростішому варіанті застосовується металева або лазерна рулетка. Вона дозволяє визначити довжину і ширину площини або окремих її елементів із високою точністю. Однак, у випадках складних архітектурних форм доцільніше застосовувати курвіметри — прилади, що дозволяють вимірювати криволінійні контури або периметри даху [20].

Приклади таких засобів вимірювань продемонстровані на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Приклад лазерного далекоміру, вимірювальної рулетки та курвіметра [21-23].

Із розвитком технологій усе частіше використовуються дрони, обладнані камерами високої роздільної здатності. Вони забезпечують доступ до важкодоступних зон та дозволяють здійснювати панорамне сканування об'єкта з висоти. Дані, зібрані дронами, можуть бути оброблені за допомогою фотограмметрії для побудови точних 3D-моделей [24].



Рисунок 2.2 – Панорамне сканування за допомогою дрона [25].

Ще більш точним методом є застосування LIDAR (Light Detection and Ranging) — технології, яка використовує лазерні імпульси для формування хмари точок і визначення геометрії об'єкта з міліметровою точністю [26].

Отже, вимірювання геометричних параметрів об'єкта є невід'ємним етапом у підготовці до встановлення технічних систем або проведення реконструкцій. Урахування форми, розмірів, орієнтації даху та виявлення потенційних перешкод дозволяють мінімізувати технічні ризики та підвищити ефективність подальших рішень. Сучасні інструменти вимірювання, зокрема дрони та лазерне сканування (LIDAR), значно розширюють можливості аналізу, забезпечуючи високу точність та зменшуючи трудомісткість робіт [26].

2.2 Тіньовий аналіз

Тіньовий аналіз є критичним етапом при проектуванні фотоелектричних систем, оскільки навіть часткове затінення сонячних панелей може призвести до значного зниження продуктивності всієї системи. В умовах щільної міської

забудови, наявності навколишніх конструкцій та природних перешкод (дерев, рельєфу), цей фактор набуває особливої актуальності. Ефективність генерації енергії залежить не лише від кліматичних умов, а й від того, наскільки точно враховані впливи затінення на об'єкт. У цьому розділі розглянуто основні аспекти впливу тіней на ефективність систем, доступні методи тіньового аналізу та вимоги до точності геометричних моделей, що використовуються для симуляцій.

2.2.1 Вплив тіней на генерацію

Затінення сонячних панелей є одним із ключових факторів, що впливають на ефективність фотоелектричних систем. Навіть часткове затінення окремих модулів може спричинити суттєве зниження загальної генерації енергії, оскільки панелі у фотоелектричних системах часто з'єднані послідовно, і вихідна потужність усієї ланки залежить від найслабшого елемента. Крім того, нерівномірне освітлення може спричинити появу так званих «гарячих точок» (hot spots), що потенційно знижує довговічність модулів.

Особливо важливим є врахування сезонних змін у положенні сонця. Під час зимових місяців, коли сонце перебуває нижче над горизонтом, довгі тіні від навколишніх об'єктів можуть суттєво скорочувати період активної генерації енергії. Тому ретельний аналіз затінення дозволяє оптимізувати розміщення панелей та мінімізувати енергетичні втрати [27].

2.2.2 Методи розрахунку (PVsyst, SketchUp, AutoCAD)

Серед найпоширеніших програмних інструментів для тіньового аналізу варто відзначити **PVsyst**, **SketchUp** та **AutoCAD**.

PVsyst спеціалізується на моделюванні фотоелектричних систем і має вбудовані функції аналізу затінення з урахуванням географічного положення, кута нахилу та розташування перешкод. Особливу увагу привертає функція 3D-анімації тіней, яка дозволяє візуалізувати рух тіней протягом обраного дня. Це

особливо корисно для оцінки впливу затінення на продуктивність системи. Програма також надає таблиці факторів затінення, які можна експортувати для подальшого аналізу або використання в інших програмах. Відповідно, дозволяє оцінити втрати енергії внаслідок часткового або повного затінення протягом року [28].

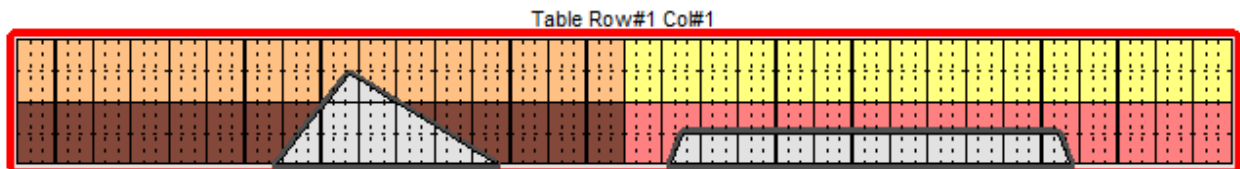


Рисунок 2.3 – Приклад моделювання затінення PVsyst [29].

SketchUp застосовується переважно для побудови 3D-моделей територій та об'єктів, після чого на основі координат місцевості можна провести симуляцію сонячного освітлення у будь-який день року. Використання його у поєднанні з плагіном **Skelion** дозволяє створювати 3D-моделі об'єктів та проводити аналіз затінення. **Skelion** використовує погодні дані для розрахунку доступної сонячної енергії, враховуючи затінення від навколишніх об'єктів. Це дозволяє оцінити ефективність розміщення сонячних панелей на даху або іншій поверхні [30].

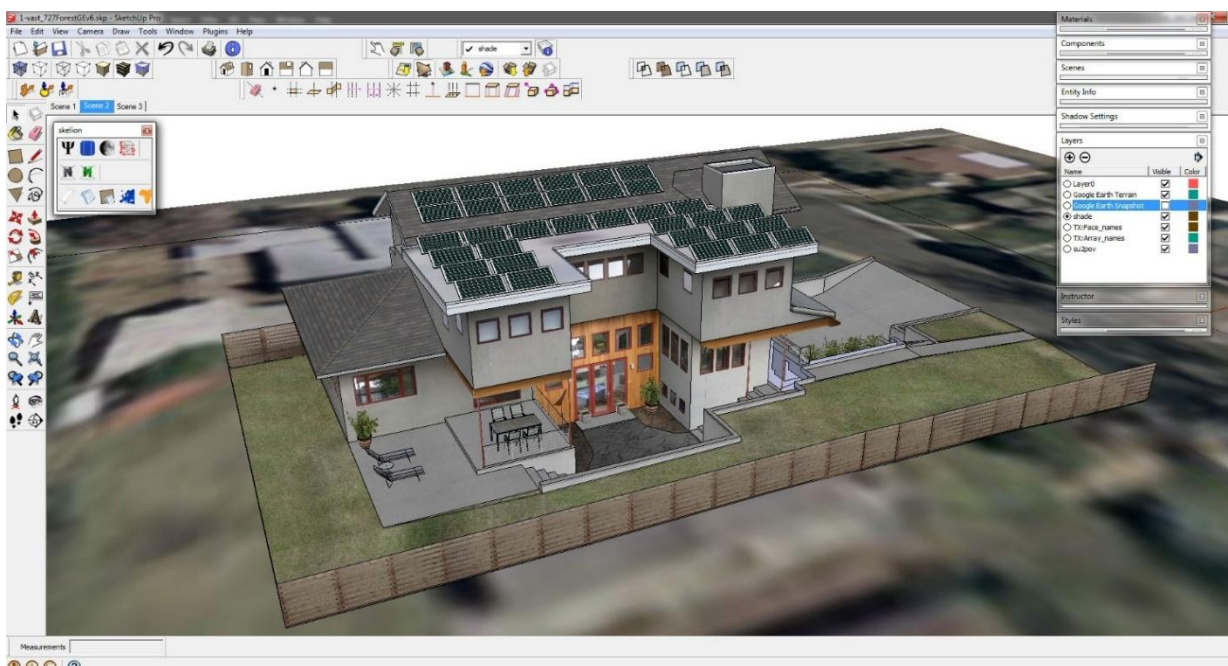


Рисунок 2.4 – Приклад моделювання SketchUP з використанням Skelion [31].

AutoCAD використовується переважно в архітектурному моделюванні чи розробленні технічних креслень проєкту, проте при створенні точних 3D-моделей об'єкта він також дозволяє враховувати освітлення й тіні. Результати моделювання з AutoCAD часто експортують у PVsyst для подальшої енергетичної симуляції [32].

2.2.3 Вимоги до точності моделей

Для коректного тіньового аналізу необхідно забезпечити високу точність геометричних моделей. Недостатньо деталізовані або спрощені моделі можуть призвести до значних похибок у прогнозуванні енергетичних втрат. Особливо важливо враховувати висоту, нахили, товщину об'єктів та просторове розміщення відносно системи. Найменші похибки у відстанях або кутових параметрах можуть суттєво змінити результати розрахунку, особливо в умовах щільної забудови. У практиці часто застосовується лазерне сканування (LIDAR) або аерофотозйомка з дронів для створення точних 3D-моделей, які потім імпортуються у відповідні програми [33].

Отже, спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ) дозволяє детально аналізувати вплив затінення на ефективність сонячних енергетичних систем. Інструменти даного ПЗ забезпечують точні симуляції та візуалізації, що сприяє оптимальному розміщенню обладнання та мінімізації енергетичних втрат. Відповідно, тіньовий аналіз є невід'ємною складовою при проєктуванні енергоефективних систем, зокрема сонячних електростанцій. Вплив затінення може бути вирішальним для економічної доцільності реалізації проєкту, тому застосування відповідних програмних рішень і точних моделей є критично важливим. Ретельне врахування просторових факторів дозволяє оптимізувати розміщення обладнання та мінімізувати втрати, що у підсумку забезпечує більш стабільну та ефективну роботу системи [33].

2.3 Електротехнічні вимірювання

Точність електротехнічних вимірювань є критичною при обстеженні об'єктів для впровадження енергоефективних рішень, зокрема систем відновлюваної енергетики. Неправильна оцінка параметрів електроспоживання може призвести до неефективного проєктування та експлуатації енергетичних систем. Цей підпункт розглядає ключові аспекти електротехнічних вимірювань, включаючи методи вимірювання споживання електроенергії, струмів у трифазній мережі, частоту та обсяг вимірювань, а також аспекти симетрії та навантаження фаз.

