

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ОФІСНОГО ЦЕНТРУ
ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО
ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕБ-24 мг

Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Владислав ДЕМБОВСЬКИЙ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник _____/ Артем ЧЕРНЮК

(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/ Андрій МЕЗЕРЯ

(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Артем ЧЕРНЮК

(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/ Ігор КИРИСОВ

(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА**

Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Енергетична безпека

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

К.Т.Н., доцент Артем ЧЕРНЮК

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

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

**на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти**

здобувачі вищої освіти Владиславу ДЕМБОВСЬКОМУ

1. Тема «Підвищення рівня енергетичної безпеки офісного центру шляхом впровадження системи комплексного енергозабезпечення»

затверджена наказом по академії № 4801-5/3665 від «06» жовтня 2025 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «15» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Теоретичні та практичні розробки вітчизняних та зарубіжних авторів за темою роботи, періодичні видання

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):

ВСТУП; РОЗДІЛ 1. КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ: КЛАСИФІКАЦІЇ, ПРОБЛЕМИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ; РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОФІСНОГО ЦЕНТРУ З ДОДАТКОВИМ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ; РОЗДІЛ

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

1. Ситуаційний план об'єкту,
2. Однолінійна схема електропостачання,
3. Структурна схема системи комплексного енергопостачання об'єкту,
4. Принципова однолінійна схема системи комплексного електропостачання,
- 5-7. Графічний матеріал до лабораторно-дослідницької та/або проєктної частини.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «10» жовтня 2025р.

Керівник

(підпис)

Артем ЧЕРНЮК

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ Владислав ДЕМБОВСЬКИЙ

(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження Проведення аналізу наукової літератури	02.10.25 — 05.10.25	
2	Виконання першого розділу дипломної роботи	06.10.25 — 15.10.25	
3	Виконання другого розділу дипломної роботи	16.10.25 — 29.10.25	
4	Виконання третього розділу дипломної роботи	30.10.25 — 26.11.25	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.25 — 07.12.25	

Студент (ка)

(підпис)

Владислав ДЕМБОВСЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Сторінок тексту – 80; рисунків – 10; таблиць – 14;
літературних джерел – 20.

В роботі проведений аналіз останніх тенденцій розвитку технологій комплексного енергозабезпечення. Визначено актуальні напрямки та технології, які мають перспективи впровадження в Україні.

Розроблено проєкт системи комплексного енергозабезпечення офісного центру у м. Харків.

Складена структурна схема системи комплексного енергозабезпечення, проведено аналіз технологічного процесу об'єкту, розраховані очікувані електричні навантаження, складена схема живлення споживачів, розраховані струмові навантаження, обрано апарати захисту та струмоведучі частини, визначені показники надійності роботи системи розподілення електричної енергії.

Проведено ескізе проєктування сонячної фотоелектричної електростанції

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ,
ФОТОЕЛЕКТРИЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, СТРУКТУРНА СХЕМА

ABSTRACT

Text pages – 80; drawings – 10; tables – 14; literary sources - 20.

The work analyzes the latest trends in the development of complex energy supply technologies. Current trends and technologies that have prospects for implementation in Ukraine have been identified.

The project of the complex energy supply system of the office center in the city of Kharkiv has been developed.

The structural diagram of the complex energy supply system was drawn up, the technological process of the facility was analyzed, the expected electrical loads were calculated, the power supply scheme of consumers was drawn up, the current loads were calculated, protection devices and current-carrying parts were selected, and the reliability indicators of the electrical energy distribution system were determined.

