

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 620.9

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Олена БОРИЧЕНКО

«  »    20   р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

освітня програма Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «Підвищення рівня енергетичної ефективності підприємства за рахунок встановлення сонячної електростанції»

Виконав: студент II курсу, групи ГН-41мп

Волошин Дмитро Сергійович

( прізвище, ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Прокопенко В.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль провідний інженер Прокопенко І.Д.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент к.т.н., доц. ІАТЕ Шкляр В.І.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

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

Студент (-ка) Волошин Д.С.

Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

(повна назва)

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

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

Завідувач кафедри

Олена БОРИЧЕНКО

«   »                      2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Волошина Дмитра Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Підвищення рівня енергетичної ефективності підприємства за рахунок встановлення сонячної електростанції»

науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Прокопенко В.В. \_\_\_\_\_,

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

затверджені наказом по університету від 03 листопада 2025 р. №4749-с

2. Строк подання студентом дисертації 17 грудня 2025 року

3. Об'єкт дослідження: процеси споживання та перетворення електричної енергії в системі електропостачання промислового підприємства в умовах впровадження розподіленої генерації.

4. Предмет дослідження: сукупність технічних засобів, методів та економічних моделей підвищення енергетичної ефективності підприємства шляхом інтеграції мережевої сонячної електростанції.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналіз існуючої системи електропостачання та графіків навантаження підприємства, вибір основного обладнання та параметрів СЕС, моделювання генерації та електротехнічні розрахунки, розрахунок техніко-економічних показників проекту, розробка стартап-проекту впровадження СЕС як внутрішнього активу підприємства.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація, графіки, схема розташування фотоелектричних модулів, діаграми.
7. Орієнтовний перелік публікацій “Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS 2025”
8. Консультанти розділів дисертації  
*Нормоконтроль* *Прокопенко І.Д.*
9. Дата видачі завдання 01 вересня 2025 року

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Отримання завдання на виконання дисертації	01.09.25	Виконано
2	Опрацювання літературних джерел	02.09.25 - 15.09.25	Виконано
3	Робота над першим розділом	20.09.25 - 05.10.25	Виконано
4	Робота над другим розділом	15.10.25 - 30.10.25	Виконано
5	Робота над третім розділом	30.10.25 – 10.11.25	Виконано
6.	Робота над четвертим розділом	10.11.25 – 20.11.25	Виконано
7.	Підготовка стартап-проекту	20.11.25 – 05.12.25	Виконано
8.	Оформлення дисертації, підготовка презентації, проходження перевірки на плагіат	10.12.25 – 17.12.25	Виконано
9.	Передзахист магістерської дисертації	17.12.25	Виконано
10.	Захист магістерської дисертації	22.12.25 – 25.12.25	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Волошин Д.С.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

Прокопенко В.В.

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків та додатків. Загальний обсяг роботи – 100 сторінок. У роботі міститься 18 рисунків, 13 таблиць. Список використаних джерел включає 19 найменувань та 5 додатків.

**Актуальність теми.** В умовах дефіциту генеруючих потужностей, зростання вартості електроенергії та глобального тренду на декарбонізацію, питання підвищення енергетичної ефективності промислових підприємств набуває стратегічного значення. Для енергоємних виробництв, зокрема олійно-жирової галузі, впровадження власних генеруючих потужностей на базі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є ефективним інструментом зменшення собівартості продукції, хеджування ризиків зростання тарифів та забезпечення енергетичної безпеки.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення рівня енергетичної ефективності підприємства шляхом обґрунтування доцільності та розробки проекту встановлення власної сонячної електростанції (СЕС) для заміщення частини споживання із зовнішньої мережі. Для досягнення мети вирішено наступні завдання: проведено аналіз енергоспоживання підприємства; оцінено потенціал сонячної інсоляції; здійснено вибір основного обладнання; проведено імітаційне моделювання генерації у ПЗ PVsyst та електротехнічні розрахунки сумісності обладнання; розроблено фінансову модель проекту.

**Об'єкт дослідження.** процеси споживання та перетворення електричної енергії в системі електропостачання промислового підприємства в умовах впровадження розподіленої генерації.

**Предмет дослідження.** сукупність технічних засобів, методів та економічних моделей підвищення енергоефективності підприємства шляхом інтеграції мережевої сонячної електростанції.

**Методи дослідження.** У роботі використано методи статистичного аналізу (для обробки графіків навантаження), математичного та імітаційного

моделювання (у середовищі PVsyst для прогнозування генерації), методи інвестиційного аналізу (NPV, IRR, PP) для оцінки економічної ефективності.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у подальшому розвитку методичних підходів до обґрунтування параметрів СЕС для власних потреб промислових підприємств, що враховують специфіку графіків навантаження та можливості механізму «активного споживача».

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено комплексне інженерне рішення щодо будівництва СЕС потужністю 1,8 МВт на базі фотомодулів Trina Solar та інверторів Huawei. Підтверджено технічну надійність системи та розраховано її окупність, що дозволяє керівництву підприємства прийняти обґрунтоване інвестиційне рішення.

**Апробація результатів.** “Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS 2025”

**Публікації.** “Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS 2025”

**Ключові слова:** ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, PVSYST, ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ МОДУЛЬ, ІНВЕРТОР, ВЛАСНЕ СПОЖИВАННЯ, АКТИВНИЙ СПОЖИВАЧ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.

## ABSTRACT

**Structure and scope of work.** The Master's thesis consists of an introduction, 5 chapters, conclusions, and appendices. The total volume of the work is 100 pages. The thesis contains 18 figures and 13 tables. The list of references includes 19 sources and 5 appendices.

**Topicality of the theme.** Under conditions of generating capacity deficit, rising electricity costs, and the global decarbonization trend, improving the energy efficiency of industrial enterprises is of strategic importance. For energy-intensive industries, implementing distributed generation based on renewable energy sources (RES) serves as an effective tool for reducing production costs, hedging against tariff growth risks, and ensuring energy security.

**The aim of the study.** The aim of the study is to enhance the enterprise's energy efficiency level by justifying the feasibility and developing a project for the installation of an on-grid solar power plant (SPP) to substitute part of the consumption from the external grid. To achieve this goal, the following tasks were solved: analysis of the enterprise's energy consumption; assessment of solar insolation potential; selection of main equipment; simulation modeling of generation in PVsyst software and electrical engineering calculations of equipment compatibility; development of the project's financial model.

**The object of study.** The processes of electrical energy consumption and conversion in the power supply system of an industrial enterprise under the conditions of distributed generation implementation.

**The subject of study.** The set of technical means, methods, and economic models for increasing energy efficiency through the integration of a grid-tied solar power plant.

**Research methods.** The study employs statistical analysis methods (for processing load graphs), mathematical and simulation modeling (in the PVsyst environment for generation forecasting), and investment analysis methods (NPV, IRR, PP) to assess economic efficiency.

**Scientific novelty of the results** lies in the further development of methodological approaches to justifying SPP parameters for the internal needs of

industrial enterprises, taking into account the specifics of load profiles and the "active consumer" mechanism capabilities.

**The practical value of the results.** A comprehensive engineering solution has been developed for the construction of a solar power plant based on Trina Solar photovoltaic modules and Huawei inverters. The technical reliability of the system has been confirmed through electrical calculations, and its payback period has been determined, allowing the enterprise management to make a well-grounded investment decision.

**Approval of the results.** “Energy Management: State and Prospects of Development – PEMS 2025”

**Publications.** “Energy Management: State and Prospects of Development – PEMS 2025”

**Keywords.** ENERGY EFFICIENCY, SOLAR POWER PLANT, PVSYST, PHOTOVOLTAIC MODULE, INVERTER, SELF-CONSUMPTION, ACTIVE CONSUMER, FEASIBILITY STUDY.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	11
<b>РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВАХ</b> .....	15
<b>1.1. Енергетична ефективність підприємств: сутність, показники та методи оцінки</b> .....	15
<b>1.2. Загальні принципи роботи сонячних електростанцій: класифікація, основні елементи та їх функції</b> .....	17
<b>1.3. Аналіз світового та вітчизняного досвіду впровадження СЕС на промислових об'єктах</b> .....	21
<b>1.4. Правові та нормативні аспекти функціонування СЕС в Україні, механізм «Активний споживач»</b> .....	25
<b>Висновки до розділу 1</b> .....	28
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВСТАНОВЛЕННЯ СЕС НА ПІДПРИЄМСТВІ</b> .....	30
<b>2.1. Оцінка енергоспоживання та профілю навантажень досліджуваного підприємства</b> .....	30
<b>2.2. Аналіз потенціалу сонячної інсоляції та вибір місця розташування СЕС</b> .....	32
<b>2.3. Порівняння ефективності розташування панелей за орієнтаціями: південь та схід-захід</b> .....	34
<b>2.4. Вибір та обґрунтування технічних параметрів основного обладнання</b> .....	37
<b>2.5. Електротехнічні розрахунки та обґрунтування вибору елементів системи</b> .....	44
<b>2.6. Технічний аналіз роботи інверторів: сутність, доцільність та ризики перевантаження</b> .....	49
<b>Висновки до розділу 2</b> .....	52
<b>РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВСТАНОВЛЕННЯ СЕС НА ПІДПРИЄМСТВІ</b> .....	54
<b>3.1. Методичні підходи до економічної оцінки інвестиційних проєктів у сфері енергетики</b> .....	54
<b>3.2. Розрахунок капітальних інвестицій та експлуатаційних витрат проєкту</b> .....	56

3.3. Фінансова модель встановлення СЕС: оцінка окупності та прибутковості.....	59
3.4. Оцінка підвищення рівня енергетичної ефективності підприємства після впровадження СЕС .....	65
Висновки до розділу 3.....	67
<b>РОЗДІЛ 4 ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ .....</b>	<b>69</b>
4.1. Аналіз ризиків та чутливості інвестиційного проєкту.....	69
4.2. Розробка рекомендацій щодо подальшої модернізації системи енергопостачання.....	71
4.3. Оцінка впливу СЕС на енергетичну незалежність та екологічні показники підприємства .....	73
Висновки до розділу 4.....	74
<b>РОЗДІЛ 5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ .....</b>	<b>76</b>
5.1. Опис ідеї проєкту .....	76
5.2. Технологічний аудит ідеї проєкту .....	78
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	79
5.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту .....	82
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту .....	85
Висновки до розділу 5.....	87
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>88</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>92</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>94</b>

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСКОЕ — Автоматизована система комерційного обліку електроенергії

ВДЕ — Відновлювані джерела енергії

ДІАМ — Державна інспекція архітектури та містобудування України

КТП — Комплектна трансформаторна підстанція

ККД — Коефіцієнт корисної дії

ЛЕП — Лінія електропередачі

ОЕС — Об'єднана енергетична система України

РДН — Ринок «на добу наперед»

СЕС — Сонячна електростанція

AC (Alternating Current) — Змінний струм

BESS (Battery Energy Storage System) — Система накопичення енергії

CAPEX (Capital Expenditure) — Капітальні витрати

CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) — Механізм вуглецевого коригування імпорту

DC (Direct Current) — Постійний струм

ESG (Environmental, Social, and Governance) — Екологічне, соціальне та корпоративне управління

IRR (Internal Rate of Return) — Внутрішня норма рентабельності

LCOE (Levelized Cost of Electricity) — Нормована вартість електроенергії

NPV (Net Present Value) — Чиста приведена вартість

OPEX (Operating Expenditure) — Операційні (експлуатаційні) витрати

PI (Profitability Index) — Індекс рентабельності інвестицій

PP (Payback Period) — Термін окупності

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується стрімким зростанням попиту на енергетичні ресурси, що на тлі вичерпності викопного палива та загострення екологічних проблем зумовлює необхідність фундаментальної трансформації існуючих моделей енергозабезпечення. В умовах глобальних кліматичних змін та прагнення міжнародної спільноти до декарбонізації промислового сектору, питання підвищення енергетичної ефективності виробничих підприємств набуває статусу пріоритетного завдання стратегічного характеру.

Для України, яка перебуває в умовах жорсткого дефіциту генеруючих потужностей та постійного зростання вартості електроенергії для непобутових споживачів, впровадження відновлюваних джерел енергії стає не лише питанням екологічної відповідальності, але й ключовим фактором виживання та збереження конкурентоспроможності бізнесу. Особливої гостроти ця проблема набуває для підприємств агропромислового комплексу та харчової промисловості, частка енерговитрат у собівартості продукції яких є критично високою.

Встановлення власних сонячних електростанцій дозволяє таким підприємствам не лише суттєво зменшити залежність від зовнішніх постачальників електроенергії та хеджувати ризики зростання тарифів, але й брати участь у новітніх моделях енергоринку, зокрема виступаючи в ролі активних споживачів. У цьому контексті дослідження техніко-економічних аспектів інтеграції фотоелектричних систем у систему електропостачання конкретного промислового об'єкта є своєчасним та вкрай актуальним завданням, вирішення якого сприятиме посиленню енергетичної безпеки як окремого суб'єкта господарювання, так і держави в цілому.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення рівня енергетичної ефективності підприємства з виробництва олії та тваринних жирів шляхом обґрунтування доцільності та розробки проекту встановлення

власної сонячної електростанції для заміщення частини споживання електроенергії з мережі.

Досягнення поставленої мети передбачає необхідність вирішення комплексу взаємопов'язаних завдань, які полягають у проведенні детального аналізу існуючого стану системи електропостачання досліджуваного підприємства та виявленні резервів енергозбереження. Наступним кроком є дослідження потенціалу сонячної інсоляції в регіоні розташування об'єкта та визначення оптимальних параметрів розміщення фотоелектричних модулів з урахуванням наявних площ.

Важливим етапом роботи виступає вибір основного електротехнічного обладнання сонячної електростанції, включаючи сонячні панелі, інверторне обладнання та захисні пристрої, з подальшим комп'ютерним моделюванням генерації. Ключовим завданням також є виконання техніко-економічного розрахунку, що включає побудову фінансової моделі проєкту, оцінку показників інвестиційної привабливості, термінів окупності та аналіз чутливості проєкту до зміни зовнішніх факторів, а також оцінка впливу впроваджених заходів на екологічні показники діяльності підприємства.

**Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження є процеси споживання та перетворення електричної енергії в системі електропостачання підприємства з виробництва олії та тваринних жирів в умовах впровадження розподіленої генерації на базі відновлюваних джерел енергії.

**Предмет дослідження.** Предметом дослідження є сукупність технічних засобів, методів та економічних моделей підвищення енергетичної ефективності промислового підприємства шляхом інтеграції мережевої сонячної електростанції для власного споживання.

**Методи дослідження.** У роботі використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження, вибір яких обумовлений специфікою поставлених завдань. Зокрема, для оцінки сучасного стану енергетики та технологій використано методи аналізу та синтезу науково-технічної

інформації. Дослідження графіків навантаження підприємства та потенціалу сонячної радіації проведено із застосуванням статистичних методів обробки даних.

Вибір та обґрунтування параметрів обладнання здійснено на основі методів порівняльного аналізу та математичного моделювання режимів роботи енергетичних систем. Оцінка економічної ефективності проєктних рішень базується на методах інвестиційного аналізу, дисконтування грошових потоків та сценарного моделювання фінансових показників.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна роботи полягає у подальшому розвитку методичних підходів до обґрунтування параметрів сонячних електростанцій для власних потреб промислових підприємств з урахуванням специфіки графіків навантаження виробничих ліній олійно-жирової галузі.

Удосконалено алгоритм вибору оптимальної орієнтації фотоелектричних модулів, який, на відміну від існуючих, враховує не лише максимізацію річного виробітку, але й ступінь синхронізації генерації з піками споживання підприємства для мінімізації перетоків енергії в зовнішню мережу. Також набули подальшого розвитку методи оцінки економічної ефективності проєктів відновлюваної енергетики в умовах нестабільного енергоринку України з урахуванням можливостей механізму активного споживача.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практична цінність роботи полягає у розробці комплексного інженерного рішення щодо встановлення сонячної електростанції на базі ТОВ «ККЗ», яке повністю адаптоване до реальних умов експлуатації та готове до впровадження. Запропоновані технічні рішення та обране обладнання дозволяють підприємству замінити значну частину споживання електроенергії з мережі власною генерацією, що призведе до суттєвого зниження операційних витрат та собівартості готової продукції.

Результати фінансового моделювання підтверджують економічну доцільність інвестицій та можуть бути використані керівництвом підприємства для прийняття управлінських рішень щодо модернізації системи енергозабезпечення, а також слугувати основою для залучення кредитного фінансування.

## **РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВАХ**

### **1.1. Енергетична ефективність підприємств: сутність, показники та методи оцінки**

Енергетична ефективність у сучасному науково-технічному дискурсі розглядається як одна з ключових характеристик функціонування промислових систем, що відображає ступінь раціональності використання паливно-енергетичних ресурсів на всіх стадіях виробничого циклу. Під сутністю енергетичної ефективності слід розуміти досягнення економічно виправданої ефективності використання енергетичних ресурсів при існуючому рівні розвитку техніки та технологій і дотриманні вимог до охорони навколишнього природного середовища [4]. У більш вузькому, прикладному значенні для промислового підприємства, це відношення кількості виробленої продукції, виконаних робіт або наданих послуг до кількості витраченої на це енергії. Підвищення рівня енергоефективності є складним, багатофакторним процесом, який не обмежується лише технічною модернізацією обладнання, а включає в себе комплекс організаційних, економічних та управлінських заходів, спрямованих на оптимізацію енергоспоживання.

В умовах ринкової економіки енергетична складова собівартості продукції стає критичним фактором конкурентоспроможності. Для підприємств харчової та переробної промисловості, де технологічні процеси часто пов'язані зі значними витратами теплової та електричної енергії на процеси нагрівання, охолодження, сушіння та механічної обробки сировини, питання зниження питомих енерговитрат набуває першочергового значення. Енергоефективність тут виступає не просто як технічний показник, а як індикатор загальної технологічної культури виробництва та якості менеджменту. Важливо зазначити, що поняття енергоефективності тісно пов'язане з поняттям енергозбереження, проте не є тотожним йому. Якщо енергозбереження передбачає будь-які дії, спрямовані на зменшення

споживання енергії, іноді навіть за рахунок зниження комфорту або обсягів виробництва, то енергоефективність фокусується саме на збереженні або збільшенні корисного результату при зменшенні енергетичних витрат.

Оцінка рівня енергетичної ефективності підприємства базується на системі показників, які можна класифікувати на абсолютні та відносні. Абсолютні показники характеризують загальне споживання паливно-енергетичних ресурсів підприємством за певний період часу в натуральному або грошовому виразі. Однак для аналітичних цілей та порівняння ефективності роботи підприємства в динаміці найбільш інформативними є відносні показники, ключовим з яких є показник енергоємності продукції. Енергоємність визначається як відношення загальних витрат енергії на випуск певного обсягу продукції до вартості або кількості цієї продукції. Зниження енергоємності свідчить про підвищення ефективності використання ресурсів. Крім того, для поглибленого аналізу використовуються такі показники, як коефіцієнт корисного використання енергії, частка енерговитрат у собівартості продукції, а також питомі витрати енергії на окремі технологічні переділи або одиниці обладнання.

Методологічною основою для визначення потенціалу підвищення енергоефективності та розробки відповідних заходів є енергетичний аудит [14]. Це процедура обстеження енергогосподарства підприємства, яка дозволяє встановити фактичні параметри енергоспоживання, виявити джерела нераціональних втрат енергії та обґрунтувати техніко-економічну доцільність впровадження енергозберігаючих технологій. Сучасні стандарти, зокрема міжнародний стандарт ISO 50001 «Системи енергетичного менеджменту» [5], рекомендують переходити від епізодичних аудитів до впровадження постійно діючих систем енергетичного менеджменту. Такий підхід передбачає циклічний процес планування, впровадження, перевірки та коригування дій (цикл PDCA), що забезпечує безперервне покращення енергетичних показників підприємства.

Одним із найбільш перспективних шляхів підвищення енергетичної ефективності промислових підприємств на сучасному етапі є інтеграція в систему електропостачання власних генеруючих потужностей на базі відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій. Це дозволяє не лише зменшити обсяги споживання дороговартісної електроенергії із зовнішньої мережі, але й знизити навантаження на розподільчі мережі, підвищити надійність електропостачання та зменшити вуглецевий слід продукції. У контексті оцінки енергоефективності, заміщення покупної електроенергії власною «зеленою» генерацією розглядається як захід з підвищення первинної енергоефективності, оскільки коефіцієнт перетворення первинної енергії сонця в електричну відбувається безпосередньо на місці споживання [15], без втрат на транспортування та розподіл, які притаманні централізованим енергосистемам.

Таким чином, управління енергетичною ефективністю є комплексним завданням, яке вимагає системного підходу. Воно базується на детальному моніторингу споживання, аналізі технологічних процесів та впровадженні інноваційних технологій, серед яких використання сонячної енергетики займає одне з провідних місць. Впровадження сонячних електростанцій на промислових об'єктах слід розглядати не як окремий технічний захід, а як інтегральну складову стратегії сталого розвитку підприємства, спрямовану на довгострокове підвищення його економічної та енергетичної безпеки.

## **1.2. Загальні принципи роботи сонячних електростанцій: класифікація, основні елементи та їх функції**

Функціонування сонячних електростанцій базується на фізичному явищі фотоелектричного ефекту, який полягає у безпосередньому перетворенні енергії світлового потоку (фотонів) в електричну енергію постійного струму в напівпровідникових матеріалах (див. рис. 1.1) [9]. Цей процес відбувається на атомному рівні у фотоелектричних комірках, які є базовим елементом будь-

якої сонячної панелі. Схематично цей принцип можна представити як взаємодію світлового випромінювання з кристалічною решіткою кремнію. Коли сонячне світло потрапляє на поверхню напівпровідника, енергія фотонів передається електронам матеріалу, вивільняючи їх з атомних зв'язків та створюючи потік носіїв заряду. Завдяки наявності р-n переходу, цей рух стає впорядкованим, що призводить до виникнення різниці потенціалів та протікання електричного струму при підключенні навантаження. Ефективність цього перетворення залежить від багатьох факторів, серед яких ключовими є інтенсивність сонячної інсоляції, температура фотомодуля, спектральний склад випромінювання та властивості самого напівпровідникового матеріалу.