2.3.1 Вимірювання споживання електроенергії

Для точного обліку споживання електроенергії використовуються сучасні трифазні електронні лічильники, такі як NIK 2303. Цей прилад забезпечує вимірювання активної та реактивної енергії, а також миттєвих значень напруги, струму та потужності. Лічильник оснащений інтерфейсами для дистанційного зчитування даних, що дозволяє інтегрувати його в автоматизовані системи обліку електроенергії. Клас точності даного приладу – 0.5 S, підключення до мережі здійснюється або прямого включення (до 120 А), або трансформаторного типу (5А). У випадку прямого включення лічильник містить в собі реле відключення навантаження із відповідним струмом [34].

Приклад загального вигляду даного лічильника продемонстрований на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд електронного лічильника NIK 2303 [35].

2.3.2 Струми в трифазній мережі

У трифазних мережах важливо вимірювати струми в кожній фазі для забезпечення балансу навантаження та запобігання перевантаженням. Для цього використовуються амперметри, трансформатори струму, струмовимірювальні кліщі або багатофункціональні аналізатори мережі. Поширеним прикладом є аналізатори типу PCE-830 – цей прилад дозволяє вимірювати напругу, струм, частоту, потужність та гармоніки в одно- та трифазних системах. Він також забезпечує виявлення асиметрій та інших порушень у мережі відповідно до стандарту EN50160 [36].

Приклад аналізатора/вимірювача потужності зображений на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Приклад аналізатора/вимірювача потужності PCE-830 [37].

2.3.3 Частота та обсяг вимірювань: разово/багаторазово

Частота та обсяг вимірювань визначаються метою дослідження. Разові вимірювання доцільні для первинної оцінки споживання або перевірки конкретного параметра. Багаторазові або безперервні вимірювання, наприклад, з використанням логерів енергії або систем збору даних, дозволяють отримати повну картину енергоспоживання об'єкта за різні періоди часу — доба, тиждень, місяць [38]. Наприклад, лічильники Mercury 230 з можливістю архівування показників протягом 45 днів дозволяють виявити сезонні чи денні коливання [39].

Приклад лічильника із вбудованою можливістю архівування показників зображено на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Електролічильник Mercury 230 [40].

Електротехнічні вимірювання є основою для ефективного проєктування систем генерації та споживання електроенергії. Сучасні вимірювальні прилади, програмне забезпечення та системи моніторингу забезпечують високу точність та можливість оперативного аналізу параметрів мережі. Це дозволяє своєчасно виявляти та усувати проблеми з асиметрією навантаження, перевантаженнями чи некоректним споживанням.

2.4 Трасування кабелів

У процесі проектування та монтажу фотоелектричних систем важливо не лише правильно підібрати обладнання, але й забезпечити коректне прокладання електричних з'єднань. Одним із критичних етапів є трасування кабелів — визначення маршруту їхнього прокладання, розрахунок довжин та аналіз відповідності топології системи. Похибки на цьому етапі можуть мати істотні наслідки як для вартості, так і для ефективності роботи системи, зокрема — викликати додаткові втрати енергії, ускладнення монтажу або необхідність у незапланованому коригуванні схеми.

2.4.1 Потреба в точності при вимірюванні довжин

Точне визначення довжини кабельних трас є критично важливим на етапі проектування. Відхилення у вимірюваннях можуть призвести до недостатньої довжини кабелю, що ускладнює монтаж, або до надмірного запасу, що збільшує витрати. Згідно з методичними рекомендаціями, розрахункова довжина кабелю визначається як добуток довжини траси та коефіцієнта запасу, який для електричних кабелів становить 1,02 [41].

2.4.2 Вплив неточностей на вартість та втрати

Неправильне визначення довжини кабелю може призвести до значних фінансових втрат. Надмірна довжина кабелю збільшує витрати на матеріали та монтаж, тоді як недостатня — вимагає додаткових з'єднань, що знижує надійність системи. Крім того, неправильний вибір довжини та перерізу кабелю може спричинити додаткові втрати потужності, особливо в мережах з нелінійним навантаженням [42].

2.4.3 Запас по довжині: теорія і практика

У практиці проектування електричних мереж передбачено залишати технологічний запас кабелю для забезпечення можливості підключення та компенсації можливих помилок у вимірюваннях. Згідно з нормативними документами, рекомендований запас становить 1–2% від загальної довжини траси [43]. Цей запас дозволяє уникнути проблем під час монтажу та забезпечує гнучкість у разі змін у конфігурації мережі.

Таким чином, точність при трасуванні кабелів є одним із ключових факторів успішної реалізації електротехнічної частини фотоелектричних систем. Недооцінка впливу похибок у розрахунках може призвести не лише до підвищених витрат, але й до зниження енергоефективності об'єкта. Використання актуальних норм і рекомендацій дозволяє забезпечити необхідний запас без перевитрати ресурсів, що особливо важливо для великих комерційних систем.

2.5 Людський фактор і методи його мінімізації

Незважаючи на розвиток технологій та доступність точного вимірювального обладнання, участь людини в процесі обстеження об'єкта для проектування фотоелектричних систем залишається суттєвим фактором, що впливає на якість отриманих даних. Похибки, спричинені людським фактором, можуть виникати на різних етапах: під час вимірювання, введення інформації, обробки результатів або навіть у процесі прийняття рішень на основі неточної або неповної інформації.

До найпоширеніших джерел помилок належать неточності при зчитуванні показів приладів, неправильне застосування методик, плутанина в одиницях вимірювання, механічні помилки під час ручного введення даних. Часто ці похибки залишаються непоміченими до моменту, коли стає очевидним розбіжність між проектними очікуваннями і фактичними результатами. При

цьому помилка, допущена на ранньому етапі, може масштабуватися й мати суттєвий вплив на подальші прорахунки, вартість системи або навіть її функціональність [44].

З метою зменшення впливу людського фактора дедалі ширше застосовуються методи автоматизації. Цифрові прилади та інструменти з функцією автоматичного зчитування даних дозволяють мінімізувати суб'єктивний вплив та зменшити кількість ручних операцій. Водночас системи, які фіксують результати у цифровому вигляді, полегшують збереження та перевірку інформації, забезпечуючи зворотну перевірку у разі необхідності [45].

Окремої уваги заслуговують повторні або дублюючі вимірювання, що часто застосовуються для перевірки достовірності результатів. Такий підхід дозволяє виявити відхилення й оцінити стабільність даних. Особливо ефективним він є при роботі в складних умовах або в разі залучення кількох виконавців. У деяких випадках застосовуються статистичні методи обробки результатів вимірювань, що дає змогу математично оцінити ймовірність помилки [46].

Водночас впровадження сучасних цифрових технологій, таких як мобільні застосунки для фіксації вимірювань, хмарні сервіси для збереження даних і аналітичні платформи з інтерфейсами перевірки, дозволяє не лише зменшити ризик помилок, але й підвищити загальну ефективність команди. Наприклад, можливість фотографічного або відеофіксування вимірювань, геолокаційна прив'язка даних та автоматичне формування звітів суттєво підвищують точність та спрощують аудит польових досліджень [45].

Зрештою, повна мінімізація людського впливу навряд чи можлива, але впровадження описаних заходів значно знижує ризик критичних помилок і підвищує достовірність вхідних даних, на основі яких виконується проектування. В умовах швидкого розвитку цифрових інструментів та високих вимог до точності, увага до цього аспекту набуває дедалі більшого значення.

2.6 Узагальнення вимог до точності на етапі проєктування

Проведений теоретичний аналіз показує, що точність вимірювань на етапі передпроектного обстеження має вирішальне значення для забезпечення ефективності та економічної доцільності встановлення сонячної електростанції. Низька достовірність вхідних даних може призвести до помилкових проєктних рішень, таких як неправильне розміщення сонячних панелей, неадекватна оцінка затінення, перевищення допустимих втрат енергії в електричних ланцюгах або перевищення бюджету на матеріали.

Для обґрунтованого підходу до вимірювань доцільно класифікувати параметри за критичністю до точності. Умовно можна виділити три рівні:

- **Висока критичність** – параметри, похибки в яких призводять до значного зниження ефективності СЕС.
- **Середня критичність** – параметри, де допустима певна похибка (в межах норм), але вони впливають на витрати або конфігурацію системи.
- **Низька критичність** – параметри, які можуть бути оцінені з допуском або зі стандартним запасом.

Таблиця 2.1 – Критичність точності основних параметрів

Параметр	Рівень критичності	Обґрунтування
Геометрія даху (довжина, ширина)	Висока	Впливає на кількість панелей, конфігурацію рядів та кути нахилу.
Положення об'єктів, що затінюють	Висока	Навіть часткове затінення знижує продуктивність панелі до 30–80%.
Орієнтація та нахил даху	Висока	Визначає кут падіння сонячного світла, тобто потенційне виробництво енергії.
Струм у трифазній мережі	Середня	Важливо для розподілу навантаження, але можливий аналіз з вибірки.
Споживання енергії	Середня	Залежить від періодичності замірів; доцільно аналізувати динаміку споживання.
Довжина кабельних трас	Середня	Можна передбачити запас, але великі відхилення впливають на бюджет.
Відстань до обладнання	Середня	Визначає втрати, однак допустима похибка $\pm 5\%$.
Температура поверхонь/оточення	Низька	Враховується умовно, має менший вплив.
Висота встановлення панелей	Низька	Можна стандартизувати відповідно до системи кріплення.

Особливу увагу при цьому слід приділяти вибору вимірювального обладнання. Клас точності інструмента безпосередньо визначає допустимі межі похибок у геометричних та електротехнічних розрахунках. Наприклад, неточне вимірювання розміру даху або висоти елемента з використанням рулетки 3-го класу може призвести до перевстановлення модулів, зміни конфігурації кріплень або невиправданої закупівлі обладнання.

З метою систематизації наведемо розширену таблицю засобів вимірювальної техніки, що використовуються при обстеженні об'єктів для проектування СЕС, із зазначенням класу точності, типу вимірювань та потенційного впливу похибок.