A design sketch of a solar photovoltaic power plant was carried out

**COMPLEX POWER SUPPLY SYSTEM, PHOTOELECTRIC POWER PLANT,
POWER SUPPLY SYSTEM DESIGN, STRUCTURAL DIAGRAM**

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ: КЛАСИФІКАЦІЇ, ПРОБЛЕМИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1.1 Огляд сучасного стану енергетичних ресурсів

1.2 Технології відновлюваної енергетики

Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ;

2.1 Складання структурної схеми комплексного
електропостачання об'єкту

2.2 Характеристика об'єкту проектування та формування основних
параметрів його електрозабезпечення

2.3 Характеристика мікроклімату приміщень навчальних корпусів
за умовами електрозабезпечення

2.4 Проектування електрозабезпечення об'єкту

2.5. Проектування сонячної фотоелектричної електростанції

Висновки до розділу 2

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Актуальність теми обумовлено тим, що офісний центр який розглядається в роботі, виконує важливу організаційну функцію у логістичній структурі відповідального виробництва та процесу постачання, тому, він носить критично важливий характер для забезпечення загальної стійкості регіону.

З огляду на це стає актуальною робота з підвищення рівня енергетичної безпеки цього об'єкту шляхом впровадження системи комплексного енергозабезпечення.

В першій аналітичній частині проєкту проведено аналіз стану розвитку систем альтернативної генерації електричної енергії та проведено ґрунтовний аналітичний огляд цієї теми. Розглянуті можливі перспективні технології які можуть бути використані при вирішенні поставленої задачі.

В другій (проєктній) частині роботи було проведено проєктування системи комплексного електропостачання офісного центру.

Було розроблено структурну схему такої системи, яка має три джерела живлення та засоби акумулювання електричної енергії. Джерелами живлення є електрична мережа, сонячна фотоелектрична електростанція та дизель-генератор.

На підставі розробленої структурної схеми було проведено проєктування системи електропостачання об'єкту. Було розраховано очікувані електричні навантаження, струмові навантаження, обрано апарати захисту та струмоведучі частини, розроблена принципова однолінійна схема.

Було проведено ескізне проєктування фотоелектричної електростанції, розроблена принципова технологічна схема, визначено спосіб встановлення та кількість фотоелектричних модулів, розраховано очікувану річну кількість енергії, яку генерує електростанція.

Відповідно до принципової технологічної схеми електростанції було здійснено підбір елементної бази до якої входить гібридний інвертор, фотоелектричні модулі та блоки акумуляторів. Визначені технічні

характеристики вказаного обладнання та його монтажні та встановлювальні схеми.

Розроблена схема підключення групи однофазних інверторів до джерел живлення та трифазних споживачів.

Розраховані показники надійності системи розподілення електроенергії мережею системи комплексного електропостачання.

РОЗДІЛ 1. КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ: КЛАСИФІКАЦІЇ, ПРОБЛЕМИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1.1 Огляд сучасного стану енергетичних ресурсів

Сьогодні потрібні більш стійкі енергетичні технології замінити звичайні джерела електроенергії, такі як викопне паливо, через світові потреби, особливо в розвинених і розвиваються країни [1]. Джерела енергії на основі викопного палива завдають шкоди екологічні проблеми, такі як глобальне потепління та зміна клімату [2].

Викиди парникових газів в атмосферу від виробництва електроенергії зросли в геометричній прогресії за останні кілька десятиліть [3]. Тому технології відновлюваної енергії (ВДЕ), такі як сонце, вітер, гідро, були введені біомаса, геотермальна та воднева енергія виробляти електроенергію для подолання сучасної екологічної кризи [4–6]. Належний до їх екологічно чистих характеристик і здатності генерувати потужності з нульовим або майже нульовим викидом забруднюючих речовин в повітря отримує ВДЕ все більше й більше уваги через зростання обізнаності про чистоту середовища в суспільстві [7,8]. РЕ не тільки сприяє стійкості але також має економічне значення. Це приносить користь економіці, скорочуючи вартість виробництва електроенергії, оскільки вона генерує енергію за допомогою природних, відновлювані ресурси [9]. Крім того, це може бути вторинним засобом доходу оскільки споживачі можуть продавати свою вироблену електроенергію назад до електромережі.