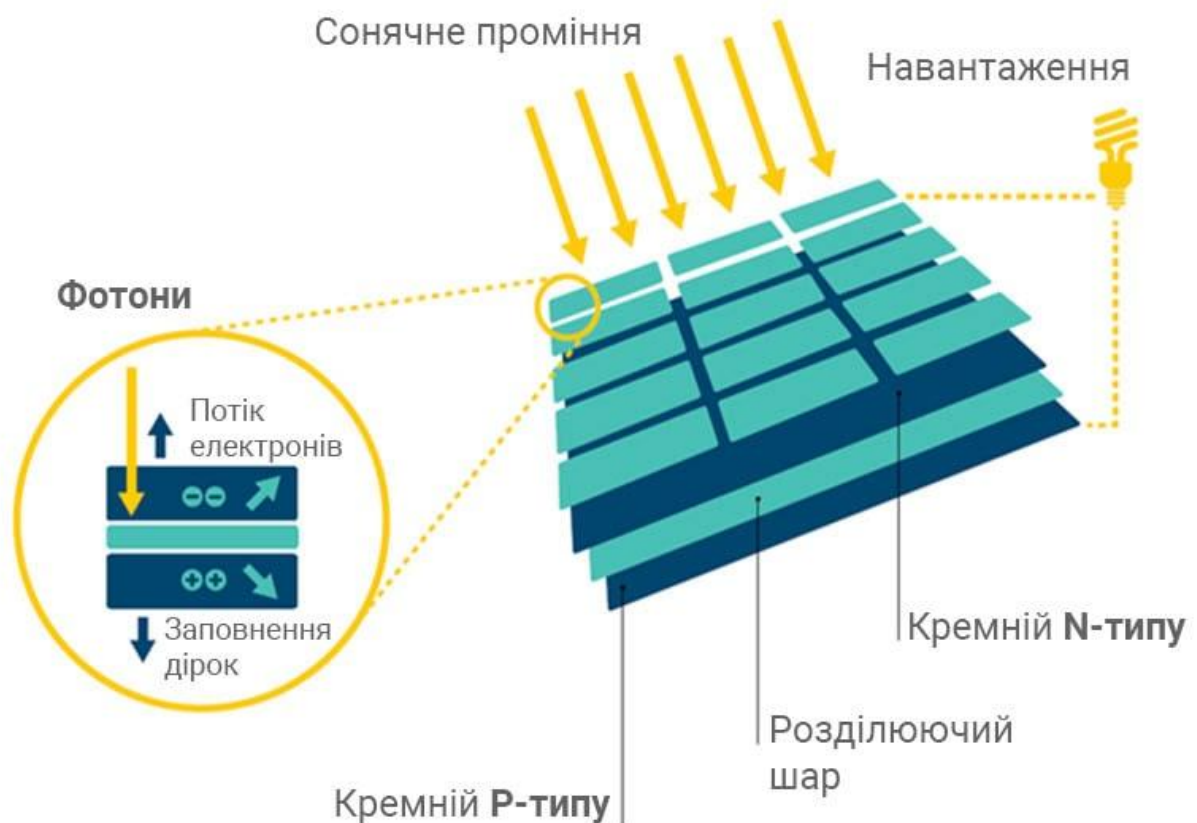


Рисунок 1.1 – Принцип роботи сонячного елемента

Класифікація сонячних електростанцій здійснюється за кількома критеріями, основним з яких є спосіб взаємодії із зовнішньою електричною мережею. За цим принципом виділяють три основні типи систем: автономні,

мережеві (див. рис. 1.2) та гібридні. Автономні системи (Off-grid) призначені для електропостачання об'єктів, які не мають підключення до централізованої мережі, і обов'язково включають акумуляторні батареї для накопичення енергії. Мережеві сонячні електростанції (On-grid), які є найбільш поширеними у промисловому секторі, працюють синхронно із зовнішньою мережею. Вони не потребують акумуляторів, оскільки вся вироблена енергія або споживається навантаженням підприємства в режимі реального часу, або передається в зовнішню мережу. Гібридні системи поєднують переваги обох типів, маючи можливість як працювати з мережею, так і забезпечувати резервне живлення від акумуляторів у разі аварійних відключень.

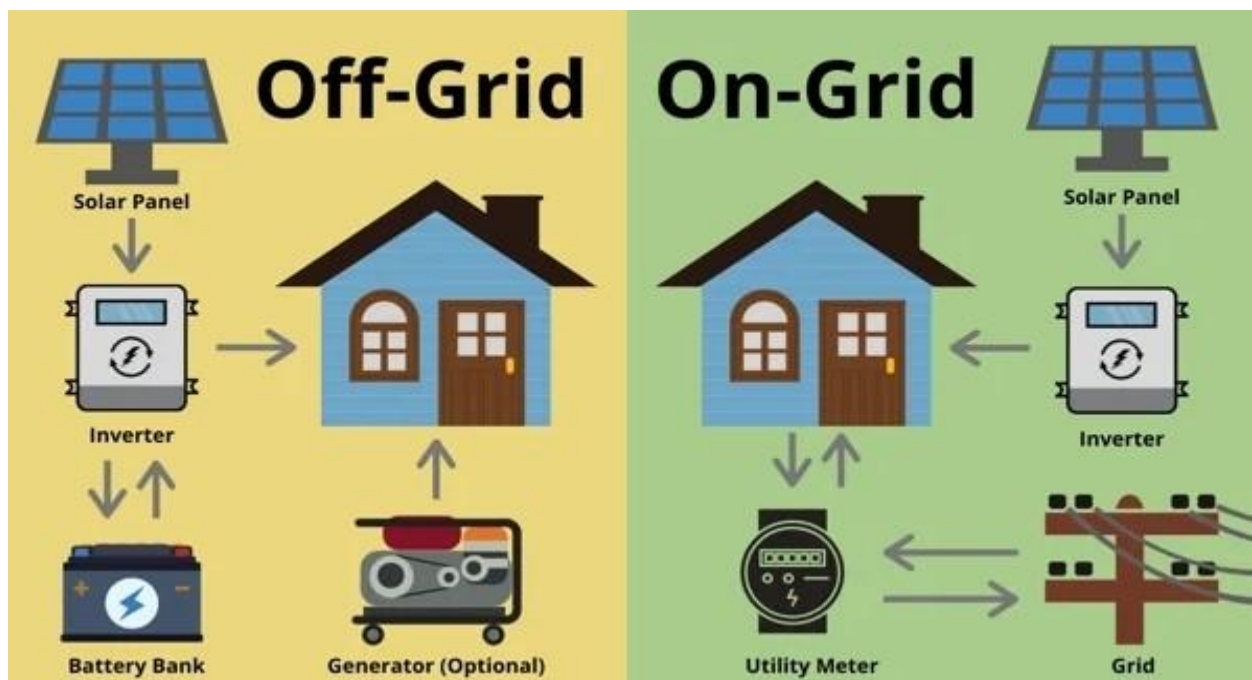


Рисунок 1.2 – Структурна схема мережевої (On-Grid) та автономної (Off-Grid) сонячної електростанції

Технічна структура сонячної електростанції складається з комплексу взаємопов'язаних елементів, кожен з яких виконує специфічну функцію. Основним генеруючим елементом є сонячні панелі (фотомодулі), які об'єднують безліч фотоелектричних комірок. Будова сучасного фотомодуля є багат шаровою конструкцією, що забезпечує захист крихких кремнієвих пластин від впливу зовнішнього середовища. На сучасному ринку домінують

панелі на основі кристалічного кремнію, які поділяються на монокристалічні та полікристалічні. Монокристалічні модулі, виготовлені з цільного кристала кремнію, характеризуються вищим коефіцієнтом корисної дії та кращою продуктивністю в умовах слабого освітлення. Останнім часом широкого розповсюдження набуває технологія Bifacial, що дозволяє додатково підвищити генерацію.

Критично важливим елементом системи є інвертор, який виконує функцію перетворення постійного струму (DC), що генерується сонячними панелями, у змінний струм (AC) з параметрами, відповідними до стандартів промислової мережі (частота 50 Гц, напруга 380 В). Окрім функції інвертування, сучасні пристрої оснащуються системами моніторингу та керування, зокрема технологією MPPT (Maximum Power Point Tracking). Ця технологія дозволяє в режимі реального часу відслідковувати точку максимальної потужності вольт-амперної характеристики фотомодулів, яка постійно змінюється залежно від освітленості та температури, забезпечуючи тим самим максимальну ефективність роботи станції. Інвертори також виконують захисну функцію, автоматично відключаючи станцію від мережі у випадку виходу параметрів напруги або частоти за допустимі межі.

До допоміжного, але не менш важливого обладнання, відносяться опорні металоконструкції, кабельно-провідникова продукція та захисна автоматика. Опорні конструкції забезпечують надійне кріплення фотомодулів та їх орієнтацію під необхідним кутом нахилу та азимутом для максимізації виробітку. Електрична обв'язка включає спеціальний сонячний кабель, стійкий до ультрафіолетового випромінювання, та щити захисту по стороні постійного і змінного струму, які містять запобіжники, автоматичні вимикачі та обмежувачі перенапруги для захисту дороговартісного обладнання від коротких замикань та атмосферних розрядів. Таким чином, сонячна електростанція є складним інженерно-технічним комплексом, ефективність якого залежить від узгодженості параметрів усіх його компонентів.

### **1.3. Аналіз світового та вітчизняного досвіду впровадження СЕС на промислових об'єктах**

Світовий досвід розвитку відновлюваної енергетики свідчить про те, що сонячна генерація стала одним з найбільш динамічних секторів глобальної економіки, демонструючи стабільне зростання встановлених потужностей (див. рис. 1.3) протягом останнього десятиліття. Глобальні кліматичні ініціативи, такі як Паризька угода та Європейський зелений курс, визначили стратегічний вектор переходу до низьковуглецевої економіки, де промисловим підприємствам відводиться ключова роль. У провідних країнах світу, зокрема в Німеччині, Китаї, США та Японії, інтеграція фотоелектричних систем у виробничі процеси вже давно перестала бути експериментальним напрямком і перетворилася на стандартну практику управління енергетичними активами. Аналіз статистичних даних Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії [8] показує, що частка розподіленої генерації, яка встановлюється безпосередньо на дахах або територіях промислових об'єктів, неухильно зростає, поступово витісняючи модель централізованих гігаватних станцій.

Характерною тенденцією останніх років у світовій практиці є зміна економічної моделі використання сонячних електростанцій. Якщо на початкових етапах розвитку галузі основним драйвером були державні субсидії та високі фіксовані тарифи, що стимулювали продаж всієї виробленої енергії в мережу, то сьогодні акцент змістився на власне споживання. Це зумовлено тим, що у багатьох країнах світу досягнуто мережевого паритету, коли нормована вартість електроенергії, отриманої від власної СЕС, стала нижчою за роздрібні тарифи енергопостачальних компаній. Великі транснаціональні корпорації активно укладають прямі договори на купівлю відновлюваної енергії, а також масово обладнують власні виробничі майданчики сонячними панелями, розглядаючи це як інструмент хеджування ризиків зростання цін на енергоносії. [7]

### Record 597 GW of global solar capacity added in 2024; slower but steady 33% annual growth

Annual solar PV installed capacity 2000-2024

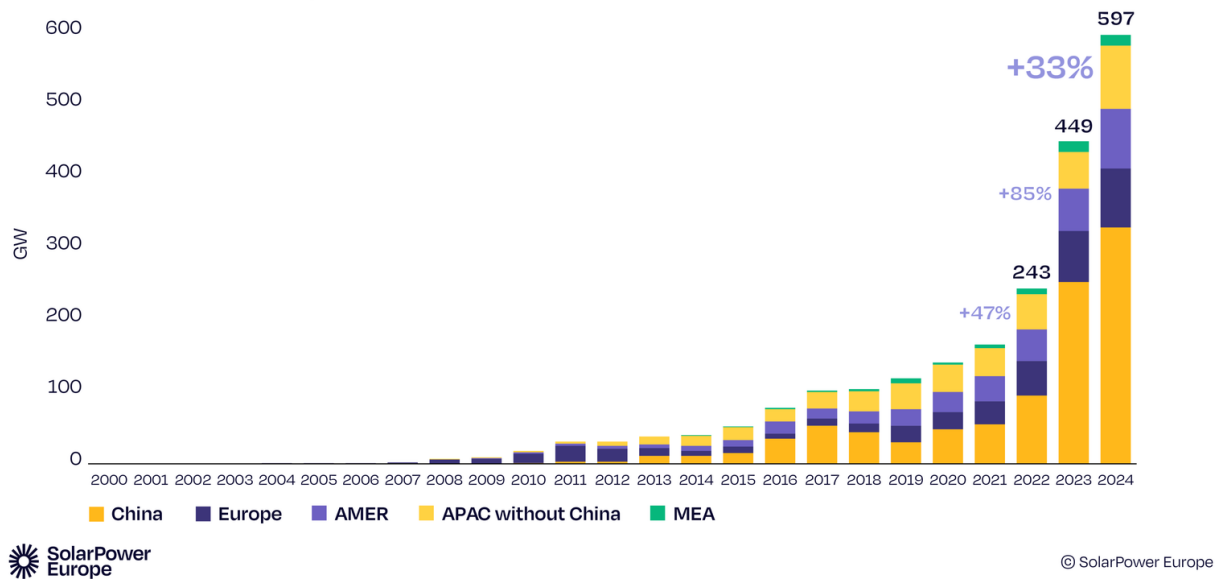


Рисунок 1.3 – Динаміка приросту встановленої потужності сонячної енергетики у світі за 2015–2024 роки

В Україні розвиток сонячної енергетики пройшов складний еволюційний шлях, який можна умовно поділити на кілька етапів. Перший етап характеризувався домінуванням великих наземних об'єктів, орієнтованих виключно на продаж електроенергії за «зеленим» тарифом, який був одним з найвищих у Європі. Це дозволило залучити значні інвестиції в галузь та створити потужний ринок інсталляторів та постачальників обладнання. Проте такий підхід мав і певні недоліки, створюючи дисбаланси в енергосистемі та значне фінансове навантаження на державного покупця, що згодом призвело до необхідності реформування галузі. Ситуація кардинально змінилася в останні роки, коли на тлі зростання ринкових цін на електричну енергію для непобутових споживачів український бізнес почав масово переорієнтовуватися на будівництво СЕС для власних потреб.

Сучасний стан впровадження СЕС на промислових підприємствах України характеризується високою інтенсивністю. Підприємства різних

галузей економіки, від металургії та машинобудування до харчової та легкої промисловості, розглядають встановлення сонячних станцій як безальтернативний шлях до зниження собівартості продукції. Специфіка вітчизняного ринку полягає в тому, що основною мотивацією для бізнесу стала не стільки екологічна свідомість, скільки жорстка економічна необхідність. В умовах, коли тарифи для юридичних осіб постійно зростають, термін окупності мережевих сонячних станцій без акумуляторів скоротився до показників у 3-5 років, що робить такі інвестиційні проєкти вкрай привабливими навіть в умовах економічної нестабільності.

Критичним фактором, що вплинув на ціноутворення та структуру енергоспоживання промислового сектору України, стала повномасштабна військова агресія та цілеспрямоване руйнування об'єктів критичної енергетичної інфраструктури. Аналіз динаміки індексів цін базового навантаження на ринку «на добу наперед» (РДН) в об'єднаній енергетичній системі України [18] за період з грудня 2019 року по листопад 2025 року, наочно демонструє трансформацію ринку. Якщо в період 2020–2021 років цінові коливання знаходились у відносно стабільному коридорі, то починаючи з другої половини 2023 року спостерігається стійкий висхідний тренд, що наочно продемонстровано на рис. 1.4. Графік чітко фіксує, що впродовж 2024 та особливо другої половини 2025 року ринок характеризується надзвичайно високою волатильністю з досягненням пікових значень ціни. Такі стрибки зумовлені дефіцитом внутрішньої генерації та необхідністю залучення аварійної допомоги та імпорту електроенергії з країн ЄС, ціна якої є значно вищою.

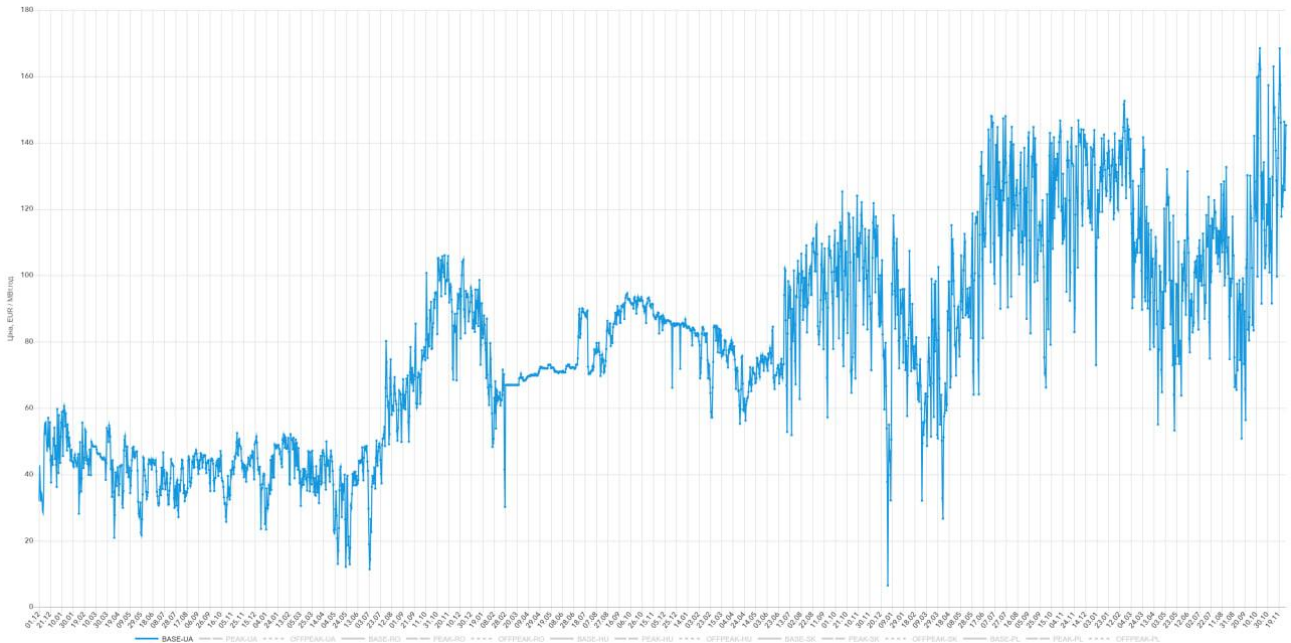


Рисунок 1.4 – Динаміка індексів цін на ринку «на добу наперед» (РДН) в ОЕС України (грудень 2019 – листопад 2025)

У таких умовах вартість кіловат-години для промислових споживачів стала вкрай чутливою до безпекової ситуації: кожна нова хвиля обстрілів, що виводить з ладу дешеву базову або маневрову генерацію, провокує черговий виток зростання цін через необхідність аварійної допомоги та імпорту. Для підприємств це означає неможливість довгострокового прогнозування операційних витрат та ризик втрати рентабельності. Саме тому встановлення власної сонячної електростанції розглядається вже не просто як засіб економії, а як єдиний доступний інструмент фіксації вартості електроенергії на рівні собівартості генерації на найближчі десятиліття, що дозволяє нівелювати вплив зовнішніх шоків факторів на економіку підприємства.

Особливу актуальність питання енергонезалежності набуло в контексті руйнувань енергетичної інфраструктури та періодичних відключень електропостачання. Хоча класичні мережеві СЕС не працюють без опорної напруги мережі, багато підприємств почали впроваджувати гібридні рішення або інтегрувати СЕС з дизельними генераторами. Така комбінація дозволяє суттєво економити дефіцитне та дороге дизельне паливо в періоди роботи в

автономному режимі, оскільки сонячна станція бере на себе частину навантаження в світлий час доби. Аналіз реалізованих проєктів показує, що найбільший ефект від впровадження СЕС отримують підприємства з добовим графіком роботи, пік споживання яких співпадає з піком сонячної активності. До таких підприємств, зокрема, відносяться об'єкти харчової промисловості, склади холодильного зберігання та торговельні центри.

Також варто відзначити розвиток ринку енергосервісу, який дозволяє підприємствам встановлювати сонячні електростанції за рахунок стороннього інвестора з подальшим поверненням коштів з отриманої економії. Це значно розширює коло потенційних користувачів технології, оскільки знімає проблему пошуку значних капітальних інвестицій на початковому етапі. Таким чином, вітчизняний досвід свідчить про перехід від спекулятивної моделі заробітку на тарифі до прагматичної моделі підвищення енергоефективності та безпеки бізнесу.

#### **1.4. Правові та нормативні аспекти функціонування СЕС в Україні, механізм «Активний споживач»**

Нормативно-правове регулювання сфери відновлюваної енергетики в Україні протягом останніх років зазнало суттєвих трансформацій, спрямованих на лібералізацію ринку та імплементацію європейських енергетичних директив. Фундаментальним законодавчим актом, що визначає організаційні, правові та економічні засади у цій сфері, є Закон України «Про альтернативні джерела енергії» [2], який заклав основу для розвитку галузі ще на початку двохтисячних років. Однак, з огляду на стрімку зміну ринкової кон'юнктури та необхідність децентралізації енергосистеми в умовах сучасних викликів, законодавча база була суттєво оновлена. Ключовою подією стало прийняття Закону України № 3220-IX від 30 червня 2023 року [3], який часто називають законом про відновлення та зелену трансформацію енергетичної системи. Цей документ став відповіддю на запит бізнесу та домогосподарств щодо створення

прозорих механізмів для встановлення генеруючих установок для власного споживання з можливістю реалізації надлишків.

Центральним нововведенням оновленого законодавства стало запровадження поняття та правового статусу активного споживача. Згідно з Законом України «Про ринок електричної енергії» [1], активний споживач – це суб'єкт, який не лише купує електричну енергію для власного споживання, але й має право виробляти її, зберігати та продавати надлишки, не втрачаючи при цьому статусу споживача. Це принципово змінює архітектуру взаємовідносин на ринку, перетворюючи пасивного покупця на активного учасника енергобалансу. Для промислових підприємств набуття цього статусу відкриває шлях до легальної експлуатації сонячних електростанцій без необхідності отримання ліцензії на виробництво електричної енергії, що раніше було складною бюрократичною перепорою для об'єктів потужністю понад визначений ліміт.

Особливу увагу в новій нормативній базі приділено механізму самовиробництва, який у фаховій літературі класифікується як система чистого білінгу. На відміну від класичного зеленого тарифу, який передбачав викуп всієї згенерованої енергії за фіксованою високою ціною, або системи чистого обліку, де взаємозалік відбувався в натуральних показниках, новий механізм працює на основі вартісного балансу. Принцип дії цієї моделі полягає в тому, що надлишки електричної енергії, які підприємство не спожило в момент генерації і відпустило в мережу, зараховуються на його особовий рахунок у грошовому еквіваленті. Ціна продажу при цьому не є фіксованою, а прив'язується до погодинної ціни на ринку «на добу наперед», що робить систему ринково орієнтованою та справедливою. Накопичені кошти можуть бути використані виключно для оплати спожитої електричної енергії з мережі в інші періоди, наприклад, вночі або в похмуру погоду.

Для візуалізації процесу взаєморозрахунків активного споживача доцільно розглянути схему руху енергії та коштів (рис. 1.5). Система передбачає встановлення спеціального вузла обліку, який фіксує як відбір з мережі, так і відпуск у мережу з погодинною деталізацією. Автоматизована система комерційного обліку електроенергії передає дані постачальнику послуг, який формує баланс. Якщо вартість відпущеної енергії перевищує вартість спожитої, різниця залишається на рахунку споживача для майбутніх платежів. Якщо ж споживання перевищує генерацію, споживач сплачує лише різницю. Важливо зазначити, що такий підхід стимулює підприємства встановлювати станції такої потужності, яка відповідає їхньому власному споживанню, а не максимізувати генерацію заради прибутку, що сприяє збалансуванню енергосистеми.