Таблиця 2.2 – Характеристики інструментів вимірювання

№	Назва приладу	Клас точності (діапазон)	Тип похибки (точність)	Тип вимірювань	Рівень критичності	Коментар щодо впливу на проектування
1	Рулетка металева [47]	1 – 3	$\pm 1-2$ мм/м	Лінійні розміри	Висока	Неправильний розмір → помилкова кількість модулів → зміна бюджету
2	Лазерний далекомір [48]	1 – 2	$\pm 1-2$ мм на 10–20 м	Довжини, висоти	Висока	Неточність — помилки в розміщенні інверторів, кріплень
3	Курвіметр механічний/цифровий [49]	—	$\pm 1-3\%$	Криволінійні довжини	Середня	Похибка довжини траси — перевитрата кабелю
4	Дрон із фотограмметрією [50]	залежить від ПЗ та матриці	$\pm 0,05-0,20$ м	3D-моделі, поверхні	Середня	Недостатня деталізація → не враховано перешкоди → втрата генерації
5	LIDAR [51]	$\pm 2-5$ см (залежно від моделі)	$\pm 0.02-0.1$ м	3D-сканування, рельєф	Висока	Помилки в моделі → затінення, перекриття — втрата ефективності

Продовження таблиці 2.2

№	Назва приладу	Клас точності (діапазон)	Тип похибки (точність)	Тип вимірювань	Рівень критичності	Коментар щодо впливу на проектування
6	Теодоліт [52]	1"–20" (кутова точність)	$\pm 0.5\text{--}2$ мм на 100 м	Кути, орієнтація	Висока	Неправильний кут нахилу \rightarrow зниження річної генерації до 10–15%.
7	Рівень будівельний [53]	—	± 1 мм/м	Горизонтальність	Середня	Порушення горизонтальності – перекоси при монтажі, деформації кріплення
8	GPS-приймач ручний [54]	$\pm 3\text{--}10$ м	$\pm 5\text{--}10$ м	Координати, геопозиція	Низька	Недостатньо точний для геометрії – застосовується на попередньому етапі.
9	Професійний GNSS RTK [55]	$\pm 0.01\text{--}0.02$ м	$\pm 1\text{--}2$ см	Геодезичне позиціонування	Висока	Точність розміщення — критична при проектуванні великих промислових СЕС
10	Рулетка з Bluetooth [56]	1 – 2	± 1.5 мм на 10 м	Виміри + цифрова передача	Висока	Уникнення людського фактору, інтеграція з BIM — зменшення похибок на стадії фіксації

Для забезпечення достовірності характеристик вимірювальних пристроїв у таблиці використано технічні паспорти провідних виробників (Trimble, Bosch), а також чинні міжнародні стандарти ISO, зокрема ISO 16331-1 (для лазерних далекомірів), ISO 17123-3 (для геодезичних приладів) та відповідні ДСТУ, які регламентують клас точності ручних і електронних вимірювальних інструментів. Це дозволяє об'єктивно порівнювати засоби вимірювання, оцінювати ступінь їх придатності для конкретних завдань на етапі проектування та мінімізувати ризик недостовірних даних [48, 52, 55, 56].

Таким чином, на основі аналізу стає очевидним, що найбільш критичними є просторові характеристики даху, його орієнтація, кут нахилу, а також елементи, пов'язані з потенційним тіньовим впливом. Саме ці параметри безпосередньо визначають кількість встановлюваних модулів, площу розміщення, розрахунок генерації енергії, а отже — окупність проєкту. Наприклад, похибка в 5 см при вимірюванні ширини або довжини покрівлі може призвести до втрати однієї або декількох панелей, що на великих об'єктах означає втрату сотень кВт·год виробленої енергії щорічно.

Електротехнічні параметри, хоча й залишаються важливими для етапу розрахунку навантажень та балансування системи, в багатьох випадках можуть бути уточнені в процесі монтажу або шляхом короткострокового моніторингу (використовуючи аналізатори якості електроенергії або цифрові логери даних). У той час як геометричні та просторові параметри є фундаментальними — вони закладаються в моделі на самому початку проєктування, інтегруються в CAD/BIM-системи та впливають на формування всієї архітектури СЕС.

Крім того, похибки в цих вихідних параметрах здатні спричинити каскадний ефект: від помилкового розміщення сонячних модулів до зміни траси прокладки кабелів, неузгодженості з проєктною документацією та зростання витрат на монтаж. Важливо також зазначити, що деякі неточності, допущені на ранньому етапі, є майже неможливими для виправлення без повного перероблення конфігурації або навіть закупівлі додаткових матеріалів.

Тому, чим вища точність на етапі первинного обстеження — тим менше ризиків, доопрацювань і зайвих витрат на наступних стадіях реалізації проєкту. Проєктування СЕС потребує максимальної достовірності вихідних параметрів уже на етапі збору вхідної інформації, оскільки будь-які відхилення в цьому процесі перетворюються на матеріальні втрати або недоотриманий прибуток.

2.7 Висновки до розділу 2

У другому розділі було розглянуто основні чинники, що впливають на точність та якість вхідних даних, які використовуються при проектуванні сонячних електростанцій. Проведено аналіз методів вимірювання геометричних параметрів об'єкта із застосуванням сучасних інструментів — рулетки, дронів, лазерних далекомірів та LIDAR, що дозволяють досягти високої точності результатів.

Оцінено вплив затінення на ефективність генерації електроенергії, досліджено тіньовий аналіз із використанням програмного забезпечення PVsyst, SketchUp та AutoCAD. Визначено вимоги до точності тривимірних моделей, які застосовуються для моделювання та розрахунку енергетичних втрат.

Розглянуто електротехнічні вимірювання — споживання електроенергії, параметри трифазної мережі, а також особливості одноразових і багаторазових вимірювань. Показано, що точність електричних даних є критично важливою для вибору обладнання та конфігурації системи.

Також проаналізовано процес трасування кабелів, де визначено вплив похибок на вартість проєкту та втрати енергії. Встановлено, що недостатня точність вимірювань довжин може призвести до додаткових витрат і зниження надійності системи.

Окрему увагу приділено впливу людського фактора та запропоновано способи його мінімізації за рахунок стандартизації процесів, використання цифрових інструментів та перевірки результатів вимірювань.

Загалом, розділ підтверджує необхідність високої точності та достовірності вхідних даних на етапі обстеження об'єкта як ключової умови для ефективного, економічно обґрунтованого та надійного проєктування СЕС.

Для перевірки вищенаведених теоретичних висновків у наступному розділі розроблено методику обстеження реального об'єкта. Отримані результати дозволяють оцінити, як рівень точності вимірювань впливає на остаточні техніко-економічні показники проєкту СЕС.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ОБСТЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ТОЧНОСТІ ВХІДНИХ ДАНИХ

3.1 Методика проведення обстеження

Проведення обстеження об'єкта, на якому планується встановлення сонячної електростанції (СЕС), є ключовим етапом, що безпосередньо впливає на подальшу точність технічного проектування та вибір обладнання. Якість та структура отриманих даних визначають обґрунтованість технічних рішень, точність розрахунків і загальну економічну ефективність системи.

Збір вхідної інформації не обмежується лише вимірюваннями або фіксацією фізичних параметрів. Це багатоетапний процес, який включає також аналітичну підготовку, попереднє анкетування, аналіз наданої замовником документації, використання типових бланків і форм для систематизації даних. Відповідно, методика обстеження має бути логічно структурованою, але гнучкою до різних типів об'єктів і сценаріїв роботи.

У сучасних умовах ефективного проектування важливо застосовувати стандартизовані підходи до фіксації вихідної інформації. Саме тому в рамках цієї роботи передбачено впровадження типових опитувальних листів, бланків обстеження та супровідних форм, які дозволяють структурувати збір даних у єдиному форматі, що зручно обробляється проектувальниками.

Ці документи не лише спрощують процес збору інформації в полі, але й виконують функцію логічної перевірки повноти та взаємозв'язків між окремими параметрами. Наприклад, вони дозволяють оперативно виявити відсутність критичних значень, таких як відстані до перешкод, профіль покрівлі, розміщення введів у приміщення тощо.

3.1.1 Структура та призначення опитувальних листів і шаблонів обстеження

Збір вхідних даних під час обстеження об'єктів для встановлення сонячних електростанцій доцільно організувати за допомогою стандартизованих опитувальників та бланків фіксації технічної інформації. Такий підхід дозволяє систематизувати процес, уникнути випадкового пропуску важливих параметрів та забезпечити єдину логіку передання даних до проектної частини.

Опитувальні листи умовно поділяються на три частини відповідно до послідовності робіт і характеру інформації, що фіксується на кожному етапі.

Частина 1 — попередні загальні дані. Заповнюється ще до виїзду на об'єкт, зазвичай безпосередньо замовником або в телефонному режимі. У цьому блоці фіксується загальна інформація про тип об'єкта, місце розташування, доступність, очікувана потужність СЕС, тип даху або земельної ділянки тощо. Додатково до обговорення уточнюється поточне споживання електроенергії та графік роботи об'єкта, що дозволяє сформулювати початкові уявлення про підключення і навантаження. Заповнення цієї частини дає змогу визначити доцільність проектування, сформулювати попередні висновки щодо складності майбутніх вимірювань і обрати відповідний інструментальний набір.

Частина 2 — бланк обстеження після укладання договору. Цей документ є основною робочою формою інженера під час виїзду на об'єкт. Його структура залежить від типу об'єкта: окремі шаблони передбачені для скатного даху, плоского даху та наземної установки. Бланк містить поля для запису ключових геометричних параметрів, матеріалів покриття, конструктивних особливостей, потенційних тінювих перешкод, місць підведення кабелів, типу основи, орієнтації даху та інших технічних деталей. Якщо певні блоки інформації є неактуальними для конкретного об'єкта (наприклад, відсутні комини, вентиляційні шахти чи мансардні вікна), вони відповідно позначаються або пропускаються. Це дозволяє зберігати уніфіковану логіку документа при зменшенні обсягу непотрібної інформації.

Частина 3 — перелік супровідної документації. Охоплює документи, що надаються замовником для деталізації параметрів, які важко або неможливо точно зафіксувати під час огляду. До цього переліку входять ситуаційні плани, вивчення з кадастрових карт, технічні умови на підключення, енергетичні договори, інформація про електролічильник, статистика споживання, попередні інженерні креслення, плани поверхів, перекриттів або покрівель. Наявність цих матеріалів не тільки значно підвищує точність прийняття рішень у проектуванні та дозволяє уникнути невиправданих припущень, а й використовується у майбутньому для офіційної здачі об'єкта в експлуатацію.

Форми заповнення передбачають як ручний, так і цифровий варіант реалізації, з можливістю обробки даних у спільних таблицях, мобільних застосунках або спеціалізованому програмному забезпеченні. Це забезпечує швидкий зворотній зв'язок між інженерами, проєктувальниками та замовником.

Приклад опитувального бланку зображено на рисунку 3.1.