Хоча впровадження джерел ВДЕ для виробництва електроенергії зростає, більшість виробництва електроенергії все ще здійснюється за рахунок використання викопного палива через переривчастість РЕ і високу початкову вартість. Наприклад, фотоелектрична система може працювати лише вдень, вітрова турбіна може працювати лише за наявності

достатнього потоку повітря та лише гідротурбіна працює, коли є потенційна енергія, викликана потоком води. Отже, дослідники в усьому світі проводять ретельні дослідження підвищення ефективності ВДЕ, а також подолання їх обмежень.

Навіть у XXI столітті більшість країн все ще залежать від викопного палива виробництва електроенергії, брак технологій, ресурсів та умов повністю використовувати ВДЕ для виробництва електроенергії. Тим не менш, сектор відновлюваної електроенергії в секторі електроенергетики сьогодні швидко зростає через до свідомості суспільства щодо турботи про навколишнє середовище. На рис. 1.1 наведено приклад даних та аналізу використання викопного палива, порівняння виробництва викопного палива з виробництвом ВДЕ та тенденція різних видів використання ВДЕ для виробництва електроенергії.

На рис. 1.1 показано загальне використання викопного палива та розподілені сектори США в 2020 році. У 2020 році загальне використання викопного палива в США становив 21 365 ТВт-год. Нафта внесла найбільший с 44% із загальним обсягом 9400,6 ТВт*год. Природний газ вніс 9187 ТВт*год, що становило 43%. Найнижче спожито вугілля з 2777 ТВт-год покоління. Як показано на малюнку, до комплексу поставки входить п'ять секторів енергії з ресурсів викопного палива. Транспортні галузі використовуються найбільше викопного палива, що становило 6623,2 ТВт*год, або 31% у 2020 році. Крім того, 90% вугілля дало 2392 ТВт-год електроенергії порівняно з 36% природного газу для виробництва 3529,5 ТВт-год електроенергії в тому ж році.

На рис. 1.2 показано порівняння виробництва викопного палива та відновлюваних джерел енергії зростання покоління з 2010 по 2019 рр. [11]. Через спалах пандемії коронавірусу, актуальні дані про світове виробництво електроенергії у 2021 році все ще недоступний на різних платформах. Розрив між виробництвом викопного палива та виробництвом

ВДЕ зменшився з року в рік 2010–2020 роки. Використання викопного палива для виробництва електроенергії незначне збільшився з 121 531 ТВт-год у 2010 році до 136 131 ТВт-год у 2019 році, але потім зменшився у 2020 р. З іншого боку, відновлювана генерація значно зросла з 4098 ТВт-год у 2010 році до 7140 ТВт-год у 2019 році.

Порівняно з виробництвом викопного палива, виробництво ВДЕ було набагато меншим, лише 3,26–5,60% виробництва електроенергії з 2010 по 2020 рр. У 2020 р. виробництво ВДЕ перевищило виробництво викопного палива покоління, особливо під час пандемії. Вважається, що в майбутньому виробництво електроенергії в житлових районах може повністю забезпечуватися за рахунок відновлюваної енергії.

На рис. 1.3 показано загальне використання відновлюваної енергії для виробництва електроенергії з 2010 по 2020 рр. [12]. Згідно з глобальним енергетичним оглядом МЕА у 2021 році загальне використання відновлюваної енергії значно зросло з 4098 ТВт-год у 2010 році до 7627 ТВт-год у 2020 році. Гідроенергетика вносить найбільшу частину потужностей відновлюваної енергії в усьому світі для виробництва електроенергії, хоча темпи зростання гідроенергетики найнижчі порівняно з іншими джерелами відновлюваної енергії. На з іншого боку, виробництво сонячної енергії демонструє тенденцію до зростання, особливо тому, що технології сонячної енергії прогресивно розвиваються вдосконалено дослідниками для отримання вищої ефективності перетворення енергії.

Виробництво енергії вітру також демонструє значну тенденцію до зростання.

Порівняно з трьома основними відновлюваними ресурсами, біоенергією та геотермальна енергія має незначний внесок з 2010 року. Це тому, що лише певні місця підходять для впровадження геотермальної

енергії електростанція, на додаток до складного процесу виробництва біоенергетики.