Рисунок 1.5 – Алгоритм взаєморозрахунків за механізмом самовиробництва

Окрім фінансових аспектів, законодавство врегульовує і технічні умови приєднання таких установок. Спрощена процедура приєднання поширюється на установки, потужність яких не перевищує дозволена потужність споживання об'єкта [6]. Це значно скорочує часові витрати на реалізацію проєкту, оскільки відпадає необхідність отримання нових технічних умов на приєднання до мереж оператора системи розподілу, якщо не відбувається збільшення загальної потужності. Також важливим є те, що активний споживач має право передавати вироблену електричну енергію іншим власним об'єктам (електроустановкам), що приєднані до мереж того ж оператора системи розподілу, використовуючи механізм віртуального нет-білінгу, що є особливо актуальним для підприємств з розгалуженою інфраструктурою.

Таким чином, сформована нормативно-правова база створює сприятливі умови для інвестування в сонячні електростанції на рівні промислових споживачів. Відмова від жорсткого регулювання тарифів на користь ринкових механізмів та спрощення дозвільних процедур роблять такі проєкти більш передбачуваними та економічно обґрунтованими в довгостроковій перспективі.

## **Висновки до розділу 1**

У першому розділі магістерської дисертації проведено комплексний теоретичний аналіз передумов та сучасного стану впровадження систем розподіленої генерації на промислових об'єктах. В ході дослідження встановлено, що в умовах глобальної енергетичної кризи, дефіциту генеруючих потужностей в об'єднаній енергосистемі України та постійного зростання тарифів на електричну енергію для побутових споживачів, питання підвищення енергетичної ефективності підприємств набуває стратегічного значення. Традиційна модель енергозабезпечення, яка базується виключно на закупівлі ресурсів із зовнішньої мережі, стає фактором ризику, що знижує рентабельність виробництва та конкурентоспроможність продукції.

Аналіз світового та вітчизняного досвіду засвідчив фундаментальну зміну парадигми розвитку відновлюваної енергетики. Якщо на початкових етапах основним драйвером галузі були державні програми підтримки у вигляді «зеленого» тарифу, то на сучасному етапі, завдяки досягненню мережевого паритету та здешевленню технологій, акцент змістився на модель власного споживання. Промислові підприємства все частіше розглядають сонячні електростанції не як спосіб заробітку на продажу енергії, а як інструмент фіксації собівартості енергоресурсів на тривалий період та засіб хеджування макроекономічних ризиків.

Особливу увагу в розділі приділено аналізу нормативно-правової бази України. Детально розглянуто новітні законодавчі ініціативи, зокрема впровадження механізму «Активного споживача», який кардинально змінив правила гри на ринку. Визначено, що цей механізм є оптимальним для реалізації промислових проєктів, оскільки дозволяє здійснювати взаємозалік вартості спожитої та виробленої енергії, а також монетизувати надлишки генерації за ринковими цінами без необхідності отримання ліцензії. Це усуває бюрократичні бар'єри та значно покращує інвестиційну привабливість проєктів сонячної енергетики для бізнесу. Також у розділі обґрунтовано, що інтеграція відновлюваних джерел енергії є важливим кроком у напрямку декарбонізації промисловості та відповідає євроінтеграційним зобов'язанням України в рамках «Зеленого курсу».

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВСТАНОВЛЕННЯ СЕС НА ПІДПРИЄМСТВІ

### 2.1. Оцінка енергоспоживання та профілю навантажень досліджуваного підприємства

Першочерговим етапом розробки проєкту встановлення сонячної електростанції є детальний аудит існуючої системи електропостачання підприємства та аналіз графіків електричних навантажень. Об'єктом дослідження у даній роботі виступає підприємство, яке відноситься до енергоємних споживачів промислового сектору. Специфіка технологічного процесу виробництва комбікормів передбачає використання потужного силового обладнання, зокрема дробарок, змішувачів, грануляторів та ліній транспортування сировини, що формує відповідний профіль споживання електричної енергії.

Для оцінки енергетичного потенціалу об'єкта було проаналізовано звітні дані щодо споживання активної електроенергії за попередній календарний рік. Загальний обсяг річного споживання підприємства становить 3 105 420 кВт·год. Аналіз помісячної динаміки витрат енергоресурсів дозволяє виявити суттєву нерівномірність навантаження протягом року, яка зумовлена як сезонністю виробничих циклів в агропромисловому комплексі, так і кліматичними факторами. Пікові значення споживання фіксуються у весняний період (див. рис. 2.1), зокрема у березні показник сягає максимуму і становить 506 685 кВт·год. Це пов'язано з активізацією виробничих процесів підготовки кормів перед початком сезону активного тваринництва, що вимагає залучення максимальних виробничих потужностей.

Критично важливою особливістю енергетичного профілю підприємства є різкий спад споживання у літній період, що створює специфічні технічні виклики для інтеграції СЕС. Згідно з отриманими даними, мінімальне споживання фіксується у липні і становить лише 90 082 кВт·год, що більш ніж у 5 разів менше за березневий пік. Така ситуація формує проблему дисбалансу

генерації та споживання: саме на літні місяці (червень-серпень) припадає пік сонячної активності, коли станція розрахунковою потужністю 1,8 МВт здатна генерувати понад 400 000 кВт·год щомісяця.

У класичній моделі без можливості відпуску в мережу такий значний профіцит (близько 310 000 кВт·год у липні) призвів би до необхідності примусового обмеження генерації інверторами, що суттєво знизило б загальну ефективність інвестицій. Однак цей дисбаланс відкриває нові можливості для підприємства. Величезний обсяг вільної енергії в літній період може бути спрямований на реалізацію через механізм «Активний споживач», що дозволить акумулювати фінансові ресурси для оплати електроенергії в зимовий період. Крім того, наявність такого значного резерву потужності створює передумови для розгляду доцільності впровадження установок зберігання енергії (УЗЕ), які дозволять переносити надлишки генерації на вечірні пікові години, підвищуючи енергетичну гнучкість підприємства.

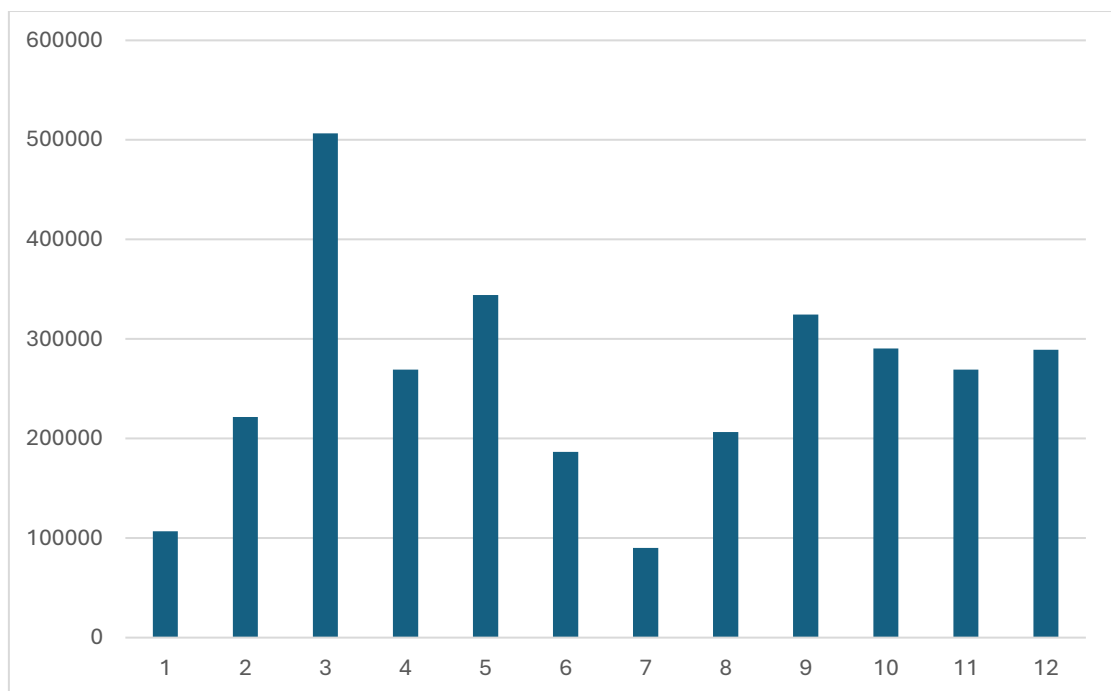


Рисунок 2.1 – Динаміка річного споживання досліджуваного об'єкту

Таким чином, виявлений сезонний профіцит стає не проблемою, а ресурсом, який може бути конвертований у фінансову вигоду. Детальний

розрахунок економічного ефекту від управління цими потоками енергії та вибір оптимальної конфігурації обладнання будуть наведені у наступних підрозділах.

## **2.2. Аналіз потенціалу сонячної інсоляції та вибір місця розташування СЕС**

Ефективність роботи фотоелектричної системи та термін її окупності прямо пропорційно залежать від рівня надходження сонячної радіації в регіоні розміщення об'єкта. Територією дослідження є виробничі потужності підприємства, що розташоване у Миколаївській області. Згідно з кліматичним районуванням та даними метеорологічних баз Meteonorm [13], дана місцевість відноситься до південного регіону України, який характеризується найвищим рівнем сонячної активності на території держави, що підтверджується картою інсоляції (рис. 2.2).

Середньорічний рівень сумарної сонячної радіації, що надходить на горизонтальну поверхню в цьому регіоні, становить близько 1350–1400 кВт·год/м<sup>2</sup>, що суттєво перевищує середні показники центральних та північних областей. Тривалість сонячного сяйва тут досягає 2300–2400 годин на рік. Розподіл інсоляції має виражений сезонний характер: максимальні значення фіксуються у травні-серпні, що співпадає з періодом найменшого споживання підприємства, створюючи передумови для генерації значних обсягів надлишкової енергії для продажу за механізмом активного споживача. Мінімальні значення інсоляції спостерігаються у грудні-січні, проте навіть у цей період південне розташування забезпечує кращі показники генерації порівняно з іншими регіонами.

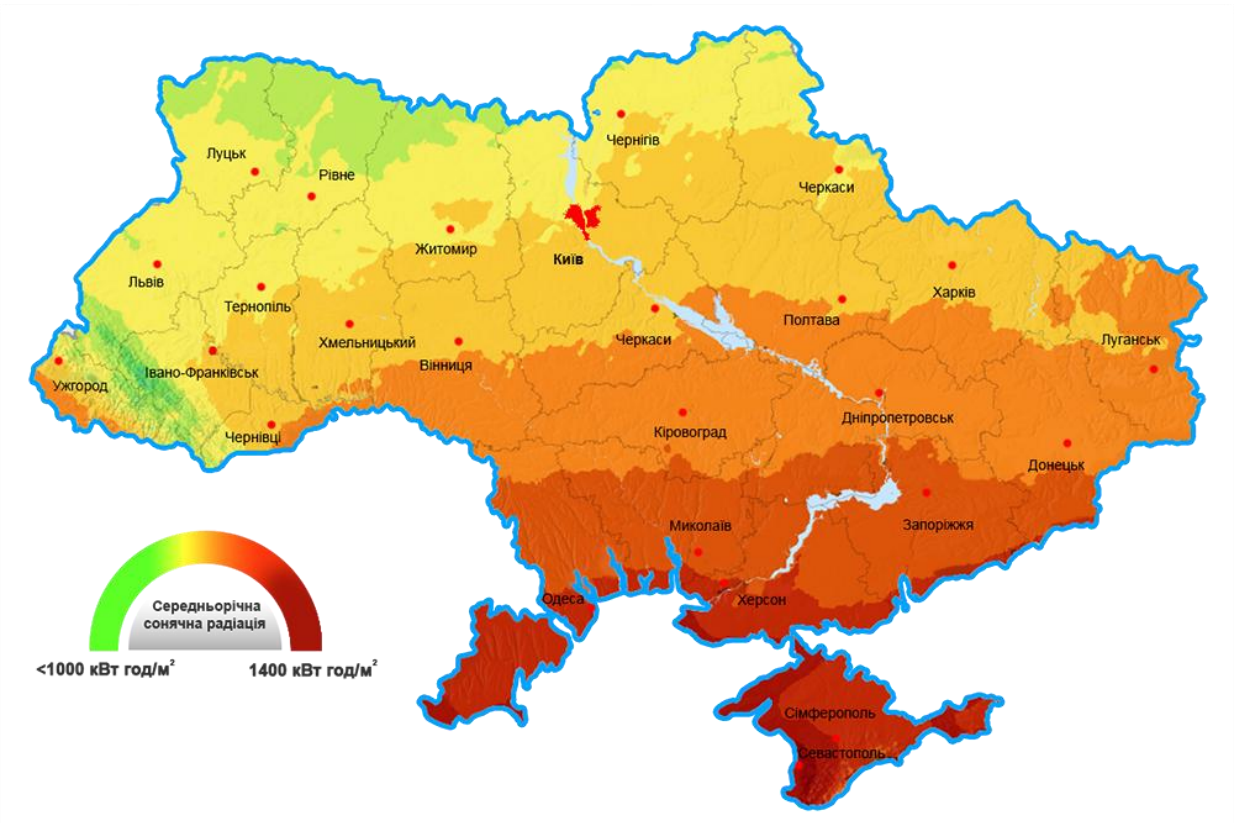


Рисунок 2.2 – Карта сонячної інсоляції України

Критично важливим етапом проектування є вибір місця для розміщення фотоелектричних модулів. Враховуючи необхідну потужність станції (1800 кВт за змінним струмом), що вимагає значної площі для монтажу фотоелектричного поля, було проведено порівняльний аналіз доступних поверхонь. Розміщення СЕС на дахах існуючих виробничих цехів та складів визнано недоцільним через низку технічних обмежень: недостатня сумарна площа покрівлі, різна орієнтація скатів, затінення від технологічного обладнання (норій, вентиляційних шахт) та обмежена несуча здатність будівельних конструкцій, що потребувала б дорогавартісного підсилення.

Натомість, оптимальним рішенням визначено використання вільної земельної ділянки на території підприємства. Наземне розміщення має низку суттєвих переваг: воно дозволяє забезпечити ідеальну орієнтацію столів з фотомодулями, спрощує процес обслуговування та очищення панелей, а також забезпечує краще природне охолодження модулів завдяки циркуляції повітря, що підвищує їхню продуктивність у спекотний період.

Обрана земельна ділянка характеризується рівнинним рельєфом, що мінімізує обсяг земляних робіт, та відсутністю об'єктів, що створюють значне затінення у години активної генерації. Ґрунти на ділянці придатні для влаштування пальових фундаментів опорних металоконструкцій. Крім того, розташування майданчика у безпосередній близькості до трансформаторної підстанції підприємства дозволяє зменшити довжину кабельних трас змінного струму, знизити втрати потужності при передачі енергії та оптимізувати капітальні витрати на приєднання станції до внутрішньої електромережі заводу.

### **2.3. Порівняння ефективності розташування панелей за орієнтаціями: південь та схід-захід**

Вибір оптимальної конфігурації розташування фотоелектричних модулів є одним із визначальних етапів проєктування, від якого залежать обсяги генерації, профіль виробітку протягом доби та економічні показники ефективності сонячної електростанції. У сучасній інженерній практиці для наземних об'єктів розглядаються дві основні концепції орієнтації фотоелектричного поля: класична орієнтація на південь та двостороння орієнтація за схемою схід-захід. Для обґрунтування найбільш доцільного варіанту для умов досліджуваного об'єкта було проведено порівняльне моделювання обох систем.

Класичний варіант передбачає орієнтацію всіх рядів фотомодулів строго на південь (див. рис. 2.3) з оптимальним кутом нахилу до горизонту (зазвичай близько  $30^\circ$ ). Головною перевагою такої конфігурації є досягнення максимальної пікової потужності генерації у полуденні години, коли сонце знаходиться у зеніті. Однак цей підхід має суттєвий недолік у контексті власного споживання підприємства: графік виробітку має яскраво виражену дзвоноподібну форму з різким піком в середині дня та значно меншими показниками у ранкові та вечірні години. Це часто призводить до ситуації, коли в обідній час генерація значно перевищує споживання, а вранці та ввечері, коли виробничі потужності заводу також працюють, енергії не вистачає.

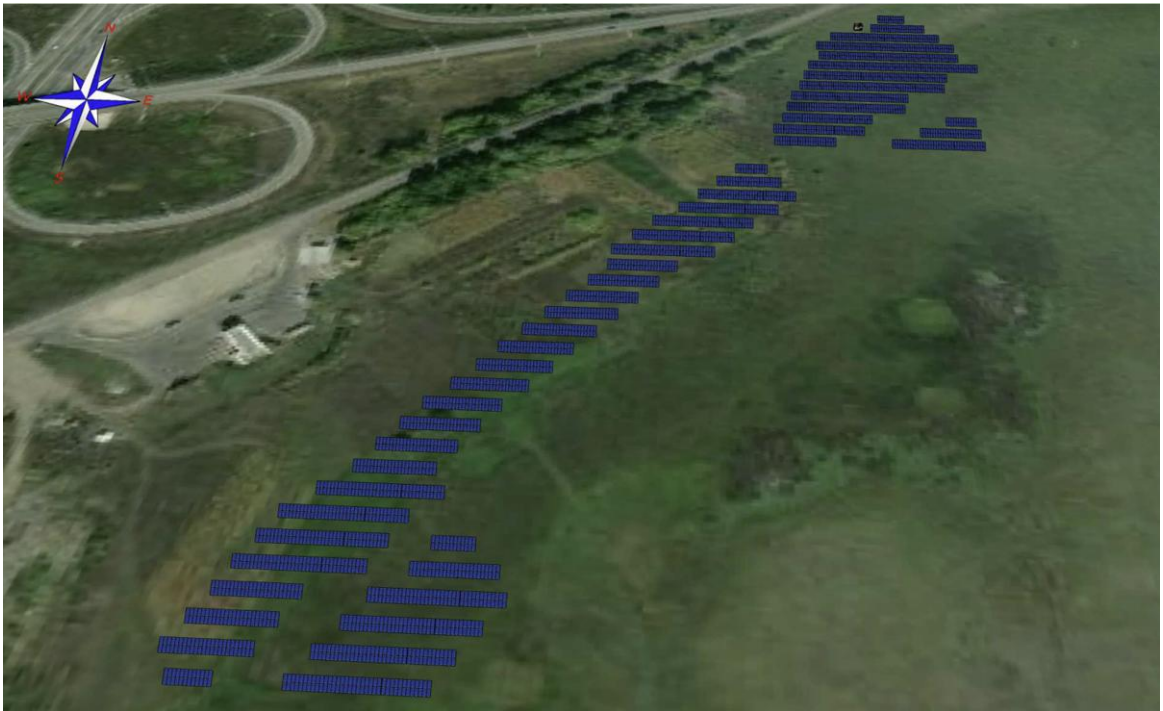


Рисунок 2.3 – Схема розташування фотоелектричних модулів з орієнтацією на Південь

Альтернативним рішенням є система схід-захід (рис. 2.4), яка передбачає встановлення модулів на конструкціях у формі «даху», де один ряд звернений на схід, а суміжний – на захід. Така компоновка дозволяє трансформувати добовий графік генерації, зробивши його більш рівномірним та розтягнутим у часі: східні модулі починають активно працювати рано вранці, а західні забезпечують виробіток у другій половині дня. Це забезпечує кращу синхронізацію генерації з графіком роботи підприємства та підвищує рівень миттєвого заміщення споживання з мережі. Крім того, конструктивна особливість системи схід-захід дозволяє мінімізувати відстань між рядами через менші тіньові втрати, що дає змогу розмістити значно більшу кількість модулів на тій самій площі земельної ділянки порівняно з південною орієнтацією.

Для визначення оптимального варіанту мною було виконано комп'ютерне моделювання у програмному комплексі PVsyst для фіксованої площі земельної ділянки та однакових умов приєднання (потужність інверторів за змінним

струмом обмежена рівнем 1800 кВт). У першому сценарії (орієнтація на південь) на доступній площі вдалося розмістити фотоелектричне поле потужністю 2040 кВт (DC). У другому сценарії (схід-захід), завдяки ущільненню рядів, встановлена потужність по стороні постійного струму склала 2464 кВт.

Результати порівняльного аналізу показали, що хоча питома генерація з 1 кВт встановленої потужності при системі схід-захід є нижчою на 14,3% через неоптимальний кут падіння променів у полудень, загальна річна генерація станції виявилася на 5,6% вищою завдяки більшій кількості встановлених модулів. Економічний ефект від цього рішення є ще більш показовим: розрахункова щорічна економія коштів та сумарний прибуток зростають на 4,5%. Також моделювання підтвердило, що система схід-захід із коефіцієнтом перевантаження інвертора на рівні 37% є найбільш технічно виправданою, оскільки дозволяє максимально ефективно використовувати інверторне обладнання.

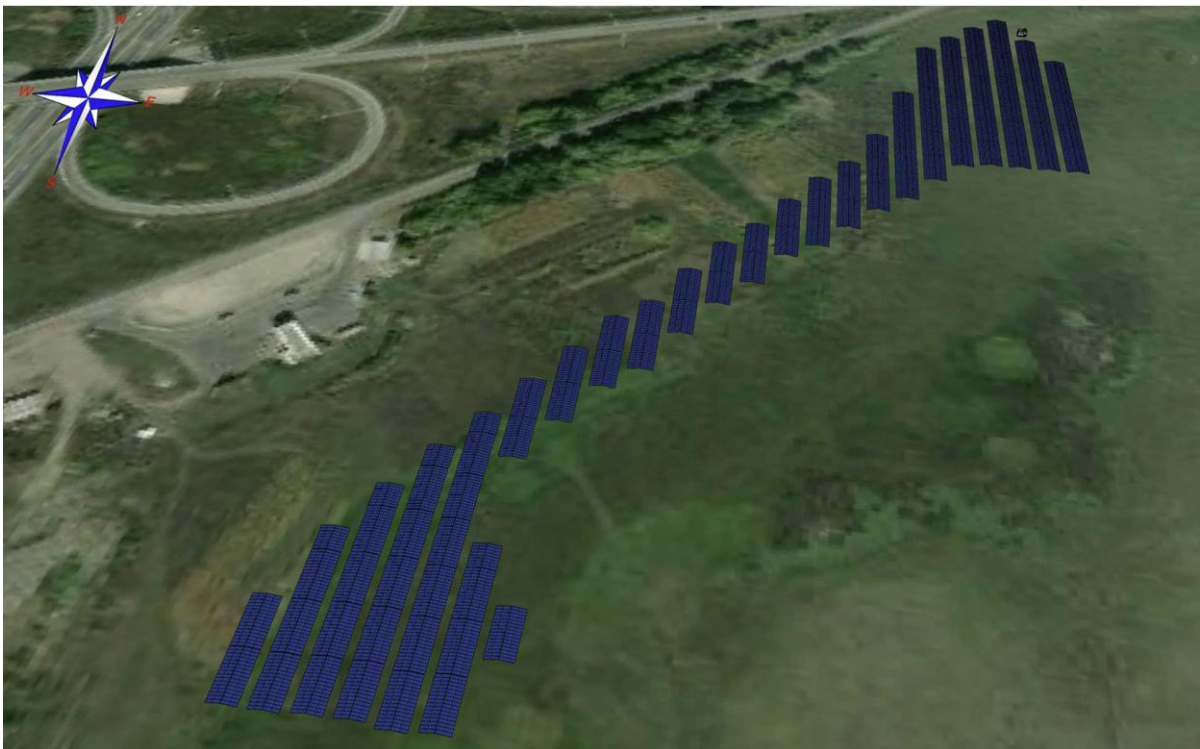


Рисунок 2.4 – Схема розташування фотоелектричних модулів з орієнтацією Схід-Захід

Таким чином, для реалізації проєкту обрано варіант розташування схід-захід. Це рішення дозволяє максимізувати встановлену потужність в умовах обмеженої території, забезпечити більш стабільний графік генерації протягом робочої зміни та отримати вищі фінансові показники за рахунок збільшення загального обсягу виробленої енергії як для власного споживання, так і для продажу надлишків за механізмом активного споживача.