Частина 1 - Загальна інформація про об'єкт (Оцінка можливості реалізації СЕС)					
№	Найменування	Поле для заповнення	Од. виміру	Пріоритет	Примітки
1	Назва об'єкту		-	Обов'язково	Впливає на укладання договору
2	Контактні дані замовника		-	Обов'язково	Для зворотнього зв'язку
3	Адреса об'єкта (локація, координати, геометка)		-	Обов'язково	Для попереднього аналізу карт сонячного випромінювання
4	Тип об'єкта (Житловий будинок, комерційне приміщення, промисловий об'єкт, тощо)		-	Обов'язково	Впливає на типові навантаження та вимоги до СЕС
5	Тип підключення (1 або 3 фази)		1/3	Обов'язково	Впливає на вибір інвертора та схему підключення
6	Дозволена потужність згідно договору розподілу		кВт	Обов'язково	Ключовий показник для визначення максимальної потужності СЕС
7	Тип СЕС (мережева, гібридна)		-		Впливає на складність реалізації
8	Спосіб встановлення СЕС (дахова, наземна)		-		Впливає на к-ть матеріалів та загальну вартість
9	Мета встановлення СЕС ("Зелений тариф", власне споживання, резервне живлення)		Так/Ні		Впливає на схему підключення
10	Власне бачення бажаної потужності		кВт		

Рисунок 3.1 – Приклад опитувального бланку (Частина 1)

У Додатку А до цієї роботи наведено детальні приклади опитувальників та бланків, що охоплюють усі три описані частини. Вони можуть бути адаптовані до особливостей конкретного проєкту, типу об'єкта, а також до формату співпраці.

3.1.2 Методика оцінки придатності вхідних даних для проєктування

Незалежно від того, наскільки повноцінно виконано обстеження об'єкта, наступним критичним етапом є оцінка якості та точності отриманих вхідних даних. Саме на основі цього аналізу проєктувальник має ухвалити рішення: чи достатньо достовірною є інформація для створення проєктної моделі, чи потребує вона уточнення або перерахунку, а також — якого класу точності слід дотримуватись при виборі інструментів і підборі обладнання.

Запропонована методика ґрунтується на розподілі вхідних параметрів за трьома ключовими ознаками:

1. Походження даних — визначає, чи є параметр результатом прямого вимірювання, інструментальної фіксації, документального джерела, або лише оцінки «на око».

2. Клас точності отримання — передбачає узгодження класу точності застосованого обладнання з типом параметра (наприклад, вимірювання площі покрівлі рулеткою 3 класу на об'єкті з щільною забудовою є потенційно непридатним для проєктного моделювання без уточнення).

3. Вплив похибки на проєктне рішення — аналізується, наскільки відхилення кожного параметра (у межах його похибки) здатне змінити загальні рішення щодо потужності, розміщення модулів, вибору кабелів, типу кріплень, а отже — і бюджету системи.

У процесі аналізу оцінюється кожна група даних окремо: геометричні, електротехнічні, просторові, адміністративно-документальні. Наприклад:

Якщо геометрія даху отримана за допомогою інструменту з похибкою понад 2%, а розміри впливають на кількість модулів, то це може призвести до суттєвої недоінсталяції або перевитрати обладнання. У цьому випадку рекомендовано застосування більш точного обладнання (лазерний далекомір з ISO-сертифікацією) або повторне обстеження.

Якщо покази електролічильника фіксуються лише раз на місяць, а немає доступу до щоденного архіву, то визначення пікового споживання буде

орієнтовним. Це призводить до високої похибки при розрахунку оптимального навантаження, що критично при виборі інвертора або схем підключення. Методично такі дані мають позначатися як "умовні", і на їх основі не можна робити фінальне рішення без додаткового спостереження або застосування лічильників з логуванням.

Якщо, документи, отримані від замовника без масштабування або з невідомою датою актуальності, повинні обов'язково супроводжуватись польовою верифікацією. Якщо вона неможлива (наприклад, відсутній доступ до покрівлі), рівень довіри до таких креслень знижується, і це має бути зафіксовано у відповідному рішенні про подальшу роботу.

Оцінка виконується за кожним параметром і групується у відповідну таблицю. Приклад узагальненої таблиці з оцінкою джерел, похибок та впливу параметрів на проектні рішення наведено в Додатку Е.

Результатом роботи за методикою є не просто перевірка того, чи «заповнені всі поля», а якісний висновок: наскільки інформація є репрезентативною, достовірною і придатною до застосування в проектуванні. У деяких випадках навіть повна таблиця не дає достатньої впевненості, тому приймається рішення про уточнення даних через повторні вимірювання, використання зовнішніх джерел (наприклад, супутникових зображень) або тимчасове проектування з відповідними допусками.

Методика також дозволяє вибудовувати підхід до вибору обладнання. Наприклад, при високій невизначеності навантаження — обирається інвертор з більшим запасом, при низькій точності кріплення — системи з регульованим кутом нахилу. Отже, навіть у випадку неповної інформації проектне рішення може бути адаптоване, але з усвідомленням рівня ризику і відповідним маркуванням.

Таким чином, застосування даної методики дозволяє:

- приймати обґрунтовані технічні рішення, виходячи не лише з наявності даних, а з рівня їх точності;
- мінімізувати ризик помилкових інженерних рішень;

- адаптувати вибір обладнання до реального ступеня визначеності об'єкта;
- забезпечити прозорість і відтворюваність процесу проектування у випадках аудиту чи повторного аналізу.

3.2 Основні норми обстеження будівель на предмет доцільності встановлення СЕС

Обстеження будівель та споруд, призначених для встановлення сонячних електростанцій (СЕС), вимагає комплексного підходу, що базується на поєднанні нормативних вимог і практичного досвіду. Такий підхід дозволяє гарантувати не лише відповідність проєкту стандартам, а й економічну доцільність та ефективність робіт.

Основні вимоги до проведення обстежень викладені у таких нормативних документах:

- ДСТУ 9273:2024 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість». Цей стандарт встановлює вимоги до складання програми обстеження, проведення візуального і інструментального контролю, виконання розрахункової оцінки та оформлення результатів [57].

- ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд». Документ підкреслює необхідність забезпечення надійності конструкцій упродовж усього строку експлуатації, а також урахування всіх можливих впливів, включно з додатковими навантаженнями від СЕС [58].

- ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування». Він регламентує розрахунок навантажень (снігових, вітрових, власної ваги конструкцій) для визначення фактичної несучої здатності об'єкта [59].

3.2.1 Особливості дотримання нормативних вимог на базі практичного досвіду

Згідно даних нормативних документів, варто дотримуватись багатьох вимог, однак практичний досвід свідчить, що деякі з них можуть бути спрощені чи адаптовані відповідно до конкретних умов. Це твердження підтверджується під час реального проведення обстежень, зокрема при встановленні СЕС. Дотримання стандартів є основою для безпеки, надійності та довговічності конструкцій. Водночас практика показує, що надмірне ускладнення окремих процедур не завжди виправдане та економічно доцільне.

Виконуючи обстеження, особливо у випадках невеликих або допоміжних споруд, часто виникає ситуація, коли детальні процедури, передбачені стандартами, фактично дублюють одне одного або не дають суттєвої додаткової інформації. У таких випадках інженерні рішення, прийняті на основі досвіду та загального розуміння конструкцій, можуть бути більш практичними та економічно доцільними. Водночас, для складних об'єктів чи тих, що мають підвищений рівень відповідальності, недопустимо нехтувати повнотою обстежень та глибиною аналізу.

На мою думку, головне завдання спеціаліста — знаходити баланс між суворими приписами стандартів та реаліями обстеження. З одного боку, розрахунки, пов'язані з навантаженнями, стійкістю та механічним опором конструкцій, мають виконуватись без спрощень, оскільки вони безпосередньо впливають на безпеку експлуатації. З іншого боку, організаційні аспекти, надмірно деталізовані інструкції або формальності в оформленні звітної документації можуть бути адаптовані відповідно до потреб замовника та специфіки об'єкта.

При цьому важливо враховувати, що обстеження будівель — це не застигла процедура, а процес, що розвивається з розвитком технологій та матеріалів. Тому необхідно поєднувати дотримання вимог стандартів із впровадженням нових

практичних підходів, що дозволяють оптимізувати обсяг робіт і зменшити витрати часу та ресурсів.

Водночас остаточна мета кожного обстеження залишається незмінною — гарантування безпеки конструкцій та відповідність проєктним і експлуатаційним вимогам.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця: теорія/практика

№	Етап / Складова	Згідно нормативних документів	Нормативний документ	Згідно практичного досвіду
1	Програма обстеження	Детально прописана програма з обґрунтуванням усіх етапів і методів обстеження	ДСТУ 9273:2024 [57]	Спрощена програма, часто базується на типовому шаблоні та адаптується під конкретний об'єкт
2	Візуальне обстеження	Ретельне обстеження кожного конструктивного елемента з описом стану	ДСТУ 9273:2024 [57]	Фото- або відео фіксація для швидкої оцінки, особливо при обмеженому доступі або великій площі
3	Інструментальні дослідження	Використання сертифікованих приладів та стандартних методик для вимірювань	ДСТУ 9273:2024 [57]	Часто застосовуються універсальні прилади або комбіновані методи, що забезпечують потрібну точність
4	Розрахунок навантажень	Розрахунки виконуються згідно з нормативними схемами і враховують всі навантаження (снігові, вітрові, від СЕС)	ДБН В.1.2-2:2006 [59]	У практиці часто виконують укрупнені розрахунки, які дозволяють швидко оцінити достатність конструкції
5	Забезпечення надійності конструкцій	Забезпечується протягом усього строку експлуатації з урахуванням всіх впливів	ДБН В.1.2-14:2018 [58]	Практично оцінюється лише найбільш імовірні або критичні навантаження, що дозволяє оптимізувати витрати та зусилля
6	Оформлення звіту	Повний звіт з висновками про кожен елемент, структура визначена стандартом	ДСТУ 9273:2024 [57]	Структура звіту адаптується під потреби замовника (зокрема візуалізації, спрощені викладки)

Отже, обстеження будівель та споруд перед встановленням СЕС вимагає дотримання вимог нормативних документів, що задають чіткі межі безпеки та надійності. Разом із тим, практичний досвід дозволяє адаптувати ці вимоги, роблячи процес більш ефективним і економічно обґрунтованим. Такий підхід забезпечує якість та об'єктивність результатів, що стануть надійною основою для проектування та безпечної експлуатації сонячних електростанцій.