#### **2.4. Вибір та обґрунтування технічних параметрів основного обладнання**

Технічна надійність та економічна ефективність інвестиційного проєкту будівництва сонячної електростанції значною мірою визначаються якістю та технологічним рівнем обраного основного обладнання. Враховуючи тривалий термін експлуатації об'єкта, який становить понад 25 років, при виборі компонентів пріоритет надавався рішенням, що забезпечують мінімальну деградацію характеристик з часом та низькі експлуатаційні витрати. Проєктна конфігурація станції передбачає встановлену потужність по стороні постійного струму на рівні 2464 кВт, що забезпечується масивом із 3520 фотоелектричних модулів, та вихідну потужність по змінному струму 1800 кВт, яка генерується шістьма потужними стрінговими інверторами.

##### **Фотоелектричні модулі**

У якості основного генеруючого елемента проєкту обрано фотоелектричні модулі надвисокої потужності виробництва компанії Trina Solar, модель TSM-700NEG21C.20 (рис. 2.5) [10]. Дані панелі належать до серії Vertex N та виготовляються на основі кремнієвих пластин великого розміру із застосуванням передової технології комірок i-TOPCon.

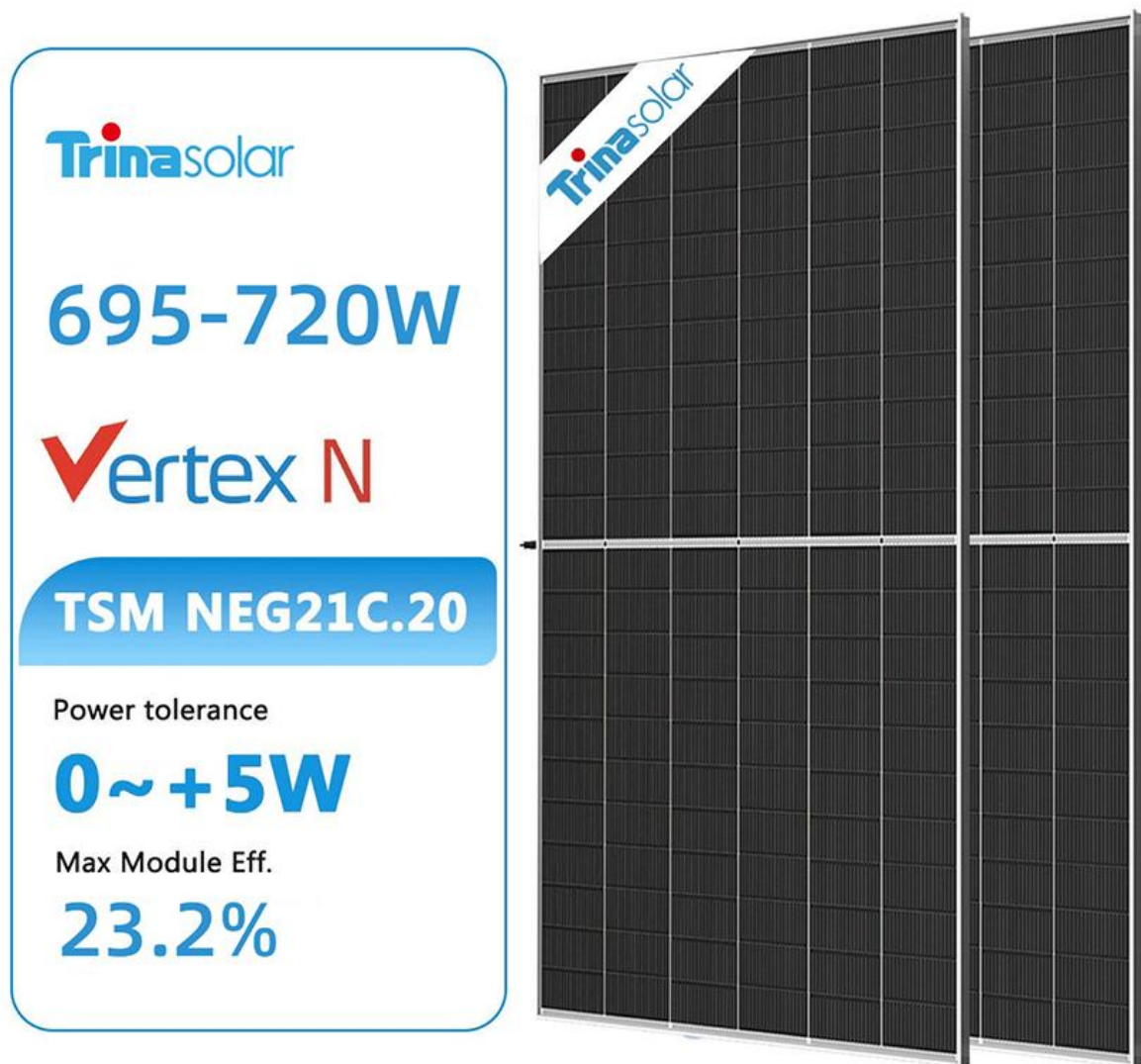


Рисунок 2.5 – Фотоелектричний модуль Trina Solar TSM-700NEG21C.20

Основні технічні характеристики та переваги обраних модулів:

1. номінальна потужність складає 700 Вт, що дозволяє суттєво оптимізувати структуру капітальних витрат за рахунок зменшення кількості монтажних елементів та кабелів;
2. технологія i-TOPCon базується на використанні кристалів N-типу, які значно менше піддаються ефекту світлової деградації та мають низький температурний коефіцієнт  $-0,29\%/^{\circ}\text{C}$ , що забезпечує стабільну роботу у спекотному кліматі;

3. конструкція подвійного скла товщиною 2,0 мм підвищує механічну стійкість панелі до снігових навантажень та захищає від агресивних факторів середовища, таких як аміак чи сольовий туман;
4. високий коефіцієнт біфациальності 80% дозволяє генерувати додаткову енергію за рахунок відбитого від поверхні землі світла;
5. виробник гарантує деградацію не більше 1% у перший рік та 0,4% щорічно надалі, надаючи гарантію на лінійну потужність терміном 30 років.

### **Інверторне обладнання**

Для перетворення постійного струму від сонячних батарей у змінний струм промислової частоти обрано стрінгові мережеві інвертори Huawei SUN2000-330KTL-N1 (рис. 2.6) [11]. Це флагманська модель, розроблена спеціально для великих промислових об'єктів.



Рисунок 2.6 – Промисловий стрінговий інвертор Huawei SUN2000-330KTL-N1

Ключові особливості інверторів:

1. номінальна активна потужність одного пристрою становить 300 кВт, а максимальна повна потужність досягає 330 кВА;
2. використання всього шести інверторів для забезпечення загальної потужності 1800 кВт спрощує електричну схему та знижує експлуатаційні витрати;
3. інтелектуальна система повітряного охолодження автоматично регулює тепловідведення, забезпечуючи роботу при високих температурах;
4. ступінь захисту оболонки IP66 дозволяє встановлювати обладнання на відкритому повітрі без додаткових навісів;
5. вбудовані функції діагностики, такі як Smart I-V Curve Diagnosis, дозволяють дистанційно виявляти несправності модулів та затінення.

### **Система моніторингу та управління**

Централізований збір даних здійснюється за допомогою контролера Huawei SmartLogger 3000A (рис. 2.7). У проєкті реалізовано технологію передачі даних PLC (Power Line Communication), яка використовує силові кабелі змінного струму як середовище для обміну інформацією. Це дозволяє відмовитися від прокладання окремих інформаційних ліній RS485, підвищуючи надійність системи та стійкість до перешкод.



Рисунок 2.7 – Система моніторингу Huawei SmartLogger 3000A

### **Опорні металоконструкції**

Для розміщення фотоелектричного поля застосовується система наземного кріплення виробництва української компанії SolarSK (рис. 2.8) [12]. Конструкції спроектовані з урахуванням кліматичних умов регіону будівництва.



Рисунок 2.8 – Конструкція наземного кріплення фотомодулів SolarSK

Характеристики системи кріплення:

1. основою є високоміцна конструкційна сталь марки S350GD, стійка до динамічних навантажень;
2. антикорозійний захист виконано методом гарячого цинкування із щільністю покриття Zn350, що гарантує термін служби понад 25 років;
3. фундаментна частина виконується за технологією геопаль у кількості 631 одиниці, що дозволяє уникнути бетонних робіт та пришвидшити монтаж;
4. використання метизів з покриттям Delta або з нержавіючої сталі виключає корозію у вузлах з'єднання.

### **Трансформаторна підстанція**

Для інтеграції станції в зовнішню електромережу передбачено встановлення комплектної трансформаторної підстанції КТП 35/0,8 кВ номінальною потужністю 2000 кВА (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд комплектної трансформаторної підстанції КТП

Склад обладнання підстанції:

1. силовий трансформатор типу ТМГ (масляний, герметичний) серії ЕКО1 виробництва «Укрелектроапарат». Герметична конструкція запобігає контакту масла з повітрям, виключаючи його окислення та потребу в заміні;
2. сторона низької напруги 0,8 кВ обладнана автоматичним вимикачем ЕАТОН IZM32S номіналом 3200 А для захисту від перевантажень та коротких замикань;

3. сторона високої напруги 35 кВ комплектується елегазовим вимикачем навантаження та обмежувачами перенапруги для захисту від атмосферних розрядів.

### **Інженерна інфраструктура та безпека**

Комплексний захист об'єкта забезпечується розвиненою інженерною інфраструктурою:

1. периметр станції огорожується парканом із жорсткої зварної оцинкованої сітки загальною довжиною 1300 метрів;
2. система відеонагляду базується на обладнанні HIKVISION і включає 13 IP-камер з роздільною здатністю 8 МП та функцією детекції руху;
3. для нічного освітлення встановлюється 13 сталевих опор висотою 9 метрів із LED-світильниками потужністю 100 Вт.

Така комплектація забезпечує створення сучасного, надійного та безпечного енергетичного об'єкта.

### **2.5. Електротехнічні розрахунки та обґрунтування вибору елементів системи**

#### **Методологія моделювання та параметри розкладки фотоелектричного поля**

Основою для прийняття проєктних рішень та прогнозування генерації стали результати детального імітаційного моделювання, проведеного автором під час проходження переддипломної практики. Розрахунки виконувалися у спеціалізованому програмному комплексі PVsyst 7.4, який є світовим галузевим стандартом для проєктування сонячних електростанцій. Точність результатів забезпечена використанням верифікованих метеорологічних даних бази Meteonorm 8.1 для локації розташування об'єкта, що включають погодинні значення глобальної горизонтальної іррадіації, температури навколишнього середовища та швидкості вітру.

Критичним етапом моделювання стала побудова детальної 3D-сцени об'єкта, що дозволило врахувати взаємне затінення рядів фотомодулів (near shading losses) в залежності від висоти сонця над горизонтом протягом року.

При розрахунку балансу енергії було враховано комплексний коефіцієнт втрат, що включає:

1. Втрати на стороні постійного струму: опір кабелів стрінгів та магістральних ліній.
2. Втрати на стороні змінного струму: падіння напруги на ділянці від інверторів до ТП (0,8 кВ) та втрати в силовому трансформаторі.
3. Втрати через забруднення поверхні модулів (Soiling loss): прийнято на рівні 3% з урахуванням місцевих умов.
4. Втрати через оптичну невідповідність та температурну деградацію.
5. Втрати через технічну неготовність обладнання: закладено коефіцієнт 0,5% на рік, що передбачає час на планове технічне обслуговування та можливі аварійні відключення.

Геометрична конфігурація фотоелектричного поля розроблена з урахуванням максимізації щільності розміщення потужності при мінімізації взаємного затінення. Обрано систему кріплення типу «Схід-Захід» з наступними конструктивними параметрами, які відповідають стандартам проектування для даного типу обладнання:

1. Кут нахилу фотомодулів:  $15^\circ$  відносно горизонту. Такий кут є оптимальним компромісом між самоочищенням панелей від снігу та зниженням вітрового навантаження, а також дозволяє зменшити міжрядну відстань.
2. Висота встановлення: Нижній край фотомодуля знаходиться на висоті 0,3 м над рівнем землі. Хоча така висота дещо обмежує потрапляння відбитого світла на тильну сторону (зменшує bifacial gain), це рішення дозволяє суттєво знизити металоємність конструкції та вартість будівництва.

3. Міжмодульні відстані: Технологічний зазор між панелями на одному столі становить 0,02 м для компенсації теплового розширення рам. Відстань між панелями на верхівці «даху» стола становить 0,2 м для забезпечення вентиляції.
4. Розміщення столів: Відстань між сусідніми столами по вертикалі складає 0,2 м, а ширина технологічного проїзду між рядами прийнята рівною 3,0 м для забезпечення проїзду техніки для миття панелей та обслуговування.

Детальна схема розкладки фотоелектричних модулів на генеральному плані ділянки наведена у Додатку А.

### **Електротехнічна перевірка сумісності основного обладнання**

Для підтвердження надійності роботи системи виконано перевірочні розрахунки узгодженості параметрів фотомодулів Trina Solar TSM-700NEG21C.20 (технічний паспорт наведено у Додатку Б) та інверторів Huawei SUN2000-330KTL-N1 (технічний паспорт наведено у Додатку В). Перевірка за максимальною напругою (в зимовий період).

Критичним режимом є робота холостого ходу при мінімальній температурі повітря (розрахункове значення  $T_{min} = -20^{\circ}\text{C}$ ), оскільки при охолодженні напруга на клеммах кремнієвого модуля зростає.

Напруга холостого ходу стрінгу ( $U_{oc}^{string}$ ) розраховується за формулою:

$$U_{oc}^{string} = N_{mod} \cdot U_{oc}^{stc} \cdot (1 + \beta \cdot (T_{min} - 25)), \quad (2.1)$$

де  $N_{mod} = 26$  – кількість модулів у стрінгу;

$U_{oc}^{stc} = 49,5$  В – паспортна напруга модуля;

$\beta = -0,24\%/^{\circ}\text{C}$  – температурний коефіцієнт.

Підставивши дані у формулу отримуємо:

$$U_{oc}^{string} = 26 \cdot 49,5 \cdot (1 + (-0,0024) \cdot (-45)) = 1426,1 \text{ В}$$

Отримане значення менше за максимально допустиму вхідну напругу інвертора (1500 В), що гарантує безпеку обладнання.

Перевірка за струмом (в літній період).

Максимальний робочий струм модуля ( $I_{mp}$ ) становить 17,3 А, струм короткого замикання ( $I_{sc}$ ) — 18,4 А. Враховуючи коефіцієнт біфациальності (посилення струму за рахунок тильної сторони) та можливе перевищення іррадіації, приймається запас 25%. Оскільки на один МРРТ-трекер підключається 2 стрінги паралельно, розрахунковий струм на вході складе:

$$I_{mppt} = 2 \cdot I_{sc} \cdot 1,25 = 2 \cdot 18,4 \cdot 1,25 = 46,0 \text{ А}$$

Максимально допустимий струм короткого замикання МРРТ-трекера інвертора складає 65 А. Умова  $46,0 \text{ А} < 65,0 \text{ А}$  виконується, отже інвертор працюватиме у штатному режимі без аварійних обмежень по струму.

### **Розрахунок та вибір кабельних ліній**

Вибір перерізу кабельних ліній здійснювався згідно з вимогами ПУЕ за критеріями допустимого тривалого струму нагрівання та допустимої втрати напруги.

Кабелі постійного струму (DC).

Для з'єднання фотомодулів та підключення стрінгів до інверторів обрано спеціалізований сонячний кабель перерізом  $6 \text{ мм}^2$ . Допустимий струм для даного типу кабелю становить близько 70 А, що значно перевищує робочий струм стрінгу (17,3 А).

Розрахункове падіння напруги для найдовшої траси (120 м) становить:

$$\Delta U_{DC} = \frac{2 \cdot L \cdot I_{mp}}{\gamma \cdot S} = \frac{2 \cdot 120 \cdot 17,3}{57 \cdot 6} = 12,1 \text{ В} \quad (2.2)$$

Отримане значення у 12,1 В, або 1,14 % від номінальної напруги відповідає нормі (до 1,5 %).

Кабелі змінного струму (АС) 0,8 кВ.

Для видачі потужності від кожного інвертора до КТП-35/0,8 кВ проєктним рішенням передбачено використання трьох одножильних кабелів з алюмінієвою жилою марки АВВГ 1х185 мм<sup>2</sup>. Використання одножильних кабелів покращує умови тепловідведення та спрощує монтаж.

Максимальний вихідний струм інвертора Huawei SUN2000-330KTL-N1 при напрузі 800 В становить:

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{330000}{1,732 \cdot 800} = 238,1 \text{ А} \quad (2.3)$$

Згідно з таблицею допустимих струмових навантажень (Додаток Г), допустимий тривалий струм для одножильного алюмінієвого кабелю перерізом 185 мм<sup>2</sup> при прокладанні у ґрунті становить 321 А. Умова  $I_{max} < I_{доп}$  ( $238,1 < 321$ ) виконується зі значним запасом, що забезпечує надійність навіть при пікових навантаженнях та високій температурі повітря.

Розрахункове падіння напруги на ділянці Інвертор–ТП довжиною 150 м для обраного перерізу складає:

$$\Delta U_{AC} = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I_{max} \cdot \cos\phi}{\gamma_{Al} \cdot S} = \frac{1,732 \cdot 150 \cdot 238,1 \cdot 1,0}{32 \cdot 185} = 10,45 \text{ В} \quad (2.4)$$

У відсотковому вираженні втрати становлять:

$$\Delta U_{\%} = \frac{10,45}{800} \cdot 100\% = 1,3\%$$

Отримане значення 1,3 % знаходиться в межах рекомендованого діапазону (< 3 %), що підтверджує енергоефективність обраного технічного рішення.

## **2.6. Технічний аналіз роботи інверторів: сутність, доцільність та ризику перевантаження**

Одним із ключових інженерних рішень при проектуванні промислової сонячної електростанції є вибір коефіцієнта навантаження інвертора (DC/AC Ratio). Цей параметр визначається як відношення сумарної номінальної потужності фотоелектричних модулів до номінальної вихідної потужності інвертора змінного струму. У розробленому проєкті цей показник становить 1,37, що є результатом встановлення 2464 кВт потужності по стороні постійного струму на 1800 кВт інверторної потужності. Таке рішення класифікується як високий коефіцієнт перевантаження і потребує детального обґрунтування.

### **Сутність явища перевантаження**

Необхідність збільшення потужності фотополя понад номінал інвертора зумовлена тим, що в реальних умовах експлуатації сонячні панелі рідко працюють на 100% своєї паспортної потужності. Це пов'язано з впливом температури нагріву комірок, запиленістю поверхні, кутом падіння сонячних променів та втратами в кабельних лініях постійного струму. Якщо співвідношення потужностей дорівнює одиниці, інвертор залишатиметься недовантаженим протягом більшої частини світлового дня, що знижує ефективність використання обладнання.

При збільшенні коефіцієнта DC/AC інвертор швидше досягає порогу стартової напруги вранці та довше продовжує генерацію ввечері. Однак у години пікової сонячної активності, коли потужність від панелей перевищує номінал інвертора, спрацьовує система захисту. Інвертор обмежує вихідну потужність, зміщуючи робочу точку на вольт-амперній характеристиці. Цей процес називається «кліпінг» (від англ. clipping — обрізання).

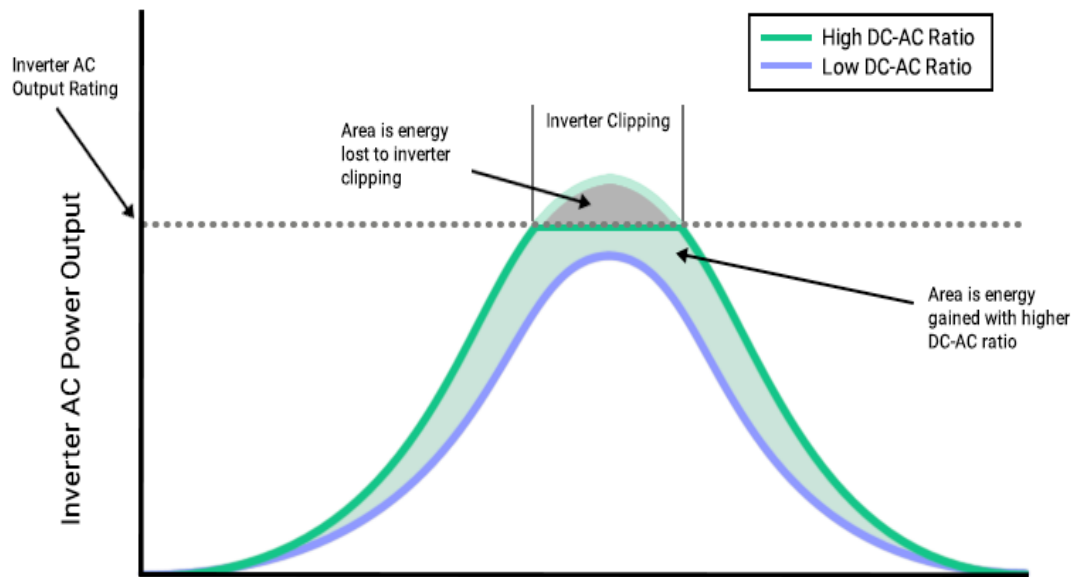


Рисунок 2.10 – Порівняння профілю генерації та енергетичного балансу при низькому та високому коефіцієнті DC/AC навантаження

Наведений на рис. 2.10 графік наочно демонструє енергетичний ефект від застосування високого коефіцієнта перевантаження (зелена лінія) у порівнянні з низьким коефіцієнтом (фіолетова лінія). Аналіз діаграми дозволяє виділити дві ключові зони, які формують економіку цього технічного рішення:

1. Зона втрат (Area is energy lost to inverter clipping): Це верхня сіра область графіка, де потенційна генерація панелей перевищує номінал інвертора. Інвертор примусово «зрізає» цю верхівку, підтримуючи вихідну потужність на стабільному максимальному рівні. Ця енергія фактично втрачається.
2. Зона прибутку (Area is energy gained with higher DC-AC ratio): Це світло-зелені області на схилах графіка в ранкові та вечірні години. Завдяки більшій кількості панелей станція генерує суттєво більше енергії в періоди слабкої та середньої інсоляції.