3.2.2 Типові помилки під час обстеження будівель на предмет доцільності встановлення СЕС

У процесі обстеження будівель та споруд для розміщення сонячних електростанцій виникає низка типових помилок, що можуть суттєво вплинути на кінцевий результат. З одного боку, нормативні документи задають чіткі вимоги до організації робіт, але реальні умови та різноманітність конструкцій часто створюють передумови для похибок, які не завжди очевидні на перший погляд. Вони можуть проявлятися як у недотриманні методик проведення замірів чи виконання розрахунків, так і в організаційних моментах – неправильній послідовності дій, недооцінці або переоцінці стану конструкцій.

Одна з поширених помилок стосується виконання вимірювань геометричних параметрів, особливо з використанням сучасних приладів, таких як лазерні далекоміри. Навіть незначне відхилення по осі вимірювання може призвести до похибки, яка в масштабах усього об'єкта дасть значну розбіжність. Це, у свою чергу, здатне вплинути на подальше проектування: наприклад, кількість встановлених конструкцій під СЕС може виявитися меншою від запланованої.

Іншою помилкою може стати недостатня увага до стану матеріалів конструкцій. Практика свідчить, що іноді обстеження обмежуються лише візуальною оцінкою, без інструментального підтвердження фактичного стану, що створює ризики помилкової оцінки несучої здатності. Часто це трапляється через поспіх або обмежені ресурси, але в результаті подібний підхід може призвести

до завищених або занижених розрахункових значень, а значить — до непередбачуваних наслідків під час експлуатації.

Важливим аспектом є також повноцінне урахування всіх видів навантажень. У практиці іноді зосереджуються лише на власній вазі конструкцій або сніговому навантаженні, ігноруючи вітрові чи тимчасові монтажні навантаження. Таке спрощення викривляє загальну картину навантажень, а відтак – і розрахунок надійності конструкцій.

Також часто недооцінюють значення документування результатів. Прагнення спростити або скоротити звітність може призвести до того, що втрачаються важливі деталі або не враховуються візуально непомітні, але значущі дефекти. Це особливо важливо, якщо в майбутньому планується масштабування СЕС або інші роботи, що базуються на результатах такого обстеження.

Деталізований перелік типових помилок, їхніх наслідків і практичних рекомендацій наведено у таблиці 3.2. Ця таблиця дозволяє систематизувати ризики та пропонує реальні способи їх уникнення на основі власного досвіду.

Таблиця 3.2 – Типові помилки під час обстеження та шляхи їх уникнення

№	Типова помилка	Наслідки помилки	Як уникнути	Коментар з практики
1	Використання лазерного далекоміра з відхиленням по осі	Похибки у вимірюваннях розмірів; розбіжності у кресленнях	Ретельно контролювати положення приладу; повторно перевіряти особливо при похилих площинах	Часто виникає при роботі в обмежених просторах, де важко правильно навести прилад
2	Обмеження обстеження тільки візуальним оглядом	Недооцінка прихованих дефектів конструкцій	Поєднувати візуальний огляд з інструментальними методами	Поширено через обмежений бюджет чи брак часу на більш глибокі дослідження
3	Ігнорування вітрових або монтажних навантажень у розрахунках	Недооцінка небезпечних впливів; ризик перевантаження конструкцій	Виконувати комплексний розрахунок з урахуванням усіх навантажень, навіть якщо здаються незначними	Помилки поширені в регіонах із сильними вітрами, де ці навантаження часто недооцінюють

Продовження таблиці 3.2

№	Типова помилка	Наслідки помилки	Як уникнути	Коментар з практики
4	Недостатньо чітке документування результатів	Втрата важливої інформації; складнощі в подальшому проектуванні	Дотримуватись структури звіту; додавати фотофіксацію і детальні описи дефектів	«Поспіх» на завершальних етапах часто призводить до неточностей і прогалин у звіті
5	Неправильна інтерпретація результатів інструментальних вимірювань	Завищені або занижені оцінки міцності конструкцій	Інтерпретацію виконувати кількома фахівцями або порівнювати результати різними методами	Важливо не покладатись на один прилад чи одну оцінку – помилки часто залишаються непоміченими
6	Використання застарілого або некаліброваного обладнання	Недостовірні дані; спотворення результатів	Регулярно калібрувати прилади; застосовувати лише сертифіковане сучасне обладнання	Практика показує, що некалібрований прилад може давати похибку у десятки відсотків
7	Пропуск важкодоступних ділянок під час обстеження	Неповноцінна картина технічного стану	Використовувати додаткові засоби огляду (дрони, ендоскопи), залучати спеціалістів	Під покриттями або в стиках часто накопичуються дефекти, які можуть залишитися непоміченими
8	Відсутність чіткої послідовності дій під час обстеження	Плутанина в результатах; ризик повторення помилок	Скласти покрокову програму обстеження і дотримуватись її	Досвід підказує: відсутність плану часто призводить до зайвої роботи або пропусків у дослідженні
9	Неправильне збереження або передача даних (наприклад, помилки в Excel-таблицях)	Втрата або спотворення даних; неповнота звіту	Перевіряти всі файли перед передачею; зберігати резервні копії	Типова «паперова» проблема, яка переходить і в цифровий формат: неточності через поспіх чи неухважність
10	Неврахування сезонних або тимчасових факторів (температури, вологості)	Викривлення результатів вимірювань і оцінки стану конструкцій	Виконувати обстеження з урахуванням температурних і кліматичних особливостей, вносити поправки	Зимові заміри чи після опадів можуть дати спотворені результати

Щоб уникнути розглянутих типових помилок, недостатньо лише формально дотримуватись вимог нормативів. Потрібно уважно і послідовно підходити до кожного етапу обстеження: від планування робіт і підбору приладів

до документування результатів. Лише такий комплексний підхід дозволяє виявити приховані дефекти, виключити похибки у замірах та забезпечити об'єктивність розрахунків, що вкрай важливо для точності проєктування сонячних електростанцій.

Водночас важливо пам'ятати, що навіть найсучасніше обладнання та методики втрачають свою ефективність, якщо ними користуються без належної перевірки чи без чіткого плану. Будь-які пропуски в процесі або неправильне трактування даних можуть призвести до суттєвих відхилень між реальним станом об'єкта та проєктними рішеннями. Особливо це стосується випадків, коли під час обстеження ігноруються тимчасові або сезонні фактори, що впливають на точність даних.

Загалом — це не лише технічний захід, а важлива частина загальної стратегії безпечної та економічно обґрунтованої реалізації проєкту. Поєднання дотримання стандартів, застосування сучасних приладів та гнучкість у підходах до складних ділянок дозволяє не тільки запобігти помилкам, а й зробити процес обстеження ефективним і результативним.

3.3 Рекомендації щодо вдосконалення методик обстеження

Сучасна практика технічного обстеження будівель демонструє потребу у постійному вдосконаленні методів, особливо в умовах динамічного розвитку цифрових технологій та підвищених вимог до точності, швидкості і збереження інформації. Традиційні підходи, що передбачають ручні вимірювання, фіксацію результатів на папері й подальше перенесення даних в електронну форму, дедалі частіше поступаються місцем автоматизованим та цифровим рішенням.

Одним із найбільш дієвих методів удосконалення є використання дронів із фотограмметричними камерами, таких як DJI Mavic 3 Enterprise чи тому подібні [50]. Ці пристрої здатні оперативно охопити великі площі покрівлі, виконати серію знімків з точним позиціонуванням, а надалі — сформувати цифрову модель рельєфу або ортофотоплан, що дозволяє інженеру з високою точністю визначати

геометричні параметри. Подібні методи особливо корисні у випадках, коли традиційне вимірювання з використанням рулетки або далекоміра є небезпечним або неможливим.



Рисунок 3.1 – Приклад професійного інженерного квадрокоптера [60].

Значного поширення набувають також лазерні 3D-сканери (наприклад, Leica BLK360, Trimble X7), які дозволяють формувати високоточні тривимірні моделі об'єкта впродовж кількох хвилин [61, 55]. Такі сканери застосовуються не лише для фасадних чи внутрішніх обстежень, але й при скануванні складних дахових конструкцій, що є особливо актуальним при встановленні СЕС. Інтеграція з програмним забезпеченням типу Autodesk ReCap, FARO Scene або CloudCompare забезпечує зручну обробку та подальший експорт даних у CAD-середовище.



Рисунок 3.2 – Лазерний сканер Leica BLK360 [61].

Важливо також відзначити поступову цифровізацію самого процесу обробки результатів. Все частіше застосовується збір та фіксація результатів обстеження у реальному часі за допомогою Google Sheets, Microsoft Excel Online, Airtable чи інших хмарних платформ [62]. Такий підхід дозволяє:

- одразу фіксувати параметри конструкцій;
- прикріплювати знімки з місця обстеження;
- мати одночасний доступ усієї команди — як технічного персоналу, так і проєктантів;
- забезпечити автоматичне оновлення даних та подальшу можливість фільтрації, аналізу чи генерації специфікацій.

Завдяки цьому зменшується кількість помилок, пов'язаних із ручним введенням або передачею інформації, а також скорочується час на підготовку технічного висновку. Проєктанти, які мають доступ до таблиці, можуть ще до завершення польових робіт розпочинати попередні розрахунки, а менеджери — оперативно формувати замовлення на необхідні матеріали, конструкції чи обладнання.

Окрім того, сучасне програмне забезпечення, таке як BIM-системи (Autodesk Revit, Archicad, Allplan) дозволяє інтегрувати дані з обстежень безпосередньо в цифрову модель будівлі [63]. Таким чином, на етапі обстеження вже створюється база для подальшого проєктування. У довгостроковій перспективі така модель може слугувати не лише інструментом проєктувальника, але й платформою для цифрового моніторингу стану будівлі протягом усього життєвого циклу.

Також варто згадати і про мобільні додатки, які дозволяють автоматизувати обробку геоданих або сканування простору — наприклад, MagicPlan, LiDAR, Matterport Capture [64]. Ці інструменти дають змогу навіть з допомогою звичайного планшета або смартфона сформувати базову модель об'єкта, що значно прискорює обстеження допоміжних приміщень.

У таблиці нижче узагальнено напрямки автоматизації та модернізації, які потенційно можуть бути адаптовані до існуючої практики проведення технічних обстежень. Вони ілюструють сучасну багатовекторність розвитку галузі,

поєднуючи технічні, інформаційні та управлінські рішення в єдиний цифровий простір.

Таблиця 3.3 – Методи автоматизації / модернізації обстеження будівель

№	Метод / технологія	Обладнання / ПЗ	Переваги
1	Аерофотозйомка з дрона	DJI Mavic 3 Enterprise	Швидкий огляд покрівлі, зменшення ризику для персоналу, точна геолокація
2	Створення ортофотоплану	DJI Terra, Pix4Dmapper	Точні розміри площин з фото, зручно для подальшого проектування
3	3D-сканування будівлі	Leica BLK360, Trimble X7	Високоточна цифрова модель об'єкта, сумісність з BIM
4	Створення цифрового двійника (BIM)	Autodesk Revit, ArchiCAD, Allplan	Інтеграція з подальшим проектуванням, цифровий архів стану об'єкта
5	Хмарне введення даних, онлайн-документування з виїзду	Google Docs, Microsoft Office Online	Спільний доступ команди, автоматичне збереження та оновлення, введення замірів на місці, швидке формування звітів
6	Створення фотопланів із мобільних додатків	Matterport, MagicPlan, RoomScan LiDAR	Швидке сканування простору за допомогою смартфона або планшета
7	Вбудовані шаблони дефектів для швидкого фіксування стану	PlanRadar	Економить час на опис пошкоджень, забезпечує уніфікацію звітів
8	Голосовий ввід даних під час обстеження	Google Voice Typing, Otter.ai	Прискорює фіксацію замірів без ручного введення
9	Централізоване сховище фото/відеоматеріалів обстежень	Google Drive, Dropbox, OneDrive	Упорядкування всієї візуальної документації з резервним копіюванням
10	Онлайн-формат перевірки відповідності об'єкта нормам	CodeCheck AI, BuildingCodeHub	Автоматизований аналіз відповідності об'єкта будівельним нормам

Відповідно, поєднання хмарних технологій, автоматизованих приладів та сучасного програмного забезпечення дозволяє не лише підвищити ефективність обстеження, а й трансформувати його в частину єдиного цифрового проектного процесу. Враховуючи сучасні виклики у сфері будівництва, енергетики та сталого розвитку, подібні підходи є не просто бажаними, а обов'язковими для

забезпечення надійності, точності та економічної ефективності впровадження сонячних енергетичних систем чи інших об'єктів будівництва.

3.4 Висновки до розділу 3

У результаті проведеного дослідження було створено універсальну методикау обстеження об'єктів для встановлення сонячних електростанцій, яка враховує вимоги нормативних документів і практичний досвід. Методика має модульну структуру, поділену на попереднє та поглиблене обстеження, що дозволяє ефективно планувати роботу залежно від етапу проекту та оптимізувати витрати ресурсів.

Особливу увагу приділено структурованості дій, точності вимірювань, цифровій фіксації результатів і використанню сучасних технологій, таких як дрони, 3D-сканування та хмарні сервіси. Усі етапи обстеження логічно пов'язані між собою, що зменшує похибки та полегшує комунікацію між інженерами, проєктантами та менеджерами. Методика також передбачає роботу з різними типами об'єктів і враховує можливі ризики та типові помилки.

Таким чином, запропонована методика є не лише інструментом уніфікації технічних обстежень, а й новим якісним підходом до організації роботи на об'єкті. Її можна легко адаптувати, масштабувати та інтегрувати в цифрові системи компаній, що створює підґрунтя для її широкого впровадження як у приватному секторі, так і в промислових проєктах.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було здійснено комплексне дослідження проблематики забезпечення точності вхідних даних під час проєктування сонячних електростанцій. Питання метрологічної достовірності вимірювань на етапі обстеження об'єкта виявилось не лише технічною, а й стратегічною складовою процесу, що визначає надійність усіх подальших етапів — від розрахунків генерації до закупівель та монтажу.

Першочергову увагу було приділено аналізу поточного стану галузі сонячної енергетики в Україні, визначено ключові тренди й виклики, що стоять перед проєктувальниками, зокрема — потреба мінімізувати похибки під час оцінки геометрії об'єкта, орієнтації, тіньового впливу та електричних параметрів. Похибки в цих даних можуть призвести до значного зниження продуктивності СЕС, перевитрат коштів або навіть до технічно непридатного проєкту. Аналіз літератури, стандартів і типових інженерних рішень показав, що не всі вхідні дані однаково впливають на якість рішення: було запропоновано класифікацію параметрів за критичністю до точності, що дозволяє зосередити зусилля саме там, де це найбільш доцільно.

Дослідження підтвердило, що просторові характеристики даху та елементи, пов'язані з затіненням, мають найвищий рівень критичності. Електротехнічні параметри — важливі, але допускають усереднення або уточнення на етапі монтажу. Чітко виокремлено людський фактор як вагомий ризик, що вимагає мінімізації за допомогою шаблонізації дій та цифрової фіксації результатів.

Ключовим результатом роботи стала розробка універсальної, гнучкої та практично орієнтованої методики обстеження об'єкта для проєктування СЕС. Вона не є жорстким алгоритмом, а складається з модульних блоків, що адаптуються під тип об'єкта (дах, ґрунт, фасад), етап співпраці з клієнтом (попередній розрахунок чи технічне завдання) та доступні ресурси. У роботі систематизовано послідовність дій, враховано вимоги нормативних документів

(ДСТУ), а також проаналізовано типові помилки, що виникають у практиці. Методика передбачає як візуальне, так і інструментальне обстеження, цифрове фіксування даних, роботу з хмарними таблицями, фотофіксацію, і є придатною як для паперового, так і для автоматизованого формату.

Також у роботі розглянуто перспективи модернізації процесу за рахунок використання сучасних засобів автоматизації, таких як лазерні далекоміри, мобільні LiDAR-сканери, геоприв'язка даних, шаблони оцінки дефектів, голосовий ввід, інтеграція з CAD/BIM та використання хмарних сервісів. Наведено конкретні інструменти, які можуть бути використані інженером, однак основний фокус збережено саме на методологічному підході, а не на конкретному ПЗ.

Таким чином, робота реалізувала поставлену мету — створити інструмент, який дозволить структурувати процес обстеження, зробити його менш залежним від суб'єктивного досвіду, мінімізувати ризики похибок і втрат, та в підсумку — підвищити ефективність і надійність проєктів у сфері відновлюваної енергетики. Методика, запропонована в роботі, має усі передумови для подальшого масштабування, автоматизації та впровадження в комерційні або навчальні практики.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Потужність "зеленої" генерації в Україні наблизилась до 8,5 ГВт // LB.ua. URL: https://lb.ua/economics/2022/01/13/503011_potuzhnist_zelenoi_generatsii.html (дата звернення: 16.06.2025).
2. SolarGIS. Сонячні карти та ГІС-дані. URL: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/ukraine> (дата звернення: 16.06.2025).
3. National Investment Council of Ukraine. Renewable energy sector: Unlocking sustainable energy potential. 2018. URL: <https://ukraineinvest.gov.ua/reports/renewable-energy-2018.pdf> (дата звернення: 16.06.2025).
4. Барзенкова В. В. Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні // Збірник тез наук. конф. — Одеса, 2018. — Івано-Франківськ, 2025. — С. 295–297.
5. Проектування сонячних станцій // Reneco. URL: <https://reneco.com.ua/proektuvannya-sonyachnih-stantsiy/> (дата звернення: 16.06.2025).
6. Професійне проектування сонячних електростанцій // Sonceprom. URL: <https://sonceprom.com.ua/poslugi/profesiyne-proektuvannya-sonyachnih-elektrostantsiy/> (дата звернення: 16.06.2025).
7. PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (дата звернення: 16.06.2025).
8. Проектування сонячних електростанцій (СЕС) // Ecotech Ukraine. URL: <https://www.ecotech.ua/services/proektuvannya-sonyachnyh-elektrostantsij/> (дата звернення: 16.06.2025).
9. Проектування сонячних електростанцій // Energoseti. URL: <https://energoseti.com.ua/uk/nashi-posluhy/proektuvannia-soniachnykh-elektrostantsij/> (дата звернення: 16.06.2025).
10. Як зробити правильний вибір при проектуванні СЕС // Kvorts. URL: <https://kvorts.com.ua/proiektuvannia-soniachnykh-elektrostantsii-yak-zrobyty-pravylnyi-vybir/> (дата звернення: 16.06.2025).

11. IRENA. Renewable Energy Project Development and Finance. 2019. URL: <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/Renewable-energy-project-development-and-finance> (дата звернення: 16.06.2025).
12. Вплив параметрів установки панелей на ефективність // KPI Energy Institute. URL: <https://energy.kpi.ua/article/view/303071> (дата звернення: 16.06.2025).
13. Аналіз впливу кута нахилу сонячних панелей на роботу електричної мережі // DonNTU. URL: <https://elen.donntu.edu.ua/2074-2630-2020-2-70-76.pdf> (дата звернення: 16.06.2025).
14. Чому сонячна електростанція не працює та не виробляє струм // Ecotech Ukraine. URL: <https://www.ecotech.ua/ne-viroblyaye-strum/> (дата звернення: 16.06.2025).
15. Вплив температури на роботу сонячної панелі // ONLYSolar. URL: <https://onlysolar.in.ua/vplyv-temperatury-na-robotu-soniachnoi-paneli/> (дата звернення: 16.06.2025).
16. Проектування сонячної станції // ONLYSolar. URL: <https://onlysolar.in.ua/katalog/proektuvannya-sonyachnoyi-stanciyi/> (дата звернення: 16.06.2025).
17. IRENA. Solar PV Project Development Guide. 2021. URL: <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Solar-PV-project-development> (дата звернення: 16.06.2025).
18. Zendehtdel K., Rezaie B. Orientation and inclination of solar panels for optimal energy production: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020. Vol. 119. Article ID: 109623. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109623> (дата звернення: 16.06.2025).
19. Jakubiec J. A., Reinhart C. F. A method for predicting city-wide electricity gains from photovoltaic panels based on lidar and GIS data // Solar Energy. 2013. Vol. 93. P. 86–102. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.03.031> (дата звернення: 16.06.2025).

20. Ingle S., Karwankar R. Measurement tools for accurate building dimensioning: From analog to digital techniques // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2018. Vol. 144, No. 7. Article ID: 04018047. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001506](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001506) (дата звернення: 16.06.2025).