Зіставлення площ цих зон показує, що сумарний приріст енергії (зелена зона) значно перевищує обсяг втрат від кліпінгу (сіра зона). Саме це робить

перевантаження інверторів на рівні 37% економічно вигідним: ми жертвуємо невеликою кількістю енергії в пік, щоб отримати значно більше ресурсу протягом решти дня.

### **Обґрунтування доцільності для обраного обладнання**

Застосування такої конфігурації для обладнання Huawei та Trina Solar є виправданим з наступних причин:

1. Підвищення коефіцієнта використання встановленої потужності. Станція працює на номінальній потужності довше, що забезпечує більш стабільний графік видачі енергії в мережу підприємства.
2. Особливості орієнтації «Схід-Захід». Оскільки в проєкті обрано двосторонню орієнтацію панелей, пік генерації є менш гострим і більш розтягнутим у часі порівняно з південною орієнтацією. Це означає, що реальні втрати від кліпінгу будуть навіть меншими, ніж зображено на теоретичному графіку, оскільки піки ранкової та вечірньої генерації рознесені в часі.
3. Технічні характеристики інверторів. Обрана модель Huawei SUN2000-330KTL-N1 розрахована на підключення фотополя з перевантаженням. Ефективність перетворення (ККД) інвертора є максимальною саме при повному завантаженні та високій вхідній напрузі.

### **Оцінка ризиків**

Робота в режимі перевантаження пов'язана з певними експлуатаційними ризиками, які були враховані при проєктуванні:

1. Теплове навантаження. Тривала робота на номінальній потужності призводить до нагріву компонентів. Однак система активного повітряного охолодження інверторів Huawei забезпечує ефективне відведення тепла, а при досягненні критичних температур автоматика плавно знижує потужність.

2. Вхідна напруга. При низьких температурах взимку напруга холостого ходу стрінгів зростає. Розрахунок довжини стрінгів з урахуванням температурного коефіцієнта модулів гарантує, що напруга не перевищить допустимі 1500 В навіть за екстремальних морозів.

Таким чином, обрана стратегія перевантаження інверторів дозволяє максимізувати річний виробіток електроенергії, знизити питому вартість будівництва та покращити показники окупності проєкту без шкоди для надійності обладнання.

## **Висновки до розділу 2**

У другому розділі виконано детальне технічне обґрунтування проєкту будівництва наземної сонячної електростанції для потреб конкретного промислового підприємства. Ключовим етапом роботи став глибокий аналіз профілів енергоспоживання об'єкта, який виявив суттєву сезонну нерівномірність навантаження з яскраво вираженим піком у весняний період та спадом влітку. Співставлення цих даних із графіками сонячної інсоляції дозволило ідентифікувати значний потенціал для генерації надлишкової енергії у літні місяці, що стало основою для вибору концепції станції, орієнтованої не лише на заміщення власного споживання, але й на активний продаж електроенергії в зовнішню мережу.

На основі результатів імітаційного моделювання у програмному комплексі PVsyst було прийнято та обґрунтовано інженерне рішення щодо застосування системи кріплення фотомодулів з орієнтацією «Схід-Захід». Порівняльний аналіз показав, що, незважаючи на дещо меншу питому генерацію з одиниці потужності порівняно з класичною південною орієнтацією, такий підхід дозволяє розмістити на обмеженій земельній ділянці значно більшу кількість модулів, довівши встановлену потужність до 2464 кВт. Це рішення також забезпечує більш рівномірний графік генерації протягом світлового дня, згладжуючи пік у полудень та розширюючи часовий діапазон

роботи станції вранці та ввечері, що краще корелює з графіком роботи виробничого обладнання.

Важливою складовою розділу став вибір основного технологічного обладнання. Обґрунтовано використання високоефективних фотоелектричних модулів Trina Solar N-type та промислових стрінгових інверторів Huawei, які належать до класу Tier-1. Проведені електротехнічні розрахунки підтвердили правильність конфігурації системи: коефіцієнт навантаження інверторів на рівні 1,37 є допустимим і економічно виправданим, а перевірка кабельних ліній за допустимим струмом нагрівання та втратою напруги засвідчила повну відповідність вимогам ПУЕ та надійність схеми видачі потужності.

## РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВСТАНОВЛЕННЯ СЕС НА ПІДПРИЄМСТВІ

### 3.1. Методичні підходи до економічної оцінки інвестиційних проєктів у сфері енергетики

Оцінка економічної ефективності впровадження систем відновлюваної енергетики на промислових підприємствах є складним багатофакторним процесом, який вимагає застосування комплексного підходу, що поєднує інженерні розрахунки з фінансовим аналізом. Головною метою цього етапу є визначення інвестиційної привабливості проєкту шляхом співставлення обсягу необхідних капітальних вкладень із сукупністю грошових потоків, які генеруватиме сонячна електростанція протягом усього свого життєвого циклу. Для отримання об'єктивних результатів у даній роботі використовуються динамічні методи оцінки ефективності інвестицій, які базуються на концепції вартості грошей у часі та дозволяють привести майбутні доходи до їхньої поточної вартості за допомогою процедури дисконтування.

Центральним показником, що характеризує абсолютну ефективність інвестиційного проєкту, обрано чисту приведену вартість (Net Present Value, NPV). Цей критерій визначається як різниця між сумою дисконтованих чистих грошових потоків за весь період експлуатації об'єкта та сумою початкових інвестиційних витрат. Економічний зміст показника полягає в тому, що він відображає реальний приріст вартості активів підприємства внаслідок реалізації проєкту. Позитивне значення чистої приведеної вартості свідчить про доцільність інвестування, оскільки дохідність проєкту перевищує бар'єрну ставку, яка зазвичай дорівнює вартості залученого капіталу або альтернативній дохідності на ринку.

Для оцінки відносної ефективності вкладень та визначення запасу фінансової міцності проєкту використовується внутрішня норма рентабельності (Internal Rate of Return, IRR). Цей показник демонструє таку ставку дисконтування, при якій чиста приведена вартість проєкту дорівнює

нулю. Економічна інтерпретація внутрішньої норми рентабельності полягає у визначенні максимальної вартості капіталу, при якій інвестиційний проєкт залишається беззбитковим. Чим вищим є значення IRR порівняно з реальною вартістю фінансових ресурсів на ринку, тим стійкішим є проєкт до можливих змін макроекономічних умов, таких як інфляція чи коливання відсоткових ставок за кредитами.

Важливим індикатором для прийняття управлінських рішень є термін окупності інвестицій, який показує період часу, необхідний для повного повернення вкладених коштів за рахунок акумульованого чистого прибутку та амортизаційних відрахувань. У рамках даного дослідження розраховуються два різновиди цього показника: простий та дисконтований термін окупності. Простий термін є більш наочним та дозволяє швидко оцінити ліквідність проєкту, тоді як дисконтований термін окупності є більш консервативним критерієм, оскільки враховує знецінення грошових коштів у часі. Саме дисконтований період окупності є визначальним для оцінки ризиків довгострокового інвестування в енергетичні об'єкти з тривалим терміном експлуатації [14], [15].

Додатково для порівняння ефективності різних варіантів генерації доцільно використовувати показник нормованої вартості електроенергії (Levelized Cost of Electricity, LCOE). Цей показник відображає собівартість виробництва однієї кіловат-години електроенергії протягом усього життєвого циклу станції з урахуванням усіх капітальних та операційних витрат, приведених до поточного моменту часу. LCOE дозволяє коректно порівнювати вартість власної сонячної генерації з ринковими тарифами на електроенергію мережі, що є фундаментом для обґрунтування економічної доцільності переходу на відновлювані джерела енергії.

Специфікою методичного підходу в даній роботі є моделювання грошових потоків з урахуванням особливостей механізму активного споживача, що діє в Україні. Дохідна частина фінансової моделі формується з двох компонентів:

уникнених витрат на купівлю електроенергії з мережі та виручки від продажу надлишків генерації. Розрахунок цих потоків здійснюється на основі погодинного зіставлення профілів генерації та споживання, що дозволяє максимально точно врахувати добову нерівномірність графіків навантаження. Вартісна оцінка базується на прогнозуванні динаміки тарифів для непобутових споживачів та цін на ринку «на добу наперед», що забезпечує високу достовірність результатів економічного моделювання та дозволяє мінімізувати похибки, пов'язані з волатильністю енергетичного ринку.

### **3.2. Розрахунок капітальних інвестицій та експлуатаційних витрат проєкту**

Розрахунок загального обсягу капітальних вкладень базується на деталізованій комерційній пропозиції, яка враховує специфіку реалізації сонячної електростанції потужністю 1800 кВт за змінним струмом та 2464 кВт за постійним струмом. Згідно зі зведеним кошторисом, загальна вартість реалізації проєкту становить 975 253,29 євро без урахування податку на додану вартість. Ця сума включає повний цикл створення об'єкта, починаючи від передпроектних вишукувань і закінчуючи введенням в експлуатацію та отриманням статусу активного споживача. Питомі капітальні витрати для даної конфігурації складають 0,396 євро за один ват встановленої потужності, що є конкурентним показником для промислових об'єктів такого масштабу. Детальна технічна специфікація основного обладнання, що закладена в цей бюджет, наведена у Додатку Д до дипломної роботи.

Аналіз структури капітальних витрат, відображений на рис. 3.1, дозволяє виділити п'ять основних груп інвестицій. Першою складовою є проєктні роботи вартістю 9 447,82 євро, які включають проведення інженерно-геологічних та геодезичних вишукувань на ділянці, розробку схеми зовнішнього приєднання до мереж та безпосередньо виготовлення робочого проєкту на будівництво фотоелектричної станції. Друга, найбільш вартісна група, охоплює закупівлю основного технологічного обладнання. Витрати на

фотоелектричні модулі класу Tier-1 складають 307 979,01 євро. Інверторне обладнання Huawei Technologies, яке складається з шести одиниць, оцінюється у 53 237,00 євро. Вартість опорних металоконструкцій та систем кріплення становить 177 803,27 євро.

Третя група витрат стосується виконання комплексу будівельно-монтажних робіт та закупівлі допоміжних матеріалів, загальна вартість яких складає 261 308,29 євро. Ця сума покриває широкий спектр робіт: монтаж опорних конструкцій та фотомодулів, роботу спецтехніки та механізмів, облаштування системи заземлення, прокладання кабельних трас змінного та постійного струму. Сюди також входять витрати на інфраструктуру безпеки, зокрема встановлення паркану, системи відеоспостереження та зовнішнього освітлення, а також проведення шефмонтажу та пусконаладжувальних робіт.

Четверта складова бюджету спрямована на виконання технічних умов приєднання до зовнішніх електричних мереж. На ці цілі передбачено 156 756,77 євро. Основна частина цих коштів призначена для придбання та встановлення комплектної трансформаторної підстанції КТП 35/0,8 кВ потужністю 2000 кВА, а також будівництва високовольтної лінії електропередачі 35 кВ, що забезпечить надійну видачу потужності в мережу. Завершальною статтею капітальних витрат є оплата супутніх послуг у розмірі 8 721,13 євро, що включає витрати на сертифікацію ДІАМ, впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії та юридичне оформлення підключення активного споживача.

Окрім початкових інвестицій, фінансова модель проекту враховує щорічні експлуатаційні витрати, необхідні для підтримки станції у робочому стані. Операційні витрати включають оплату праці персоналу фізичної охорони, сервісне обслуговування інверторів та трансформаторної підстанції, регулярний моніторинг роботи системи, а також витрати на періодичне миття сонячних панелей та догляд за територією. Розрахунковий рівень річних операційних витрат становить близько півтора відсотка від загальної вартості

капітальних вкладень, що дозволяє забезпечити належний технічний стан обладнання та мінімізувати ризики аварійних зупинок генерації.

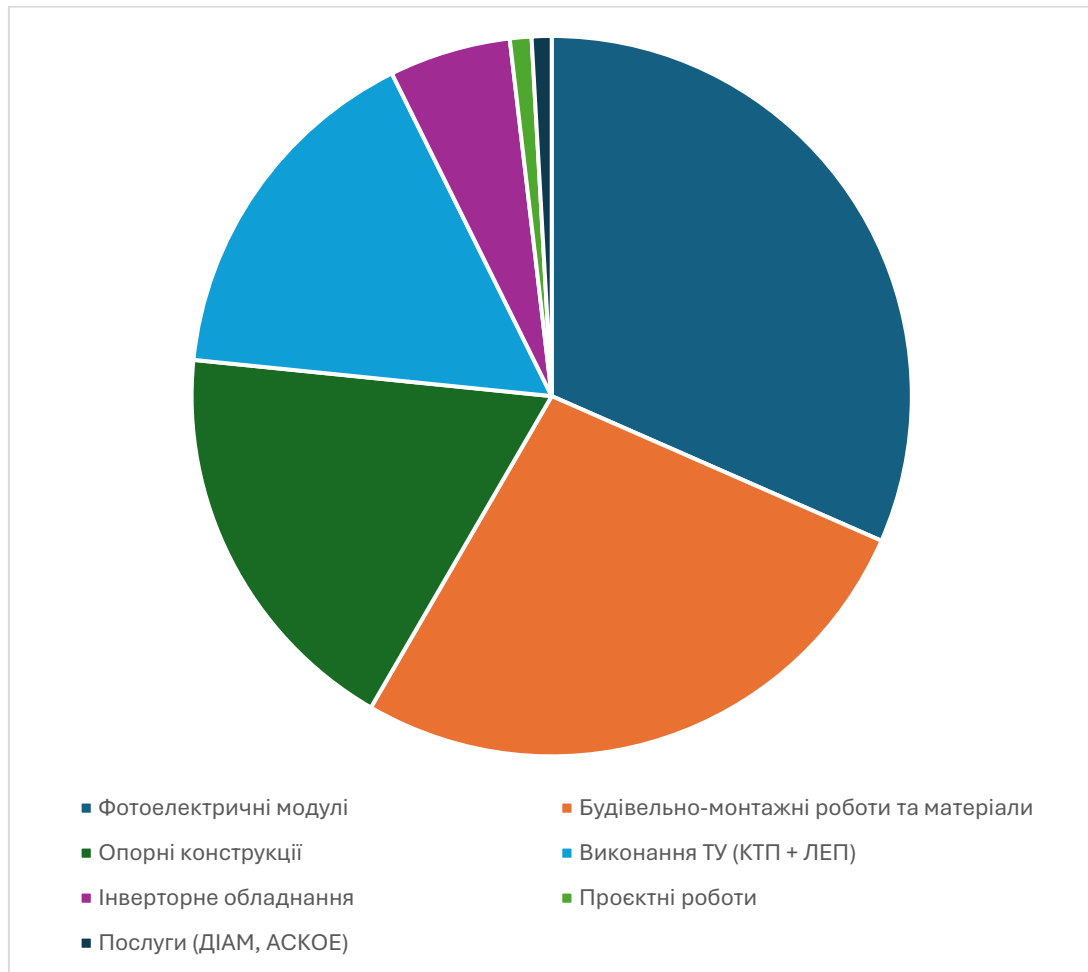


Рисунок 3.1 – Діаграма розподілу капітальних інвестицій проекту

Аналіз наведеної діаграми структури капітальних інвестицій демонструє, що лівову частку бюджету проекту займають витрати на основне генеруюче обладнання. Найбільшим сегментом є закупівля фотоелектричних модулів, на що припадає майже третина всіх інвестицій, що є закономірним для об'єктів відновлюваної енергетики, де саме фотополе формує виробничу потужність активу. Другою за величиною складовою є будівельно-монтажні роботи та матеріали, які разом з витратами на опорні конструкції складають майже половину загального кошторису, що пояснюється значними обсягами земляних робіт, металоємністю систем кріплення та протяжністю кабельних трас для наземної станції такої площі. Вагомою частиною інвестицій є витрати на виконання технічних умов приєднання, які займають близько шістнадцяти

відсотків бюджету, що зумовлено необхідністю будівництва нової трансформаторної підстанції та високовольтної лінії. Водночас витрати на інверторне обладнання складають порівняно невелику частку, близько п'яти з половиною відсотків, що свідчить про високу питому ефективність сучасних стрінгових інверторів. Частка проєктних робіт та адміністративних послуг залишається мінімальною, не перевищуючи двох відсотків, що вказує на високу матеріаломісткість проєкту та ефективність управління накладними витратами. Така структура капіталовкладень є типовою для промислових наземних сонячних електростанцій та підтверджує, що основні фінансові ресурси спрямовуються безпосередньо на створення генеруючих активів та надійної інфраструктури передачі енергії.

### **3.3. Фінансова модель встановлення СЕС: оцінка окупності та прибутковості**

Фінансова модель інвестиційного проєкту розроблена на основі методології дисконтованих грошових потоків, що дозволяє врахувати зміну вартості грошей у часі та оцінити реальну економічну ефективність капіталовкладень протягом прогнозованого періоду експлуатації станції, який становить 25 років. Базою для розрахунків є загальна сума початкових капітальних інвестицій, яка згідно з кошторисом складає 45 007 939,36 грн без урахування ПДВ. Ключовим етапом моделювання є визначення чистого операційного грошового потоку, який формується з двох незалежних джерел: економії коштів від заміщення споживання електроенергії із зовнішньої мережі та доходу від продажу надлишків генерації за механізмом активного споживача.

Першою складовою є економія коштів, що виникає внаслідок заміщення споживання електроенергії із зовнішньої мережі власною генерацією.

Розрахунок величини економії здійснюється шляхом погодинного співставлення графіків генерації та споживання за формулою:

$$S_{own} = \sum_{t=1}^{8760} (E_{cons,t} \cdot T_{grid,t}), \quad (3.1)$$

де  $S_{own}$  – річна економія коштів від власного споживання, грн;

$E_{cons,t}$  – обсяг обсяг споживання електроенергії від СЕС у годину  $t$ , кВт·год;

$T_{grid,t}$  – тариф на електроенергію для непобутових споживачів у годину  $t$  (з урахуванням розподілу та передачі), грн/кВт·год.

Другою складовою є прибуток від продажу надлишків електроенергії, які не були спожиті підприємством. Реалізація здійснюється за механізмом активного споживача, де ціна продажу прив'язана до погодинних цін ринку «на добу наперед» (РДН) [18]. Розрахунок виручки виконується за формулою:

$$R_{exp} = \sum_{t=1}^{8760} (E_{exp,t} \cdot P_{dam,t}), \quad (3.2)$$

де  $R_{exp}$  – річний дохід від продажу електроенергії, грн;

$E_{exp,t}$  – обсяг відпуску електричної енергії в мережу у годину  $t$ , кВт·год;

$P_{dam,t}$  – ціна ринку «на добу наперед» у годину  $t$ , грн/кВт·год.

Результати моделювання енергетичного та фінансового балансів з помісячною деталізацією наведені у таблицях 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Енергетичний баланс підприємства при впровадженні СЕС

Місяць	Споживання, грн	Споживання з СЕС, грн	Економія, грн	Прибуток від продажу, грн
Січень	757 762,59	639 637,92	118 124,67	238 831,86
Лютий	1 514 661,73	1 207 104,21	307 557,52	270 200,71
Березень	3 094 847,80	2 443 600,07	651 247,73	257 682,11
Квітень	1 487 472,04	1 006 876,28	480 595,76	434 273,79

Продовження таблиці 3.1

Травень	1 809 111,77	1 212 095,96	597 015,81	687 540,06
Червень	1 103 665,20	754 849,99	348 815,22	726 742,06
Липень	556 964,31	355 998,90	200 965,41	1 256 018,14
Серпень	1 384 803,41	985 704,30	399 099,11	891 129,98
Вересень	2 056 855,93	1 622 214,25	434 641,69	643 726,66
Жовтень	1 697 522,53	1 321 311,72	376 210,82	397 142,58
Листопад	1 704 691,76	1 490 354,08	214 337,68	167 957,08
Грудень	2 004 916,38	1 856 666,11	148 250,27	159 168,34
<b>СУММА</b>	<b>19 173 275,46</b>	<b>14 896 413,78</b>	<b>4 276 861,68</b>	<b>6 130 413,36</b>

Таблиця 3.2 – Економічний ефект роботи СЕС: економія та прибуток

Місяць	Генерація, кВт • год	В мережу, кВт • год	Споживання, кВт • год	Споживання з СЕС, кВт • год
Січень	67244,92	48078,53	106723,4	88639,41
Лютий	108448,97	58061,6	221689,3	172206,13
Березень	218071,53	70682,06	506685,2	360171,33
Квітень	293513,89	184688,16	269225,6	165281,11
Травень	381098	220768,27	344291,15	192683,47
Червень	404843,86	299033,15	186727,45	100036,74
Липень	401677,14	340477,7	90082,3	45802,1
Серпень	346486,61	259636,93	206570,35	128043,07
Вересень	248425,24	151825,43	324448,25	229442,24
Жовтень	166509,77	93115,09	290522,75	218069,67
Листопад	75258,81	37751	269225,6	232745,19
Грудень	54062,69	31291,26	289228,8	267561,77
<b>СУММА</b>	<b>2765641,43</b>	<b>1795409,19</b>	<b>3105420,15</b>	<b>2200682,23</b>

Аналіз наведених таблиць демонструє чітку сезонну залежність ефективності роботи станції. У зимові місяці (листопад–січень), коли рівень інсоляції є мінімальним, генерація СЕС спрямовується переважно на покриття власного споживання, а продаж надлишків є незначним. Натомість у весняно-літній період (травень–серпень) спостерігається пік генерації, який значно перевищує потреби заводу, що призводить до різкого зростання доходів від продажу електроенергії. Зокрема, у липні прибуток від продажу сягає понад 1,2 млн грн, що втричі перевищує економію від власного споживання.

Розрахунок дохідної частини проводився з використанням високоточної методики погодинного моделювання. Для визначення економії було проаналізовано річний профіль навантаження підприємства та співставлено його з графіком генерації сонячної станції. Це дозволило встановити, що частина власного споживання перекривається безпосередньо від СЕС, що в грошовому еквіваленті забезпечує економію у розмірі 4 276 861,68 грн на рік. Для розрахунку прибутку від продажу надлишків було застосовано метод накладання погодинних обсягів експорту електроенергії на фактичні погодинні ціни ринку на добу наперед (РДН), що діяли в розрахунковому періоді. Такий підхід дозволив врахувати волатильність ринкових цін протягом доби. Згідно з отриманими даними, річний прибуток від продажу надлишків генерації складає 6 130 413,36 грн.

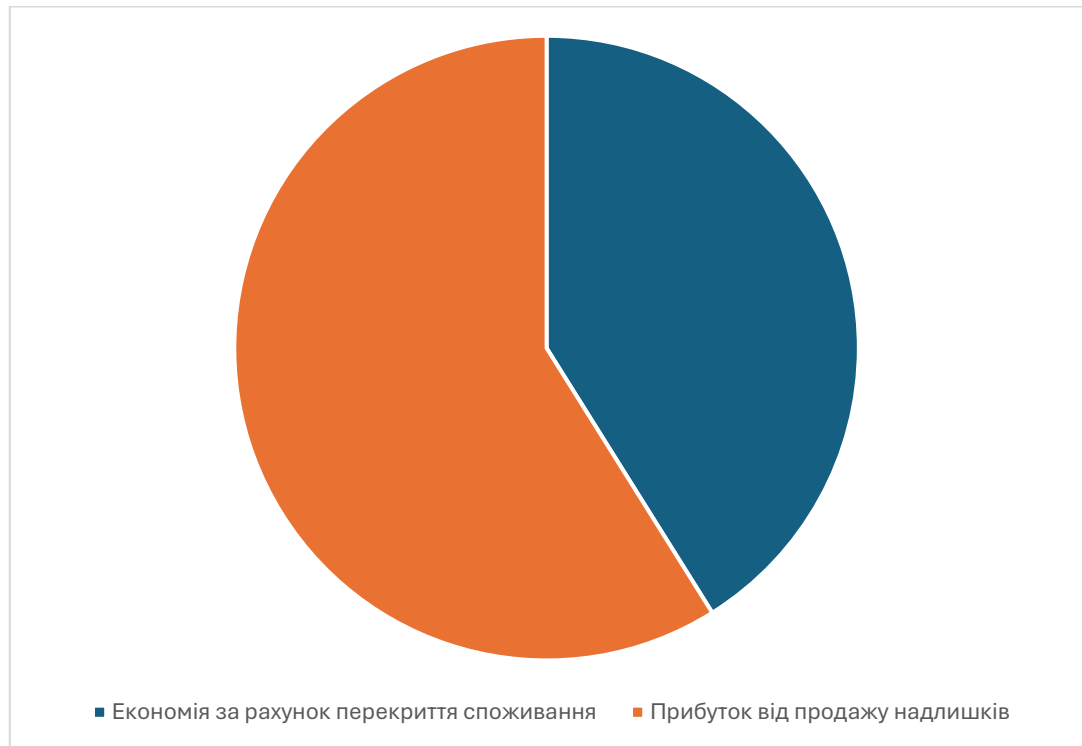


Рисунок 3.2 – Співвідношення складових річного економічного ефекту від впровадження СЕС

Аналіз структури грошових надходжень, наведений на діаграмі (рис. 3.2), демонструє, що прибуток від продажу надлишків електроенергії становить більшу частку в загальному фінансовому результаті порівняно з економією від власного споживання. Це пояснюється тим, що встановлена потужність станції суттєво перевищує поточні потреби підприємства у денні години, особливо у весняно-літній період, що дозволяє реалізовувати значні обсяги енергії за ринковими цінами. Сумарний річний економічний ефект від реалізації проєкту становить 10 407 275,04 грн. Для розрахунку чистого грошового потоку з цієї суми вираховуються щорічні операційні витрати (ОРЕХ), які включають сервісне обслуговування, охорону та моніторинг. Приймаючи рівень ОРЕХ у розмірі 1,5% від суми капітальних вкладень (675 119,09 грн), чистий річний грошовий потік ( $CF_{avg}$ ) складає 9 732 155,95 грн.

Одним із первинних показників для оцінки привабливості інвестицій є простий термін окупності, який показує час, необхідний для повернення

вкладених коштів за рахунок чистого прибутку. Розрахунок виконується за формулою:

$$PP = \frac{I_0}{CF_{avg}}, \quad (3.3)$$

де  $I_0$  – сума початкових інвестицій (45 007 939,36 грн).

Підставивши фактичні дані проєкту у формулу (3.3), отримуємо:

$$PP = \frac{45\,007\,939,36}{9\,732\,155,95} = 4,62$$

Значення 4,62 року вказує на високу ефективність проєкту, оскільки інвестиції повертаються менш ніж за п'ять років при нормативному терміні експлуатації обладнання 25 років.

Для оцінки абсолютної ефективності проєкту розраховується чиста приведена вартість (NPV), яка відображає суму дисконтованих грошових потоків за весь життєвий цикл за вирахуванням інвестицій. При ставці дисконтування 10% розрахунок здійснюється за формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \left( \frac{CF_t}{(1+r)^t} \right) - I_0, \quad (3.4)$$

де  $NPV$  – чиста приведена вартість, грн;

$CF_t$  – чистий грошовий потік у році  $t$ , грн;

$r$  – ставка дисконтування (0,1);

$n$  – тривалість проєкту (25 років);

З урахуванням фактора часу сумарна дисконтована вартість грошових потоків за 25 років становить 88 338 780,15 грн. Відповідно, чиста приведена вартість дорівнює:

$$NPV = 88\,338\,780,15 - 45\,007\,939,36 = 43\,330\,840,79$$

Позитивне значення NPV у розмірі понад 43 мільйонів гривень свідчить про те, що проєкт є глибоко прибутковим і генерує значну додану вартість.

Індекс рентабельності інвестицій (PI) визначає відносну прибутковість і розраховується як відношення дисконтованих доходів до суми інвестицій за формулою:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \left( \frac{CF_t}{(1+r)^t} \right)}{I_0}, \quad (3.5)$$

де  $PI$  – індекс рентабельності, відн. Од.

Підставивши значення, отримуємо:

$$PI = \frac{88\,338\,780,15}{45\,007\,939,36} = 1,96$$

Показник 1,96 означає, що на кожен гривню, вкладену в будівництво СЕС, інвестор отримає майже дві гривні прибутку у вигляді теперішньої вартості грошей. Комплекс отриманих показників підтверджує доцільність реалізації проєкту.

#### **3.4. Оцінка підвищення рівня енергетичної ефективності підприємства після впровадження СЕС**

Впровадження системи сонячної генерації є стратегічним інструментом комплексної модернізації енергетичного господарства підприємства, що безпосередньо впливає на показники його енергетичної ефективності. Під енергетичною ефективністю у даному контексті слід розуміти не лише скорочення витрат на оплату енергоресурсів, а й оптимізацію режимів споживання, зменшення технологічних втрат у розподільчих мережах та зниження вуглецевої готової продукції. Ключовим індикатором успішності інтеграції СЕС у внутрішню мережу підприємства є коефіцієнт енергетичної автономності, який визначає частку електроенергії власного виробництва у загальному енергетичному балансі підприємства.

Аналіз річних профілів, наведених у розрахункових таблицях енергобалансу, свідчить про суттєву трансформацію структури енергозабезпечення заводу. Початкове річне споживання підприємства становить 3 105 420 кВт·год. Після встановлення сонячної електростанції обсяг споживання електричної енергії із зовнішньої мережі скорочується до 2 200 682 кВт·год. Різниця між цими показниками, що становить 904 738 кВт·год, є обсягом чистої енергії, яка була спожита підприємством безпосередньо від власної генерації. Таким чином, розрахунковий рівень енергетичної автономності за підсумками року становить 29,1%. Це означає, що підприємство заміщує майже третину власного енергоспоживання безкоштовною сонячною енергією, що суттєво знижує собівартість продукції та залежність від зростання тарифів.

Технічна складова підвищення енергоефективності пов'язана з розвантаженням силового електрообладнання. Оскільки заміщення 904,7 тис. кВт·год енергії відбувається безпосередньо в центрі навантажень, це зменшує перетік потужності через ввідний трансформатор та кабельні лінії 0,4 кВ, особливо у денні години пікового навантаження. Зниження струмового навантаження призводить до зменшення втрат активної потужності на нагрів провідників, що позитивно впливає на термін експлуатації ізоляції кабелів та трансформаторної оливи. Крім того, наявність сучасних інверторів Huawei дозволяє здійснювати генерацію реактивної потужності, що покращує коефіцієнт потужності підприємства та стабілізує рівень напруги на шинах головного розподільчого щита.

Екологічний аспект енергоефективності виражається у скороченні викидів парникових газів. Важливо зазначити, що екологічний ефект розраховується на основі повної генерації станції, оскільки і спожита підприємством енергія, і експортована в мережу енергія заміщують роботу традиційних вугільних ТЕС в об'єднаній енергосистемі. Розрахунок виконується за формулою:

$$M_{CO_2} = E_{gen} \cdot k_{em} \cdot 10^{-3}, \quad (3.6)$$

де  $M_{CO_2}$  – маса скорочення викидів  $CO_2$ , тонн/рік;

$E_{gen}$  – загальний річний виробіток електроенергії СЕС;

$k_{em}$  – питомий коефіцієнт викидів вуглекислого газу для ОЕС України (приймається 0,46 кг/кВт·год).

Підставивши значення, отримуємо величину річного скорочення викидів:

$$M_{CO_2} = 2\,765\,641 \cdot 0,46 \cdot 10^{-3} \approx 1\,272 \text{ тонни}$$

Зменшення вуглецевого сліду на 1272 тонни щорічно дозволяє позиціонувати досліджуваний об'єкт як екологічно відповідальне підприємство, що підвищує його інвестиційну привабливість та конкурентоспроможність на міжнародних ринках, зокрема в контексті європейського механізму вуглецевого коригування імпорту.

### **Висновки до розділу 3**

Третій розділ присвячено комплексному техніко-економічному аналізу інвестиційного проєкту, який базується на методології дисконтованих грошових потоків. В ході роботи було сформовано детальний бюджет капітальних інвестицій загальним обсягом близько 45 мільйонів гривень. Аналіз структури витрат показав, що проєкт є капіталомістким, при цьому лєвова частка коштів спрямовується на закупівлю високоякісного генеруючого обладнання та виконання будівельно-монтажних робіт, що є гарантією довговічності та надійності майбутньої станції.

Побудована фінансова модель продемонструвала високу економічну ефективність запропонованих рішень. Розрахунки показують, що простий термін окупності проєкту становить менше п'яти років, що є відмінним показником для інфраструктурних об'єктів з нормативним терміном експлуатації 25 років. Позитивне значення чистої приведеної вартості (NPV) у розмірі понад 43 мільйонів гривень та індекс рентабельності інвестицій на рівні

1,96 свідчать про те, що реалізація проєкту дозволить підприємству не лише повернути вкладені кошти, але й отримати значний прибуток у довгостроковій перспективі.

Окремо варто відзначити результати оцінки енергетичної ефективності. Впровадження сонячної електростанції дозволить підприємству досягти рівня енергетичної автономності у 29,1%, заміщуючи понад 900 тисяч кіловат-годин споживання з мережі щорічно. Важливо, що фінансова модель проєкту є диверсифікованою: грошовий потік формується як за рахунок прямої економії на закупівлі електроенергії, так і за рахунок значних надходжень від продажу надлишків генерації, особливо у літній період. Це створює додатковий запас фінансової міцності та робить економіку підприємства менш чутливою до коливань тарифів на енергоринку.

## РОЗДІЛ 4 ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

### 4.1. Аналіз ризиків та чутливості інвестиційного проєкту

Оцінка ризиків та прогнозування енергетичних показників, наведені у даному розділі, базуються на результатах імітаційного моделювання, проведеного автором у грудні 2025 року з використанням ліцензійного програмного комплексу PVsyst 7.4. Вихідні дані для моделювання сформовано на основі фактичних графіків навантаження підприємства та метеорологічної бази даних Meteonorm 8.1.

Реалізація масштабних інвестиційних проєктів у сфері відновлюваної енергетики завжди супроводжується низкою ризиків, які можуть вплинути на інтегральні показники ефективності та фактичні терміни окупності капіталовкладень. Для комплексної оцінки стійкості проєкту встановлення сонячної електростанції на досліджуваному підприємстві застосовано метод аналізу чутливості, який дозволяє спрогнозувати динаміку чистої приведеної вартості (NPV) та терміну окупності (PP) при зміні ключових вхідних параметрів. В умовах поточної ситуації в Україні найбільш вагомими факторами невизначеності визначено волатильність цін на ринку електроенергії, кліматичні відхилення генерації, військові загрози та регуляторні бар'єри.

Фінансові ризики проєкту першочергово пов'язані з можливою зміною кон'юнктури ринку електричної енергії. Оскільки значна частина грошового потоку формується за рахунок продажу надлишків за цінами ринку «на добу наперед» (РДН), зниження середньозваженої ціни безпосередньо впливає на дохідну частину. Моделювання показує, що навіть при песимістичному сценарії зниження ринкової ціни на 10%, термін окупності проєкту зростає з розрахункових 4,62 року до 5,1–5,3 року, що залишається в межах привабливого інвестиційного діапазону. Стабілізуючим фактором виступає економія на

власному споживанні, вартість якої прив'язана до роздрібних тарифів, що мають стійку тенденцію до зростання.

Оцінка технічних та природно-кліматичних ризиків базується на результатах спеціалізованого моделювання роботи станції у програмному середовищі PVsyst. Згідно з даними кліматичної бази Meteonorm, адаптованої для конкретних координат розташування об'єкта, ймовірне річне відхилення рівня генерації від прогнозних значень внаслідок мінливості інсоляції становить 5,2%. Такий рівень волатильності є помірним і прогнозованим. Аналіз чутливості демонструє, що навіть при реалізації негативного сценарію і зниженні річного виробітку на 5,2%, фінансова модель проекту зберігає стійкість, а показник NPV залишається позитивним. Це підтверджує, що обрана конфігурація обладнання та орієнтація панелей забезпечують достатній запас надійності.

В сучасних реаліях критичного значення набувають ризики воєнного характеру. Вони поділяються на прямі загрози фізичній цілісності об'єкта внаслідок бойових дій або ракетних атак, та системні ризики, пов'язані з нестабільністю об'єднаної енергосистеми. Специфіка роботи мережевих інверторів полягає в автоматичному вимкненні при зникненні напруги в зовнішній мережі, що унеможливорює генерацію та експорт електроенергії під час аварійних відключень або блекаутів. Для мінімізації фінансових наслідків цього ризику доцільно розглянути механізми страхування воєнних ризиків, які активно впроваджуються за підтримки міжнародних фінансових інституцій.

Окрему групу складають адміністративно-регуляторні ризики, пов'язані з процедурою легалізації об'єкта. Процес приєднання генеруючої установки потужністю 1,8 МВт та набуття статусу активного споживача передбачає складну дозвільну процедуру. Існують ризики затягування термінів видачі технічних умов оператором системи розподілу, погодження проєктної документації або отримання сертифіката про прийняття в експлуатацію від органів ДІАМ. Будь-яка затримка на цьому етапі зміщує початок генерації

грошових потоків, що негативно впливає на дисконтовані показники ефективності. Для нівелювання цього ризику в календарному плані проєкту закладено часові резерви на проходження погоджувальних процедур.

Таким чином, проведений аналіз підтверджує, що проєкт характеризується високим рівнем стійкості до зовнішніх впливів. Розраховані показники ефективності мають достатній запас міцності, щоб компенсувати можливі втрати від коливання цін, кліматичних відхилень у межах 5,2% або тимчасових адміністративних затримок.

#### **4.2. Розробка рекомендацій щодо подальшої модернізації системи енергопостачання**

Впровадження сонячної електростанції потужністю 1,8 МВт створює потужний базис для енергонезалежності об'єкта, однак стохастичний характер сонячної генерації залишає підприємство залежним від зовнішньої мережі у вечірні та нічні години, а також у похмурі дні. Аналіз енергетичного балансу показує значний дисбаланс: у весняно-літній період спостерігається колосальний надлишковий виробіток електроенергії в денний час, який наразі експортується в мережу за низькими денними цінами ринку «на добу наперед», тоді як пікове вечірнє споживання покривається за рахунок найдорожчої покупної електроенергії. У зв'язку з цим, безальтернативним напрямком подальшої модернізації системи енергопостачання є інтеграція промислових систем накопичення енергії (Battery Energy Storage Systems — BESS).

Основою для такого рішення є використання сучасних контейнерних систем (рис. 4.1) накопичення на базі літій-іонних акумуляторів, які характеризуються високою питомою енергоємністю, швидкістю реакції та тривалим циклічним ресурсом. Впровадження BESS дозволить реалізувати стратегію енергетичного арбітражу, відому як «peak shifting». Суть цієї стратегії полягає в акумуляуванні дешевої надлишкової сонячної енергії в денні години та використанні цього ресурсу під час вечірніх піків споживання, коли ринкові

ціни на електроенергію досягають максимуму. Це дозволить суттєво покращити економічні показники проєкту.

Для орієнтовної оцінки економічного ефекту розглянемо встановлення системи накопичення корисною ємністю 2 МВт·год. Припустимо, що система здійснює один повний цикл заряду-розряду на добу. У денні години (наприклад, 13:00) замість продажу 2000 кВт·год енергії за умовною ціною 3,00 грн/кВт·год, підприємство заряджає акумулятори, втрачаючи потенційний дохід у розмірі 6 000 грн. У вечірні години пік (наприклад, 20:00), коли ринкова ціна сягає 7,50 грн/кВт·год, підприємство використовує накопичену енергію, уникаючи витрат на купівлю з мережі у розмірі 15 000 грн. Чистий добовий економічний ефект від арбітражу складає  $15\ 000 - 6\ 000 = 9\ 000$  грн. За рік, за умови 300 ефективних циклів, додатковий дохід може становити близько 2,7 млн грн, що значно прискорює окупність комплексної системи.

Окрім прямої фінансової вигоди, BESS виконує критично важливу функцію забезпечення енергетичної безпеки. Як було зазначено в аналізі ризиків, класичні мережеві інвертори не працюють за відсутності опорної напруги зовнішньої мережі. Інтеграція системи накопичення з відповідним гібридним інверторним обладнанням дозволить створити локальну мікромережу, здатну працювати в ізольованому режимі під час аварійних або планових відключень зовнішнього електропостачання. Це гарантує безперебійне живлення критично важливого технологічного обладнання та запобігає значним фінансовим збиткам від вимушеної зупинки виробництва. Додатково, система накопичення може виконувати функції стабілізації параметрів мережі, компенсуючи реактивну потужність та згладжуючи пікові навантаження на ввідні трансформатори. Перспективним напрямком є також участь підприємства на ринку допоміжних послуг, надаючи послуги з регулювання частоти та потужності для оператора системи передачі, що створить додаткове джерело доходу.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд контейнерної системи накопичення енергії

#### **4.3. Оцінка впливу СЕС на енергетичну незалежність та екологічні показники підприємства**

Реалізація проєкту будівництва сонячної електростанції у поєднанні із запропонованими заходами з модернізації (впровадження систем накопичення) виводить об'єкт на якісно новий рівень функціонування. Якщо в попередньому розділі було визначено кількісні показники енергоефективності, то в стратегічному вимірі впровадження власної генерації стає інструментом хеджування макроекономічних ризиків. Досягнутий рівень енергетичної автономності дозволяє підприємству перейти від моделі «реактивного реагування» на зростання тарифів до моделі довгострокового планування собівартості, де значна частка енергетичних витрат є фіксованою та прогнозованою на 25 років вперед.

Особливої ваги набуває екологічний аспект проєкту в контексті євроінтеграційного курсу України. Розраховане зниження вуглецевого сліду є не просто статистичним показником, а реальним механізмом підвищення конкурентоспроможності продукції на міжнародних ринках. В умовах запровадження Європейським Союзом механізму вуглецевого коригування імпорту (СВАМ — Carbon Border Adjustment Mechanism) [16], наявність підтвердженого використання «зеленої» енергії дозволить підприємству

уникнути додаткових митних платежів при експорті, що надає суттєву цінову перевагу перед конкурентами, які використовують традиційну енергію з вугільних джерел.

Крім того, проєкт має значний іміджевий потенціал. Впровадження ВДЕ та систем енергоменеджменту дозволяє об'єкту відповідати сучасним критеріям ESG (Environmental, Social, Governance). Це відкриває доступ до пільгового «зеленого» фінансування та грантових програм від міжнародних донорів, які часто ставлять вимоги щодо екологічності бізнесу. Позичування підприємства як еко-свідомого виробника також позитивно впливає на лояльність клієнтів та партнерів, для яких важливі принципи сталого розвитку.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що інтеграція сонячної електростанції не обмежується лише економією коштів. Це комплексне рішення трансформує бізнес-модель об'єкта, забезпечуючи йому енергетичну безпеку (особливо в поєднанні з рекомендованими BESS), відповідність європейським екологічним стандартам та стійкість до кризових явищ в енергетичному секторі держави.

#### **Висновки до розділу 4**

У четвертому розділі досліджено стратегічні аспекти подальшого розвитку системи енергопостачання підприємства та проведено глибокий аналіз ризиків. Застосування методу аналізу чутливості дозволило підтвердити високу стійкість проєкту до впливу зовнішніх негативних факторів. Моделювання показало, що навіть за умови реалізації песимістичних сценаріїв, таких як зниження ринкової ціни на електроенергію на 10% або зменшення рівня річної інсоляції на 5% через кліматичні зміни, інтегральні показники ефективності залишаються в позитивній зоні, а термін окупності зростає несуттєво. Це свідчить про низький рівень інвестиційного ризику.

Як стратегічний напрямок модернізації обґрунтовано доцільність інтеграції в енергосистему промислових установок зберігання енергії (BESS). Встановлено, що використання акумуляторних батарей дозволить вирішити

проблему добового дисбалансу між генерацією та споживанням, реалізувати стратегію зміщення піків навантаження для отримання додаткового економічного ефекту від арбітражу цін, а також забезпечити енергетичну безпеку виробництва шляхом створення локальної мікромережі, здатної функціонувати в ізольованому режимі під час аварійних відключень.

Також у розділі визначено екологічний та соціальний ефект від реалізації проєкту. Розрахункове скорочення викидів вуглекислого газу в обсязі 1272 тонни щорічно є вагомим внеском у захист довкілля. Це дозволяє підприємству покращити свій екологічний профіль, відповідати сучасним міжнародним стандартам ESG та підготуватися до запровадження механізму транскордонного вуглецевого регулювання (СВАМ), що є критично важливим для збереження експортного потенціалу продукції на європейських ринках.

## РОЗДІЛ 5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

### 5.1. Опис ідеї проекту

В умовах постійного зростання тарифів на електричну енергію для побутових споживачів та нестабільності централізованого енергопостачання, промислові підприємства стикаються з необхідністю пошуку альтернативних джерел енергії. Стартап-проект передбачає впровадження інженерного рішення — будівництва власної мережевої сонячної електростанції (СЕС) для часткового заміщення споживання із зовнішньої мережі. Розділ виконано згідно з рекомендаціями [19].

Основна ідея проекту полягає не у продажу обладнання, а у створенні активу, який генерує грошовий потік за рахунок економії операційних витрат (ОРЕХ) на оплату електроенергії. Проект розглядається як внутрішній стартап для підвищення конкурентоспроможності підприємства.

Зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки (в межах підприємства) наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Можливі напрямки застосування	Основні вигоди для користувача (підприємства)
Впровадження власної генеруючої потужності (СЕС) на базі фотоелектричних модулів Trina Solar та інверторів Huawei для забезпечення власних потреб підприємства.	Забезпечення електричною енергією виробничих цехів та адміністративних будівель підприємства.	Зниження собівартості продукції за рахунок зменшення енергетичної складової.
		Хеджування ризиків подальшого зростання тарифів на електроенергію.
		Підвищення ринкової вартості підприємства за рахунок наявності власних основних фондів генерації.

Наступним кроком є аналіз пропозиції на ринку. Основним конкурентом для власної СЕС є традиційна модель енергозабезпечення — купівля

електроенергії у постачальника універсальних послуг (або на вільному ринку). Порівняння характеристик пропонованого проєкту з товаром-аналогом наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

Характеристика ідеї проєкту	Товар-аналог (Електроенергія з мережі)	Пропонований товар (Власна СЕС)	Тип характеристики (С, Н, Сл) для СЕС
Вартість 1 кВт·год енергії	Висока, має тенденцію до постійного зростання (понад 7-8 грн/кВт·год).	Низька (умовно безкоштовна після проходження точки окупності, враховуються лише амортизація та експлуатація).	С (Сильна)
Залежність від погодних умов	Низька (енергія доступна 24/7 за відсутності аварій).	Висока (генерація залежить від пори доби та хмарності).	Сл (Слабка)
Капітальні інвестиції	Відсутні (інфраструктура вже існує).	Високі (необхідність закупівлі обладнання та монтажу).	Сл (Слабка)
Екологічність	Низька (мікс атомної та вугільної генерації).	Висока (100% відновлювана енергія, відсутність викидів CO <sub>2</sub> ).	С (Сильна)
Прогнозованість витрат	Низька (неможливо точно передбачити ріст тарифів на 5-10 років).	Висока (фіксовані витрати на етапі будівництва).	С (Сильна)
Надійність електропостачання	Середня (ризик віялових відключень).	Висока (у світлий час доби знижує навантаження на мережу).	Н (Нейтральна)

Аналіз показує, що основною сильною стороною проєкту є економічна ефективність у довгостроковій перспективі та незалежність від тарифної політики держави, тоді як слабкою стороною є необхідність значних початкових капіталовкладень та залежність виробітку від інсоляції.

## 5.2. Технологічний аудит ідеї проєкту

В межах даного пункту необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею стартап-проєкту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проєкту передбачає аналіз наявності необхідних технічних рішень та обладнання на ринку.

Оскільки проєкт базується на перевірених промислових рішеннях у сфері відновлюваної енергетики, основний акцент робиться на доступності та сумісності обраного обладнання. Результати аудиту технологій наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ з/п	Ідея проєкту	Технології, необхідні для реалізації	Наявність технологій
1	Будівництво мережевої сонячної електростанції для власного споживання	Технологія прямого перетворення сонячного випромінювання в електричний струм (фотоелектричний ефект)	<b>В наявності.</b> Використовуються серійні фотомодулі Trina Solar TSM-700NEG21C.20 (технологія N-type i-TOPCon), які є комерційно доступними на ринку України.
2	Перетворення постійного струму (DC) в змінний (AC) та синхронізація з мережею	Технологія імпульсного перетворення напруги (PWM) та MPPT-трекінгу	<b>В наявності.</b> Обрано інвертори Huawei SUN2000-330KTL-H1, що мають вбудовані алгоритми Smart IV Curve Diagnosis та підтримують роботу в режимі Zero Export (при необхідності).

## Продовження таблиці 5.3

3	Кріплення та розміщення обладнання	Технології швидкого монтажу металоконструкцій	<p><b>В наявності.</b> Використовуються типові системи кріплення з оцинкованої сталі (Solar SK) для наземного розташування типу «Схід-Захід», які не потребують складних фундаментних робіт.</p>
4	Проектування та прогнозування генерації	Програмне забезпечення для імітаційного моделювання	<p><b>В наявності.</b> Для розрахунків використано ліцензійний програмний комплекс PVsyst 7.4 та метеорологічні бази даних Meteonorm, що дозволяє отримати верифіковані дані генерації.</p>

Проведений технологічний аудит підтверджує, що для реалізації стартап-проєкту існують всі необхідні технології. Обране обладнання (Trina Solar, Huawei) належить до списку Tier-1, що гарантує його надійність та відповідність заявленим характеристикам. Технологія є зрілою, апробованою та не потребує додаткових науково-дослідних розробок, що значно знижує ризики проєкту.

### 5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проєкту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проєкту, дозволяє спланувати напрями розвитку стартапу. Оскільки проєкт спрямований на внутрішнє споживання (B2B/Internal), "ринком" виступає ринок енергоносіїв, де підприємство обирає між купівлею енергії та власною генерацією.

Фактори ринкового середовища, що сприяють впровадженню проєкту, наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Фактори, що сприяють ринковому впровадженню проєкту

№ з/п	Фактори	Зміст потреби	Можливості для стартапу
1	Економічні	Постійне зростання тарифів на електроенергію для промислових споживачів	Зменшення терміну окупності проєкту, підвищення рентабельності інвестицій
2	Технологічні	Зниження вартості фотоелектричних модулів на світовому ринку	Зменшення капітальних витрат (CAPEX) на реалізацію проєкту
3	Політико-правові	Впровадження механізму «Активного споживача» (Net Billing)	Можливість продажу надлишків генерації в мережу, що покращує економіку проєкту
4	Екологічні	Глобальний тренд на декарбонізацію (Green Deal)	Покращення іміджу підприємства, можливість отримання «зелених» сертифікатів

Фактори, що можуть перешкоджати впровадженню проєкту (загрози), наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Фактори, що загрожують ринковому впровадженню проєкту

№ з/п	Фактори	Зміст загрози	Вплив на стартап
1	Фінансові	Висока вартість залучення кредитного капіталу в Україні	Складність фінансування початкових етапів будівництва
2	Військові	Ризики фізичного пошкодження обладнання внаслідок бойових дій	Необхідність страхування або прийняття підвищених ризиків
3	Регуляторні	Нестабільність законодавства у сфері енергетики	Ризик зміни правил гри (наприклад, плати за небаланси)

Наступним кроком є аналіз конкуренції на ринку. Оскільки проєкт є заміщуючим, прямих конкурентів у класичному розумінні немає, але є альтернативні джерела енергопостачання. Аналіз наведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Вид конкуренції	Характеристика
Прямі конкуренти	Відсутні (в межах підприємства немає інших постачальників подібної послуги).
Товари-замінники	<b>Зовнішня мережа (Обленерго/Постачальник):</b> традиційний спосіб. Перевага – доступність 24/7. Недолік – висока ціна.
	<b>Дизельні генератори:</b> резервне джерело. Перевага – незалежність. Недолік – надвисока собівартість (20+ грн/кВт·год).
Потенційні конкуренти	Встановлення когенераційних установок (газопоршневих). Це альтернатива для базового навантаження, але потребує газу та складного обслуговування.

На основі аналізу факторів та конкуренції проведено SWOT-аналіз стартап-проєкту (таблиця 5.7).

Таблиця 5.7 – SWOT-аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
Низька собівартість власної електроенергії після введення в експлуатацію.	Високі початкові інвестиції (CAPEX).
Використання обладнання Tier-1 (Trina Solar, Huawei) з гарантією 10-25 років.	Залежність генерації від пори року та погодних умов (нестабільний графік).
Мінімальні експлуатаційні витрати.	Неможливість повного заміщення зовнішньої мережі без систем накопичення (BESS).
Екологічність виробництва.	

## Продовження таблиці 5.7

Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
Подальше зростання ринкових цін на електроенергію, що скорочує термін окупності.	Фізичне руйнування станції через зовнішні фактори.
Отримання грантового фінансування або пільгових кредитів (програма «5-7-9»).	Зміна тарифної політики на розподіл/передачу для генерації.
Монетизація надлишків через механізм «активного споживача».	Аномальні погодні умови (зниження річної інсоляції).

Аналіз ринкових можливостей свідчить про високу актуальність проєкту. Головним драйвером є економічний фактор, а саме зростання тарифів, проте основною загрозою – фінансові бар'єри входу. Співвідношення сильних сторін та можливостей переважає над загрозами, що робить проєкт привабливим для внутрішнього інвестування.

#### 5.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення цільових груп споживачів (стейкхолдерів), на яких спрямована ідея проєкту, та аналіз їхніх потреб. Оскільки проєкт реалізується для власних потреб підприємства, зовнішні споживачі відсутні, а основними «замовниками» є керівництво та власники бізнесу.

Вибір цільових груп наведено в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Цілеві групи	Потреби (вимоги) цільової групи	Готовність прийняти продукт
<b>Власники підприємства (Інвестори)</b>	Збільшення чистого прибутку.	<b>Висока.</b> Зацікавлені у зменшенні операційних витрат в умовах кризи.
	Швидке повернення інвестицій (PP < 4-5 років).	
	Підвищення ринкової вартості активів.	
	Екологічний імідж (ESG-рейтинг).	
<b>Фінансовий департамент</b>	Прозорість грошових потоків (Cash Flow).	<b>Середня.</b> Потребують детального обґрунтування рентабельності та аналізу чутливості проекту.
	Хеджування ризиків росту тарифів.	
	Можливість залучення грантових коштів або пільгового кредитування.	
<b>Технічна служба (Головний енергетик)</b>	Надійність обладнання та гарантійне обслуговування.	<b>Висока.</b> Зацікавлені у модернізації застарілих мереж та підвищенні енергобезпеки.
	Простота експлуатації та інтеграції в існуючу мережу.	
	Відсутність негативного впливу на показники якості електроенергії.	

Для роботи з обраними сегментами необхідно обрати базову стратегію розвитку. Для даного проекту найбільш доцільною є стратегія лідерства за витратами (забезпечення нижчої собівартості енергії порівняно з мережею) у поєднанні зі стратегією фокусування (задоволення потреб конкретного підприємства).

Визначення базової стратегії розвитку наведено в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Визначення базової стратегії розвитку

Характеристика стратегії	Зміст стратегії для даного проєкту
Тип стратегії	Стратегія диференціації та мінімізації витрат.
Сутність стратегії	Створення власної енергетичної інфраструктури, що дозволяє отримувати електроенергію за собівартістю, значно нижчою за ринкову ціну, з додатковою перевагою у вигляді екологічності.
Ключові фактори успіху	Використання високоефективних модулів Trina Solar (ККД > 21%).
	Оптимізація капітальних витрат (CAPEX) на етапі будівництва.
	Використання механізму «активного споживача» для мінімізації втрат від надлишків генерації.

Наступним етапом є формування конкурентної позиції проєкту. Необхідно позиціонувати власну СЕС відносно основного альтернативного варіанту — купівлі електроенергії із зовнішньої мережі (таблиця 5.10).

Таблиця 5.10 – Визначення стратегії позиціонування

Основні вимоги споживача (підприємства)	Позиціонування товару-аналога (Зовнішня мережа)	Позиціонування власного проєкту (СЕС)
Ціна енергії	Висока, неконтрольована, постійно зростає.	Низька, фіксована (рівна амортизаційним відрахуванням) після окупності.
Екологічність	Низька («вуглецевий слід» у продукції).	Висока («зелена» енергія, маркетинг продукції).

Продовження таблиці 5.10

<b>Прогнозованість</b>	Низька (залежить від рішень регулятора НКРЕКП).	Висока (залежить лише від інсоляції, яка є циклічною).
<b>Умови оплати</b>	Передоплата або жорсткі графіки оплати.	Інвестиції на старті, далі — відсутність щомісячних платежів за генерацію.

Розроблена ринкова стратегія базується на задоволенні економічних інтересів власників підприємства шляхом заміщення дорогої покупної електроенергії дешевою власною. Ключовим елементом стратегії є позиціонування проекту не просто як технічного переоснащення, а як фінансового інструменту для довгострокового зменшення собівартості продукції.

### 5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Для успішної реалізації проекту необхідно розробити маркетингову програму, яка забезпечить підтримку з боку стейкхолдерів та чітке розуміння цінності продукту. Оскільки проект орієнтований на внутрішнє споживання, маркетинговий комплекс («4P») має специфічну структуру, наведену в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Маркетинговий комплекс стартап-проекту («4P»)

<b>Елемент комплексу</b>	<b>Характеристика для даного проекту</b>
<b>Product (Продукт)</b>	<p><b>Енергетична незалежність та ефективність.</b></p> <p>Продуктом є не просто електрична енергія, а комплексне інженерне рішення, що дозволяє:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– зафіксувати вартість енергії на рівні амортизаційних відрахувань;</li> <li>– знизити «вуглецевий слід» продукції (екологічний сертифікат);</li> <li>– підвищити надійність електропостачання.</li> </ul>

Продовження таблиці 5.11

<p><b>Price (Ціна)</b></p>	<p><b>Інвестиційна вартість замість тарифу.</b></p> <p>Ціноутворення базується на заміщенні операційних витрат (ОРЕХ) капітальними (САРЕХ).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Вартість «входу»: ~975 тис. доларів.</li> <li>– Вартість експлуатації: &lt;1% від САРЕХ на рік.</li> <li>– «Ціна» для підприємства: собівартість генерації (~0,6–0,8 грн/кВт·год) проти ринкової (7–8 грн/кВт·год).</li> </ul>
<p><b>Place (Місце)</b></p>	<p><b>Локальна генерація (On-site generation).</b></p> <p>Виробництво та споживання енергії відбувається в одній точці (на території підприємства), що виключає витрати на транспортування та розподіл (тариф оператора системи розподілу).</p>
<p><b>Promotion (Просування)</b></p>	<p><b>Внутрішній лобізм та звітність.</b></p> <p>Канали комунікації зі стейкхолдерами:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Презентація ТЕО (техніко-економічного обґрунтування) на Раді директорів.</li> <li>2. Щомісячні звіти про економію коштів після запуску.</li> <li>3. PR-кампанія для зовнішніх клієнтів: «Наша продукція виготовлена на 100% "зеленій" енергії».</li> </ol>

Ключовим елементом просування є акцент на конкурентних перевагах концепції. На відміну від закупівлі енергії з мережі, власна СЕС перетворює витратну статтю бюджету на актив, що генерує прибуток.

## Висновки до розділу 5

П'ятий розділ присвячено розробці стартап-проєкту, в рамках якого будівництво сонячної електростанції розглядається як створення внутрішнього інвестиційного активу підприємства. На основі проведеного маркетингового аналізу сформульовано унікальну ціннісну пропозицію проєкту, яка полягає у переході від моделі пасивного споживання енергоресурсів до моделі активного управління власною генерацією. Це дозволяє трансформувати енергетичний підрозділ із центру витрат на центр формування прибутку та підвищення вартості бізнесу.

Технологічний аудит ідеї підтвердив повну готовність проєкту до реалізації, наявність на ринку необхідного обладнання та технологій, а також відсутність суттєвих технічних бар'єрів. Розроблена ринкова стратегія лідерства за витратами базується на досягненні собівартості власної електроенергії, яка є значно нижчою за ринкові тарифи, що забезпечує підприємству довгострокову конкурентну перевагу. SWOT-аналіз проєкту засвідчив, що сильні сторони та можливості, пов'язані з економією коштів та енергонезалежністю, суттєво переважають над потенційними загрозами.

Ключовим результатом розділу є розробка комплексної маркетингової програми, орієнтованої на внутрішніх стейкхолдерів — власників та менеджмент підприємства. Програма чітко демонструє, що інвестиція в сонячну електростанцію є не просто витратою на модернізацію інфраструктури, а високоефективним фінансовим інструментом з гарантованою дохідністю. Запропоновані заходи з просування проєкту, які включають регулярну звітність про економію та PR-кампанію щодо екологічності виробництва, дозволяють забезпечити необхідну підтримку для прийняття позитивного інвестиційного рішення та успішної реалізації стартап-проєкту.

## ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення енергетичної ефективності промислового підприємства шляхом впровадження системи власної генерації на базі відновлюваних джерел енергії. На основі комплексного аналізу режимів електроспоживання досліджуваного підприємства, техніко-економічного моделювання та оцінки ризиків отримано наступні результати:

### **Аналіз енергетичного стану та обґрунтування доцільності.**

Встановлено, що в умовах стрімкого зростання тарифів на енергоносії та нестабільності об'єднаної енергосистеми України, традиційна модель енергозабезпечення підприємства стає фактором, що стримує його економічний розвиток. Проведений аналіз добових та сезонних графіків навантаження виявив значний потенціал для заміщення імпортованої електроенергії власною генерацією, особливо у весняно-літній період. Обґрунтовано, що найбільш ефективним сценарієм є будівництво наземної сонячної електростанції із підключенням за механізмом «активного споживача», що дозволяє не лише покривати власні потреби, а й монетизувати надлишки генерації, перетворюючи енергетичний підрозділ із центру витрат на центр прибутку.

### **Технічна реалізація проєкту.**

Розроблено детальне технічне рішення щодо будівництва СЕС встановленою потужністю 2464 кВт за стороною постійного струму та 1800 кВт за стороною змінного струму. В якості основного генеруючого обладнання обрано високоефективні фотоелектричні модулі Trina Solar потужністю 700 Вт (3520 шт.) та стрінгові інвертори Huawei SUN2000-330KTL-N1 (6 шт.). Запропонована конфігурація обладнання забезпечує високу питому продуктивність системи та надійність експлуатації. Проєкт передбачає повний цикл інфраструктурних робіт, включаючи монтаж систем кріплення SolarSK, будівництво нової комплектної трансформаторної підстанції 35/0,8 кВ

потужністю 2000 кВА та прокладання високовольтної кабельної лінії для видачі потужності в мережу оператора системи розподілу.

Виконано детальне технічне обґрунтування проекту з використанням імітаційного моделювання у програмному середовищі PVsyst 7.4. Побудована 3D-модель об'єкта дозволила врахувати втрати від взаємного затінення рядів та вплив альbedo. Перевірочні електротехнічні розрахунки підтвердили повну сумісність обраних фотомодулів Trina Solar та інверторів Huawei: максимальна напруга стрінгу в зимовий період (1426 В) не перевищує допустимі межі інвертора, а струмові навантаження знаходяться в межах робочих діапазонів. Розрахунок кабельних мереж підтвердив відповідність обраних перерізів кабелів (DC 6 мм<sup>2</sup> та AC 185 мм<sup>2</sup>) вимогам щодо допустимого нагрівання та втрат напруги (не більше 1,6%), що гарантує надійність та безпеку експлуатації станції.

### **Енергетичний баланс та автономність.**

За результатами імітаційного моделювання роботи станції визначено, що річний обсяг генерації електроенергії становитиме 2 765 641 кВт·год. Інтеграція СЕС дозволяє скоротити споживання електроенергії із зовнішньої мережі з 3,1 млн кВт·год до 2,2 млн кВт·год на рік. Чисте заміщення власного споживання складає 904 738 кВт·год, що забезпечує рівень енергетичної автономності підприємства на рівні 29,1%. Крім того, значний обсяг генерації у вигляді надлишків буде експортовано в зовнішню мережу, що сприятиме загальному балансуванню енергосистеми регіону в денні години.

### **Економічна ефективність інвестицій.**

Розроблена фінансова модель підтверджує високу інвестиційну привабливість проекту. При загальному обсязі капітальних вкладень (CAPEX) у розмірі 45,0 млн грн без ПДВ, сумарний річний економічний ефект становить 10,4 млн грн. Ця сума формується з двох джерел: економії на закупівлі електроенергії (4,3 млн грн) та чистого доходу від продажу надлишків на ринкових умовах (6,1 млн грн). Розрахований простий термін окупності

становить 4,62 року, що є відмінним показником для інфраструктурних проєктів з терміном експлуатації понад 25 років. Чиста приведена вартість проєкту за життєвий цикл сягає 43,3 млн грн, а індекс рентабельності дорівнює 1,96, що свідчить про те, що кожна гривня інвестицій принесе майже дві гривні прибутку у дисконтованому вимірі.

### **Екологічний та соціальний вплив.**

Впровадження СЕС має вагомий екологічний ефект, забезпечуючи скорочення викидів парникових газів на 1 272 тонни  $CO_2$  щорічно. Це дозволяє підприємству мінімізувати вуглецевий слід продукції, що є стратегічно важливим в умовах майбутнього запровадження механізму транскордонного вуглецевого коригування (СВАМ) при експорті товарів до країн Європейського Союзу. Проєкт сприяє підвищенню відповідності підприємства міжнародним стандартам ESG, покращує його інвестиційний імідж та демонструє соціальну відповідальність бізнесу.

### **Аналіз ризиків та перспективи розвитку.**

Проведений аналіз чутливості засвідчив стійкість проєкту до основних ризиків: коливання цін на електроенергію, зміни кліматичних умов та макроекономічної нестабільності. Навіть за песимістичними сценаріями проєкт залишається прибутковим. Як стратегічний напрямок подальшої модернізації обґрунтовано доцільність впровадження промислових систем накопичення енергії (BESS). Це дозволить вирішити проблему добового дисбалансу генерації та споживання, реалізувати стратегію зміщення піків навантаження для додаткової економії, а також забезпечити енергетичну безпеку виробництва шляхом створення локальної мікромережі, здатної функціонувати в умовах аварійних відключень зовнішнього електропостачання.

## **Розроблення стартап-проєкту**

Виконано розроблення стартап-проєкту впровадження сонячної електростанції, який позиціонується як внутрішній інвестиційний актив підприємства. Проведений маркетинговий аналіз та технологічний аудит підтвердили високу конкурентоспроможність ідеї порівняно з традиційною закупівлею електроенергії з мережі. Обрана ринкова стратегія лідерства за витратами та розроблена програма просування проєкту серед стейкхолдерів дозволяють прогнозувати успішну реалізацію проєкту з окупністю інвестицій в межах розрахункового періоду, що забезпечить підприємству довгострокову енергетичну незалежність та зниження собівартості продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 р. № 2019-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
2. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 р. № 555-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15>.
3. Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та «зеленої» трансформації енергетичної системи України : Закон України від 30.06.2023 р. № 3220-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-20>.
4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» : схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р.
5. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021.
6. Кодекс системи розподілу : затверджено постановою НКРЕКП від 14.03.2018 р. № 310.
7. Global Market Outlook for Solar Power 2024-2028 / SolarPower Europe. Brussels, 2024. URL: <https://www.solarpowereurope.org>.
8. Renewable Capacity Statistics 2024 / International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi, 2024.
9. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.
10. Vertex N TSM-NEG21C.20 User Manual & Datasheet / Trina Solar. 2024. URL: <https://www.trinasolar.com/en-gl/product/VertexN-NEG21C.20>.
11. SUN2000-330KTL-H1 Smart String Inverter Technical Specifications / Huawei Technologies Co., Ltd. 2024. URL: <https://solar.huawei.com>.
12. SolarSK Ground Mounting Systems. Technical Documentation / SolarSK. Kyiv, 2024.