21. Лазерний далекомір Dnipro-M TF-100. URL: <https://dnipro-m.ua/tovar/lazernyj-dalnomer-100tf/> (дата звернення: 16.06.2025).

22. Ручний інструмент Makita B-57168. URL: <https://makita.com.ua/ruchnoy-instrument-makita-b-57168> (дата звернення: 16.06.2025).

23. Курвіметр Bosch Professional GWM 32. URL: <https://bosch-centre.com.ua/ua-kurvimetr-bosch-professional-gwm-32-0601074000?gmc=1> (дата звернення: 16.06.2025).

24. Nex F., Remondino F. UAV for 3D mapping applications: a review // *Applied Geomatics*. 2014. Vol. 6. P. 1–15. URL: <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x> (дата звернення: 16.06.2025).

25. Інспекція сонячних електростанцій // Quadro.ua. URL: <https://quadro.ua/inspekziya-sonyachnih-elektrostantsij/> (дата звернення: 16.06.2025).

26. Shan J., Toth C. K. (Eds.). *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing*. Boca Raton : CRC Press, 2018.

27. Chattopadhyay S., Sinha S. Shading effects on solar PV performance: A detailed review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 139. Article ID: 110685. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110685> (дата звернення: 16.06.2025).

28. PVsyst SA. *PVsyst: Photovoltaic system software package*. 2020. [Software Manual]. URL: <https://www.pvsyst.com> (дата звернення: 16.06.2025).

29. PVsyst Documentation. *Shadings 3D calculation*. URL: <https://www.pvsyst.com/help/project-design/shadings/electrical-shadings-module-layout/shadings-3d-calculation.html> (дата звернення: 16.06.2025).

30. Machete R. Solar design in SketchUp using Skelion plugin: 3D modelling and shading analysis // *Journal of Building Performance*. 2019. Vol. 10, No. 2. P. 45–52. URL: <https://www.myjournal.my/public/article-view.php?id=150972> (дата звернення: 16.06.2025).

31. Skelion User Guide. Solar Design Plugin for SketchUp. URL: <https://studylib.net/doc/25417836/docdownloader.com-skelion-manualpdf> (дата звернення: 16.06.2025).

32. Çolak I., Kabalci E. Analysis of PV shading using AutoCAD and MATLAB integration // *International Journal of Renewable Energy Research*. 2017. Vol. 7, No. 3. P. 1232–1240. URL: <https://www.ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/6411> (дата звернення: 16.06.2025).

33. Wu T. H., Lin Y. C. Accuracy of building information modeling and laser scanning integration for solar shading simulation // *Automation in Construction*. 2018. Vol. 94. P. 160–170. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.015> (дата звернення: 16.06.2025).

34. NIK 2303 — Трифазний електронний лічильник. URL: https://nik.net.ua/wp-content/uploads/2021/11/nik2300_2303-ар6-ne-aashh.411152.052-rev5.pdf (дата звернення: 16.06.2025).

35. Опис лічильника NIK 2303. URL: <https://nik.net.ua/product/nik-2303-new> (дата звернення: 16.06.2025).

36. PCE-830 Power Analyzer — Технічні характеристики. URL: https://www.pce-instruments.com/english/api/getartfile?_dsp=inline&_fnr=1055799 (дата звернення: 16.06.2025).

37. PCE-830 Power Analyzer. URL: https://www.pce-instruments.com/english/?id=68488e22173845891&_baseurl=%2Fenglish&action=ShowItem&_list=&_listpos=&_artnr=5962857 (дата звернення: 16.06.2025).

38. Методи дослідження енергетичних характеристик фотоелектричних систем // *Електронний зб. наук. пр.* — Київ : КНУТД. URL: https://epec.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/12406/1/V128_P009-019.pdf (дата звернення: 16.06.2025).

39. Mercury 230 — Інструкція з експлуатації. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/elektroschetchiki/elektroschetchik-merkurij-230-art.html> (дата звернення: 16.06.2025).

40. Опис товару: Mercury 230. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/elektroschetchiki/elektroschetchik-merkurij-230-art.html> (дата звернення: 16.06.2025).

41. Лінійно-кабельні споруди. Проектування телекомунікаційних мереж. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/proektuvannya_telekomunikacij_1-3-464090.pdf (дата звернення: 16.06.2025).

42. Варецький Ю. І. Метод оцінки втрат потужності у кабелях низької напруги промислових електричних мереж // Наука та інновації. 2021. Вип. 3(1). URL: <https://science.lpnu.ua/uk/sepes/vsi-vypusky/vypusk-3-nomer-1-2021/metod-osinky-vtrat-potuzhnosti-u-kabelyah-nyzkoji-napругy> (дата звернення: 16.06.2025).

43. СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49:2011. Проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ. URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=72188 (дата звернення: 16.06.2025).

44. Лекція 9. Тема: Похибки вимірювань // Житомирський державний технологічний університет. URL: <https://learn.ztu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=190762> (дата звернення: 16.06.2025).

45. Теорія похибок і обробка результатів вимірювань у фізичній лабораторії // Київський політехнічний інститут. URL: <https://kzf.kpi.ua/wp-content/uploads/2021/09/TheorOfErrors.pdf> (дата звернення: 16.06.2025).

46. Вступ до техніки вимірювань : навч. посібник. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/60985/1/Metod_do_prakt_Vstup_do_TV.pdf (дата звернення: 16.06.2025).

47. ДСТУ EN 13336:2009. Будівельні інструменти. Рулетки вимірювальні. — [Чинний]. — Київ : Держспоживстандарт України, 2009. — 24 с.

48. ISO 16331-1:2017. Optics and optical instruments – Laboratory procedures for testing surveying and construction instruments – Part 1: Performance of handheld laser distance meters. – Geneva : ISO, 2017. – 30 p.

49. Koizumi. Digital Curvimeter. Технічна документація. – Режим доступу: <https://www.koizumi.co.jp/products/curvimeter> (дата звернення: 16.06.2025).

50. DJI Enterprise. DJI Mavic 3 Enterprise Series. 2024. URL: <https://enterprise.dji.com/mavic-3-enterprise> (дата звернення: 16.06.2025).

51. RIEGL. Terrestrial and Airborne LIDAR Sensors. – Режим доступу: <https://www.riegl.com> (дата звернення: 16.06.2025).

52. ISO 17123-3:2001. Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 3: Theodolites. – Geneva : ISO, 2001. – 20 p.

53. Stabila. Spirit Levels and Measuring Tools. – Режим доступу: <https://www.stabila.com> (дата звернення: 16.06.2025).

54. Garmin. Handheld GPS Devices. – Режим доступу: <https://www.garmin.com> (дата звернення: 16.06.2025).

55. Trimble GNSS. High-Precision Positioning Solutions. – Режим доступу: <https://positioningservices.trimble.com> (дата звернення: 16.06.2025).

56. Bosch. GLM 120C Laser Distance Measurer. – Режим доступу: <https://www.boschtools.com> (дата звернення: 16.06.2025).

57. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=95702 (дата звернення: 16.06.2025).

58. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=91178 (дата звернення: 16.06.2025).

59. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71273 (дата звернення: 16.06.2025).

60. DJI Mavic 3T Enterprise — квадрокоптер. URL: <https://motostuff.com.ua/ua/products/dji-mavic-3t-enterprise-kvadrokopter/> (дата звернення: 16.06.2025).

61. Leica Geosystems. BLK360 Imaging Laser Scanner. 2024. URL: <https://shop.leica-geosystems.com> (дата звернення: 16.06.2025).

62. Google Workspace. Collaborative documents and spreadsheets. 2024. URL: <https://workspace.google.com> (дата звернення: 16.06.2025).

63. Autodesk. Revit BIM Software. 2024. URL: <https://www.autodesk.com/products/revit> (дата звернення: 16.06.2025).

64. Matterport / MagicPlan / CubiCasa. Mobile scanning solutions. 2024. URL: <https://matterport.com> | <https://magicplan.app> | <https://www.cubi.casa> (дата звернення: 16.06.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1 – Опитувальник для отримання загальних даних

Частина 1 - Загальна інформація про об'єкт (Оцінка можливості реалізації СЕС)					
№	Найменування	Поле для заповнення	Од. виміру	Пріоритет	Примітки
1	Назва об'єкту		-	Обов'язково	Впливає на укладання договору
2	Контактні дані замовника		-	Обов'язково	Для зворотнього зв'язку
3	Адреса об'єкта (локація, координати, геомітка)		-	Обов'язково	Для попереднього аналізу карт сонячного випромінювання
4	Тип об'єкта (Житловий будинок, комерційне приміщення, промисловий об'єкт, тощо)		-	Обов'язково	Впливає на типові навантаження та вимоги до СЕС
5	Тип підключення (1 або 3 фази)		1/3	Обов'язково	Впливає на вибір інвертора та схему підключення
6	Дозволена потужність згідно договору розподілу		кВт	Обов'язково	Ключовий показник для визначення максимальної потужності СЕС
7	Тип СЕС (мережева, гібридна)		-		Впливає на складність реалізації
8	Спосіб встановлення СЕС (дахова, наземна)		-		Впливає на к-ть матеріалів та загальну вартість
9	Мета встановлення СЕС ("Зелений тариф", власне споживання, резервне живлення)		Так/Ні		Впливає на схему підключення
10	Власне бачення бажаної потужності		кВт		

Таблиця Б.1 – Опитувальник для отримання загальних даних

Частина 2 - Детальне обстеження (Після підтвердження інтересу та отримання авансу)				
№	Найменування	Опис / Що перевіряємо	Метод / Інструмент	Примітки
1	Детальні розміри даху / ділянки (план)	Довжина, ширина скату / площі	Лазерний далекомір, рулетка	Точні розміри для планування розташування панелей
2	Наявність ввідного автомату, його номінал	Перевірка відповідності дозволених потужності	Візуальний огляд	Важливо для підключення інвертора
3	Однолінійна схема під'єднання	Документ	Документи замовника, запит до РЕМ	Підтвердження даних з попереднього обстеження
4	Дані про споживання електроенергії за останній рік	Щомісячні дані з рахунків	Документи замовника, фото рахунків	Ключовий показник для економічного обґрунтування
5	Тип лічильника	Однотарифний, багатотарифний (день/ніч), тип обліку	Візуальний огляд	Для коректного розрахунку генерації та споживання
6	Наявність системи АСКОЕ	Автоматизована система комерційного обліку	Візуальний огляд, запит до РЕМ	Важливо для перспективи продажу електроенергії
7	Наявність "нічного" тарифу	Для гібридних систем або систем з накопиченням	Рахунки, договір з РЕМ	Може впливати на економіку зберігання енергії
8	Типові навантаження	Наявність енергоємних приладів	Опитування замовника	Допомагає зрозуміти профіль споживання
9	Тип заземлення та його наявність	Візуальний огляд, перевірка схеми заземлення	Візуальний огляд, вимірювач опору заземлення (за необхідності)	Обов'язкова вимога для безпеки СЕС
10	Ризики затінення	Розміщення масивних об'єктів неподалік встановлення ФЕМ	Візуальний огляд, рулетка, лазерний далекомір	Висота та відстань до сусідніх будівель, дерев, стовпів.
11	Розташування головного ввідного щитка	Відстань до місця встановлення інвертора, даху	Лазерний далекомір, рулетка	Для розрахунку довжини кабельних трас
12	Наявність вільного місця для інвертора, щитової, кабельних трас	Для встановлення інвертора, автоматики, лічильника	Рулетка, лазерний далекомір, візуальний огляд	Важливо для правильного розміщення обладнання
13	Наявність телекомунікаційного зв'язку (інтернет)	Для моніторингу роботи СЕС	Наявність роутера, покриття Wi-Fi/LAN	Важливо для віддаленого контролю
14	Стан електропроводки від вводу до споживачів	Візуальна оцінка на предмет зносу, перевантажень	Візуальний огляд	Забезпечення безпеки
15	Можливість прокладки кабельних трас	Від даху до інвертора, від інвертора до головного щитка	Візуальний огляд маршруту, оцінка перешкод	Оптимізація довжини кабелів, вибір способу прокладки
16	Плани щодо збільшення / зменшення споживання	Наприклад, встановлення електроопалення, електромобіля	Опитування замовника	Важливо для довгострокового планування

Таблиця В.1 – Опитувальник для отримання даних під час встановлення ФЕМ на плоскому типі покрівлі

Дахова станція (у випадку встановлення конструкцій на плоский тип покрівлі)				
№	Найменування	Опис / Що перевіряємо	Метод / Інструмент	Примітки
1	Вік та стан покрівлі	Оцінка цілісності, наявності пошкоджень, ознак зносу	Візуальний огляд, фотофіксація	Якщо покрівля потребує ремонту, це може бути додатковою послугою
2	Матеріал покрівлі	Детальний огляд стану та типу матеріалу	Візуальний огляд, фотофіксація	Для підбору кріпильних елементів та оцінки навантаження
3	Орієнтація даху / скатів	Точне вимірювання азимута	Компас, GPS-пристрій, програма на смартфоні	Важливо для розрахунку генерації
4	Розміри та розташування димоходів, вентканалів	Висота, ширина, довжина, відстань від країв даху та один від одного	Рулетка, лазерний далекомір	Враховуються при компонуванні панелей
5	Надбудови на даху	Антенні конструкції, вентиляційні шахти, ліфтові надбудови, парапети	Рулетка, фотофіксація	Можуть створювати затінення або обмежувати площу
6	Затінення від зовнішніх об'єктів	Висота та відстань до сусідніх будівель, дерев, стовпів	Лазерний далекомір, дрон, інструменти для моделювання затінення	Ключовий фактор для розрахунку генерації
7	Висота парапетів	Вимірювання висоти парапетів	Рулетка	Можуть створювати затінення, особливо для низько розташованих панелей
8	Розташування технологічного обладнання	Вентканали, кондиціонери, чиллери, димові труби	Рулетка, фотофіксація	Для оптимального розміщення сонячних панелей
9	Наявність та розміри експлуатованих ділянок	Тераси, зони відпочинку	Візуальний огляд, рулетка	Необхідно залишити вільний простір
10	Наявність дренажних систем, воронок	Розташування та кількість	Візуальний огляд	Важливо для збереження цілісності покрівлі

Таблиця Г.1 – Опитувальник для отримання даних під час встановлення ФЕМ на скатному типі покрівлі

Дахова станція (у випадку встановлення конструкцій на скатний тип покрівлі)				
№	Найменування	Опис / Що перевіряємо	Метод / Інструмент	Примітки
1	Кут нахилу скатів (для скатних дахів)	Вимірювання кута нахилу кожного скату	Кутомір, інклінометр на смартфоні	Впливає на продуктивність СЕС
2	Орієнтація даху / скатів	Точне вимірювання азимута	Компас, GPS-пристрій, програма на смартфоні	Важливо для розрахунку генерації
3	Матеріал покрівлі	Детальний огляд стану та типу матеріалу	Візуальний огляд, фотофіксація	Для підбору кріпильних елементів та оцінки навантаження
4	Крок несучих конструкцій, крок балок	Детальний огляд несучих конструкцій, вимір кроку між балками	Візуальний огляд, фотофіксація, лазерний далекомір, рулетка	Для правильно розрахунку кількості кріплень
5	Розміри та розташування димоходів, вентканалів	Висота, ширина, довжина, відстань від країв даху та один від одного	Рулетка, лазерний далекомір	Враховуються при компонуванні панелей
6	Наявність снігозатримувачів	Якщо є, їх розташування та вплив на монтаж	Візуальний огляд	Враховувати при плануванні
7	Наявність та розміри мансардних вікон, люків	Місцезнаходження, розміри	Рулетка	Необхідно обійти при монтажі
8	Розташування водостічних систем	Жолоби, труби	Візуальний огляд	Важливо для прокладки кабелів та монтажу конструкцій

Таблиця Г.1 – Опитувальник для отримання даних під час встановлення ФЕМ наземного типу

Наземна станція (у випадку встановлення конструкцій на ґрунт)				
№	Найменування	Опис / Що перевіряємо	Метод / Інструмент	Примітки
1	Точні розміри ділянки / доступної площі	Довжина, ширина, форма	GPS-пристрій, дрон, геодезичний план	Для оптимального розміщення наземних конструкцій
2	Рельєф ділянки	Наявність ухилів, нерівностей	Візуальний огляд, нівелір (за необхідності)	Впливає на вибір типу конструкцій та обсяг земляних робіт
3	Наявність геодезичної та геологічної зйомки	Глина, пісок, чорнозем, скельні породи	Опитування, візуальний огляд, пробне буріння (за необхідності)	Впливає на тип фундаментів для наземних конструкцій
4	Рівень ґрунтових вод	Наявність вологи, заболоченості	Опитування, візуальний огляд	Важливо для вибору фундаментів та дренажних систем
5	Наявність та розташування дерев, кущів	Висота, ширина крони, відстань до ділянки	Рулетка, лазерний далекомір	Можуть створювати затінення
6	Сусідні будівлі, споруди	Висота, відстань	Лазерний далекомір	Можуть створювати затінення
7	Наявність комунікацій (підземних, надземних)	Електрокабелі, водопровід, каналізація, газопровід	Технічна документація, трасошукач (за необхідності)	Важливо для безпеки та планування земляних робіт
8	Доступ до ділянки	Можливість під'їзду техніки	Візуальний огляд	Для доставки матеріалів та обладнання

Таблиця Д.1 – Опитувальник для отримання даних від замовника

Частина 3 - Документи та інформація, що має надати замовник				
№	Найменування	Поле для заповнення	Пріоритет	Примітки
1	Паспорт та ІПН власника (для фізичної особи)		Обов'язково	Для укладання договорів та здачі об'єкту
2	Витяг з ЄДРПОУ, статут (для юридичної особи)		Обов'язково	
3	Право власності на будинок / земельну ділянку		Обов'язково	Підтвердження законності встановлення СЕС.
4	Технічний паспорт на будинок			Містить інформацію про площу, рік побудови, матеріал стін, даху.
5	Договір про постачання електричної енергії		Обов'язково	Для здачі в експлуатацію об'єкта будівництва
6	Договір про розподіл електричної енергії		Обов'язково	Містить інформацію про дозволена потужність, тарифи, тип підключення
7	Акт розмежування балансової належності електричних мереж та експлуатаційної відповідальності сторін			Визначає межі відповідальності між споживачем та енергопостачальною компанією.
8	Проект електропостачання (якщо є)			Містить схеми, номінали обладнання
9	Добовий графік споживання електроенергії (за наявності АСКОЕ)			Для аналізу профілю споживання та розрахунку окупності.
10	Рахунки за спожиту електроенергію за останні 12 місяців (за відсутності АСКОЕ)			
11	Плани щодо майбутнього споживання електроенергії			

Додаток Е

Таблиця Е.1 – Оцінка точності та впливу вхідних даних на проєктні рішення

№	Параметр	Джерело	Клас точності / Похибка	Вплив на проєкт	Рішення
1	Площа покрівлі	Вимірювання рулеткою (клас 3)	$\pm 2\%$ ($\approx 0,4 \text{ м}^2$ на 20 м^2)	Високий — визначає кількість панелей	Уточнити: застосувати лазерний далекомір
2	Кут нахилу скатного даху	Візуальна оцінка	Неточна, без інструменту	Середній — впливає на продуктивність	Тимчасово прийняти , з уточненням при монтажі
3	Наявність вентиляційних шахт	Фотофіксація + візуальний огляд	Якісна оцінка	Високий — визначає зони монтажу	Використовувати
4	Дані лічильника споживання	Щомісячна фіксація (без архіву)	Умовна — середньодобове значення	Високий — впливає на підбір інвертора	Уточнити або обмежити навантаження запасом
5	Орієнтація даху по сторонам світу	За компасом смартфона	$\pm 5\text{--}10^\circ$	Середній — впливає на генерацію	Використовувати , з приміткою про похибку
6	Відстань до точки підключення	Вимір лазерним далекоміром	$\pm 2 \text{ мм}$ на 10 м	Високий — впливає на довжину кабелю	Використовувати
7	План будівлі від замовника	PDF без масштабу	Не визначено	Середній — уточнення зон монтажу	Використовувати з перевіркою (частково)
8	Тип покриття покрівлі	Огляд на місці	Висока якість визначення	Високий — визначає тип кріплень	Використовувати
9	Висота парапету	Оцінка «на око»	$\pm 15\text{--}20 \text{ см}$	Середній — впливає на вітрове навантаження	Тимчасово прийняти , за потреби уточнити
10	Тіньові зони	Фотофіксація + усні пояснення	Умовна (без розрахунку)	Високий — впливає на ефективність	Потребує моделювання або повторного обстеження