13. Meteonorm Version 8. Global Meteorological Database for Engineers, Planners and Education. URL: <https://meteonorm.com>.
14. Трохименко П. П., Басок Б. І. Енергетичний аудит та менеджмент : навч. посіб. Київ : Фенікс, 2019. 280 с.
15. Денисюк С. П. Енергетична ефективність та відновлювані джерела енергії : монографія. Київ : ВПІ ВПК «Політехніка», 2018. 312 с.
16. Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism (CBAM). *Official Journal of the European Union*. 2023. L 130.
17. Методика визначення енергетичної ефективності будівель : наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. № 169.
18. Сайт ДП «Оператор ринку». Результати торгів на РДН. URL: <https://www.oree.com.ua>.
19. Стартап-проект: рекомендації до виконання розділу магістерської дисертації для студентів усіх спеціальностей / Уклад.: О.А. Гавриш, К.О. Бояринова, К.О. Копішинська. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 28 с.

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

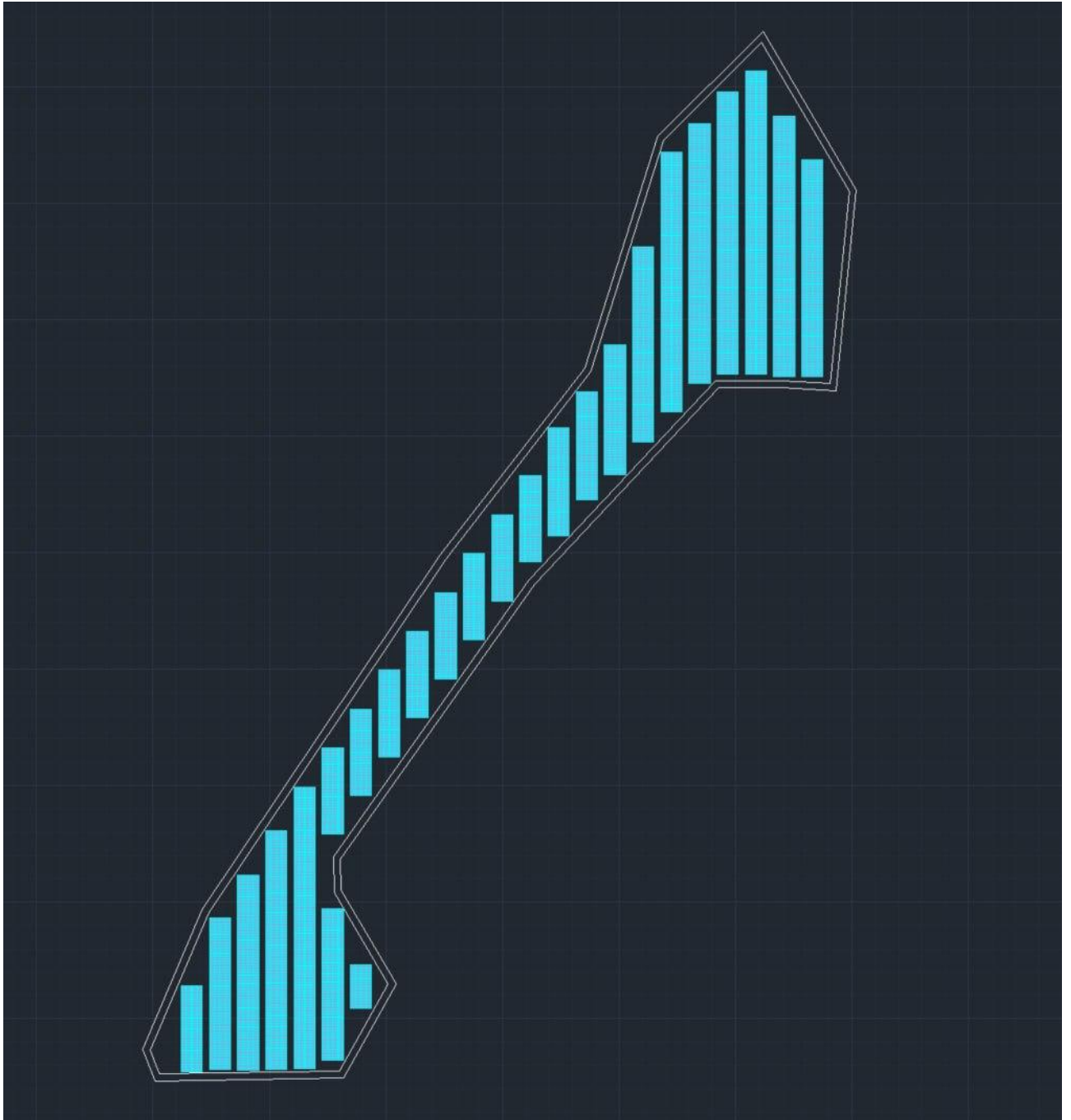


Рисунок А.1 – Схема розташування фотоелектричних модулів на генеральному плані ділянки

# ДОДАТОК Б

Mono Multi Solutions

## Vertex N

N-type i-TOPCon bifacial dual glass  
Monocrystalline module

PRODUCT: TSM-NEG21C.20

POWER RANGE: 695-720W

**720W**

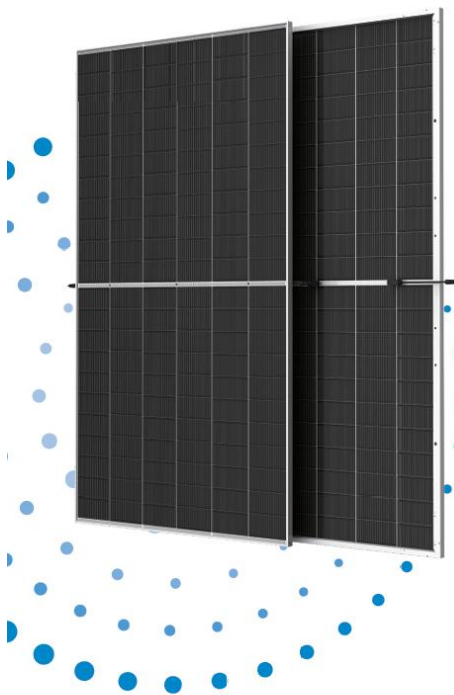
MAXIMUM POWER OUTPUT

**0~+5W**

POSITIVE POWER TOLERANCE

**23.2%**

MAXIMUM EFFICIENCY



### High customer value

- Standardized module size with flagship module power, 35W higher compared with conventional technology
- Low voltage design with higher string power, effectively reducing BOS (Balance of System) and LCOE (Levelized Cost of Energy) by 2%~6%
- Higher container space utilization effectively reduces the freight cost
- Certified Low-Carbon Footprint
- The Star of LCOE



### High power up to 720W

- Up to 23.2% module efficiency, on 210 innovation platform
- Patented i-TOPCon technology with continuous efficiency improvement, including contact resistance reduction, rear reflection enhancement and edge quality repairment



### High reliability

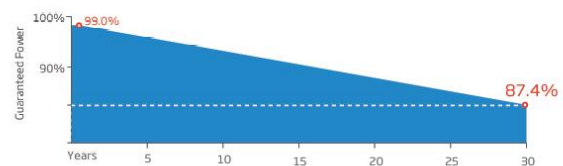
- Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology and high-density packaging
- Reduced risks of hot-spot with half-cut technology
- Certified high resistance against salt, ammonia, sand, PID, LID, LeTID
- Sustainable in harsh environments and extreme weather conditions



### High energy yield

- Excellent low irradiation performance, validated by 3rd party
- Lower temperature coefficient (-0.29%/°C)
- Higher bifaciality, with up to 10%~20% additional power gain from back side depending on albedo
- Reliable dual-glass structure with 30-year power guarantee

### Trina Solar's Vertex Bifacial Dual Glass Performance Warranty



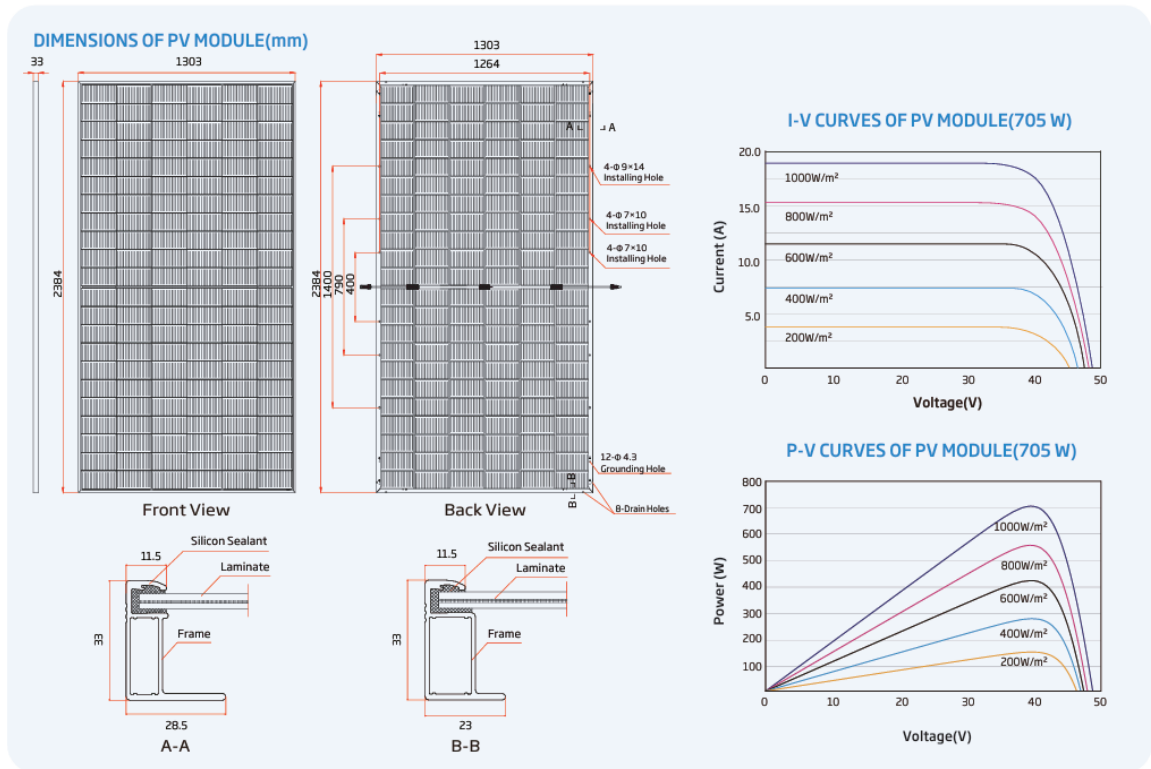
### Comprehensive Products and System Certificates



IECG1215/IECG1730/IECG1701/IECG271G  
 ISO 9001: Quality Management System  
 ISO 14001: Environmental Management System  
 ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification  
 ISO45001: Occupational Health and Safety Management System  
 ISO14067: Product Carbon Footprint Limited Assurance

**TrinaSolar**

Рисунок Б.1 – Технічний паспорт (Datasheet) фотомодуля Trina Solar TSM-700NEG21C.20.



**MECHANICAL DATA**

Solar Cells	N-type i-TOPCon Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2384×1303×33 mm (93.86×51.30×1.30 inches)
Weight	38.3 kg (84.4 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches), Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)

Frame	33mm(1.30 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm <sup>2</sup> (0.006 inches <sup>2</sup> ) Portrait: 350/280 mm(13.78/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 / TS4 Plus / TS4*

\*Please refer to regional datasheet for specified connector.

**ELECTRICAL DATA (STC & NOCT)**

Testing Condition	STC		NOCT		STC		NOCT		STC		NOCT		STC		NOCT	
Peak Power Watts - P <sub>MAX</sub> (Wp)*	695	531	700	534	705	540	710	543	715	547	720	551				
Power Tolerance - P <sub>MAX</sub> (W)	0 ~ +5															
Maximum Power Voltage - V <sub>MPP</sub> (V)	40.3	37.9	40.5	38.0	40.7	38.3	40.9	38.5	41.1	38.7	41.3	38.8				
Maximum Power Current - I <sub>MPP</sub> (A)	17.25	14.00	17.29	14.04	17.33	14.08	17.36	14.12	17.40	14.14	17.44	14.19				
Open Circuit Voltage - V <sub>OC</sub> (V)	48.3	45.9	48.6	46.1	48.8	46.3	49.0	46.5	49.2	46.7	49.4	46.9				
Short Circuit Current - I <sub>SC</sub> (A)	18.28	14.72	18.32	14.76	18.36	14.80	18.40	14.83	18.44	14.86	18.49	14.90				
Module Efficiency η <sub>m</sub> (%)	22.4		22.5		22.7		22.9		23.0		23.2					

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. NOCT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s. \*Measuring tolerance: ±3%.

**Electrical characteristics with different power bin (reference to 5% & 10% backside power gain)**

	5%		10%		5%		10%		5%		10%		5%		10%	
Total Equivalent power - P <sub>MAX</sub> (Wp)	730	765	735	770	740	776	746	781	751	787	756	792				
Maximum Power Voltage - V <sub>MPP</sub> (V)	40.3	40.3	40.5	40.5	40.7	40.7	40.9	40.9	41.1	41.1	41.3	41.3				
Maximum Power Current - I <sub>MPP</sub> (A)	18.11	18.98	18.15	19.02	18.20	19.06	18.23	19.10	18.27	19.14	18.31	19.18				
Open Circuit Voltage - V <sub>OC</sub> (V)	48.3	48.3	48.6	48.6	48.8	48.8	49.0	49.0	49.2	49.2	49.4	49.4				
Short Circuit Current - I <sub>SC</sub> (A)	19.19	20.11	19.24	20.15	19.28	20.20	19.32	20.24	19.36	20.28	19.41	20.34				

Power Bifaciality@0±5%.

**TEMPERATURE RATINGS**

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P <sub>MAX</sub>	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of V <sub>OC</sub>	-0.24%/°C
Temperature Coefficient of I <sub>SC</sub>	0.04%/°C

**MAXIMUM RATINGS**

Operational Temperature	-40 ~ +85° C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC) 1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	35A

**WARRANTY**

12 year Product Workmanship Warranty
30 year Power Warranty
1% first year degradation
0.40% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

**PACKAGING CONFIGURATION**

Modules per box:	33 pieces
Modules per 40' container:	594 pieces

## ДОДАТОК В

### ► SUN2000-330KTL-H1 Smart String Inverter

For APAC, LATAM & EUROPE



Max. Efficiency  $\geq 99.0\%$



Smart Connector-level Detection (SCLD)



Smart Self-cleaning Fan (SSCF)



IP66 Protection



MBUS Supported



Smart String-level Disconnection (SSLD)

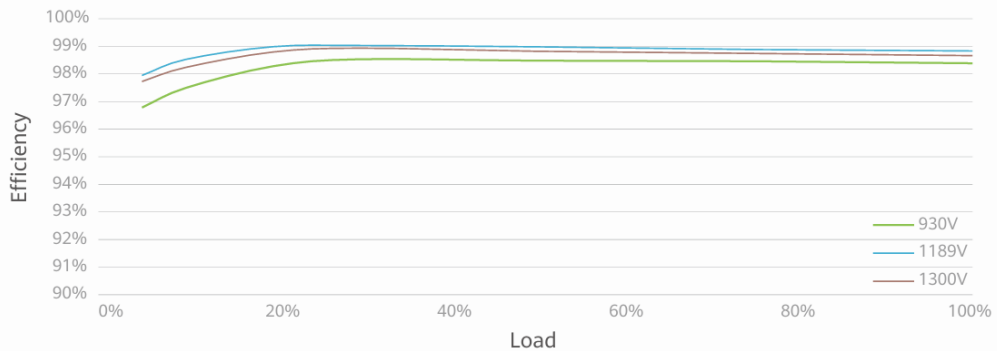


Smart IV Curve Diagnosis Supported



Surge Arresters for DC & AC

#### Efficiency Curve



#### Circuit Diagram

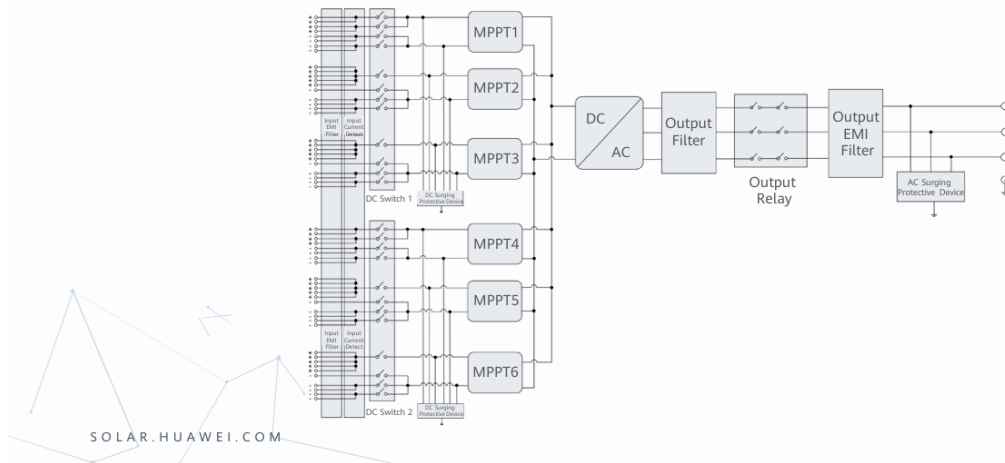


Рисунок В.1 – Технічний паспорт (Datasheet) інвертора Huawei SUN2000-330KTL-H1.

## Technical Specifications

Efficiency	
Max. Efficiency	≥ 99.03%
European Efficiency	≥ 98.8%
Input	
Max. Input Voltage	1,500 V
Number of MPPT	6
Max. Current per MPPT	65 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	115 A
Max. PV Inputs per MPPT	4/5/5/4/5/5
Start Voltage	550 V
MPPT Operating Voltage Range	500 V ~ 1,500 V
Nominal Input Voltage	1,080 V
Output	
Nominal AC Active Power	300,000 W
Max. AC Apparent Power	330,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	330,000 W
Nominal Output Voltage	800 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Nominal Output Current	216.6 A
Max. Output Current	238.2 A
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Total Harmonic Distortion	THD <sub>i</sub> < 1% (Rated)
Protection	
Smart String-level Disconnection (SSLD)	Yes
Smart Connector-level Detection (SCLD)	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Detection	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Detection Unit	Yes
Communication	
Display	LED Indicators, WLAN + APP
USB	Yes
MBUS	Yes
RS485	Yes
General	
Dimensions (W x H x D)	1,048 x 732 x 395 mm
Weight (with mounting plate)	≤ 112 kg
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude without Derating	4,000 m
Relative Humidity	0 ~ 100% (Non-condensing)
DC Connector	HH4SMM4TMSPA / HH4SFM4TMSPA
AC Connector	Support OT / DT Terminal (Max. 400 mm <sup>2</sup> )
Protection Degree	IP 66
Anti-corrosion Protection	C5-Medium
Topology	Transformerless
Standards Compliance	
IEC 62109-1/-2, IEC 62920, IEC 60947-2, EN 50549-2, IEC 61683, etc.	

## ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1 – Довідкова таблиця допустимих струмових навантажень

Переріз жили, мм <sup>2</sup>	Допустимі струмові навантаження кабелів, А							
	1-жильних				2, 3-жильних		4-жильних	
	постійний струм		змінний струм		постійний струм		змінний струм	
	в повітрі	В грунті	в повітрі	В грунті	в повітрі	В грунті	в повітрі	В грунті
2,5	30	32	22	30	21	28	20	26
4	40	41	30	39	29	37	27	34
6	51	52	37	48	37	44	34	41
10	69	68	50	63	50	59	46	55
16	93	83	68	82	67	77	62	72
25	117	159	92	106	87	102	81	95
35	143	192	113	127	106	123	99	114
50	176	229	139	150	126	143	117	133
70	223	282	176	184	161	178	149	165
95	275	339	217	221	197	214	183	199
120	320	388	253	252	229	244	213	227
150	366	434	290	283	261	274	243	255
185	425	494	336	321	302	312	281	290
240	508	576	401	374	359	363	334	337

## ДОДАТОК Д

Таблиця Д.1 – Детальна технічна специфікація основного обладнання

№ п.п.	Найменування	Кількість
<b>1.</b>	<b>Проектні роботи</b>	
1.1.	Розробка робочого проекту:	1 шт
1.2.	Проект зовнішнього приєднання	1 шт
1.3.	Інженерні вишукування: геологія та геодезія	1 шт
<b>2.</b>	<b>Обладнання</b>	
2.1.	Сонячні фотомодулі Trina Solar TSM-700NEG21C.20 потужністю 700 Вт	3 504 шт
2.2.	Мережевий інвертор Huawei Technologies SUN2000-330KTL-H1 потужністю 300 кВт	6 шт
2.3.	Пристрій моніторингу Huawei Technologies SmartLogger 3000A with PLC	1 шт
2.4.	Опорні конструкції для ФЕМ із холоднокатаної гарячеоцинкованої рулонної сталі Solar SK	3504 шт
<b>3.</b>	<b>Будівельно-монтажні роботи</b>	
3.1.	Кабель постійного струму DC: 1х6мм - КВЕ	30 169 м.пог.

## Продовження таблиці Д.1:

3.2.	Конектора Stäubli Electrical Connectors AG MC4	320 шт
3.3.	Кабель змінного струму АС броньований 1 кВ: АВБШв 3х(1х185)	1 284 м.пог.
3.4.	Комплекти витратних матеріалів для прокладки кабелів	
3.5.	Система заземлення:	1 компл.
3.6.	Супроводні витратні та будівельні матеріали	
3.7.	Система відеоспостереження <b>HIKVISION</b> :	1 компл.
3.8.	Система освітлення	1 компл.
3.9.	Паркан периметральний із жорсткої зварної металевої оцинкованої сітки із полімерним покриттям RAL6005 висотою 1,7 м	1 300 м.пог.
3.10.	Спецтехніка та механізми (палейбій, ямобур, маніпулятор, навантажувач, екскаватор)	
3.11.	Транспортування основного обладнання до місця встановлення ФЕС	
3.12.	Роботи з вирівнювання ділянки під ФЕС	
3.13.	Шефмонтаж та пусканалагодження ФЕС	
<b>4.</b>	<b>Роботи з встановлення КТП</b>	
4.1.	Комплектна трансформаторна підстанція (КТП) 2000 кВА 35/0,8 кВ:	1 шт
4.2.	Релейний захист. (проект, обладнання та роботи по встановленню)	1 шт
4.3.	Прокладка кабельної лінії ЛЕП кабель 35 кВ: АПвЭгаПу-35 3х(1х70/16)	1 650 м
<b>5.</b>	<b>Послуги</b>	
5.1.	Внесення до реєстру державної інспекції архітектури та містобудування України (ДІАМ)	1 шт
5.2.	Встановлення автоматизованої системи комерційного обліку (АСКОЕ):	1 шт
5.3.	Підключення до Активного Споживача	1 шт