Рисунок 1.4 показує світову середньозважену вирівняну вартість енергії (LCOE) між 2010 і 2020 роками [13]. Вирівняна вартість енергії (LCOE), як відомо, оцінює середню вартість електроенергії на 1 кВт/год для генератора з урахуванням усіх очікуваних витрат на генератор з різних відновлюваних джерел енергії, включаючи паливо, капітал, технічне обслуговування та ринкову ціну електроенергії [14]. Згідно з витратами IRENA на виробництво відновлюваної електроенергії у 2020 році, система сонячної енергії (фотоелектрична та концентрована сонячна енергія) та вітрова система (берегова і офшорні) показали значне зниження LCOE з року в рік 2010–2020 роки. Найбільше падіння показала концентруюча сонячна енергосистема серед усіх відновлюваних джерел енергії, які впали на 85% з 0,381 дол. США/кВт-год до 0,057 дол. США/кВт-год протягом 2010–2020 років. Це явище відбулося за рахунок удосконалення сучасних технологій у системі концентрації сонячної енергії з точки зору економії масштабу, конкурентоспроможності ланцюги поставок і досвід розробників [13]. З іншого боку, гідроенергії, біомаси та геотермальної системи показали незначні зміни та підтримання в нижньому діапазоні LCOE протягом року 2010–2020 роки. Крім того, LCOE водневої енергетичної системи оцінюється нижче 0,05 доларів США/кВт-год [15]. Вважається одним з низьких LCOE.

порівняно з іншими джерелами відновлюваної енергії.

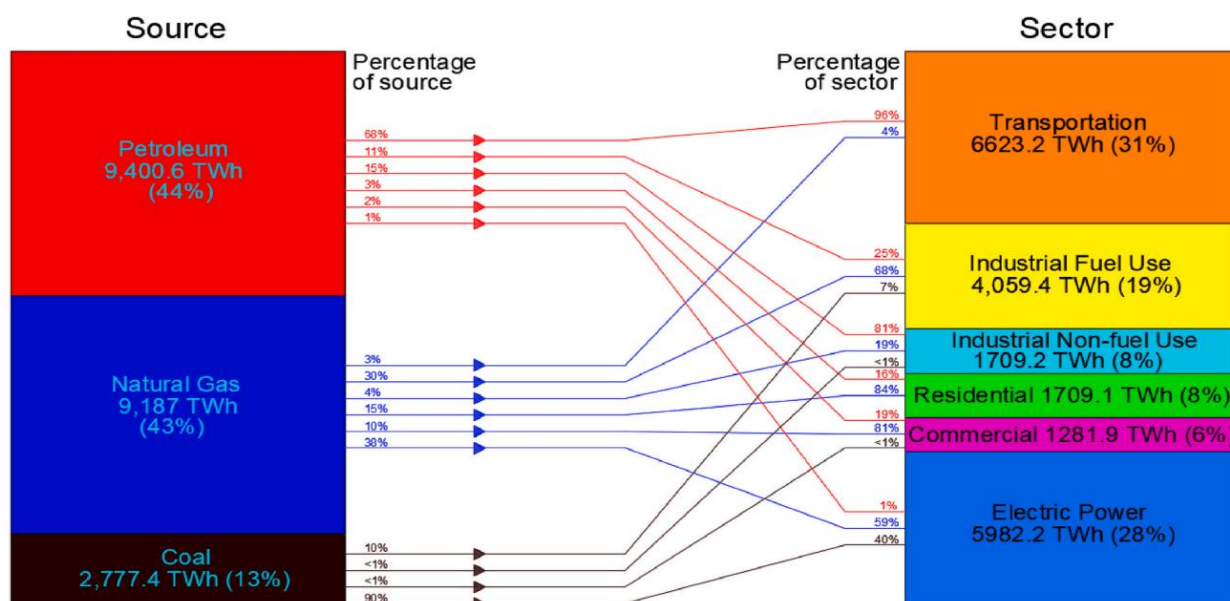


Рис. 1.1 Використання викопного палива для різних секторів у США (2020)

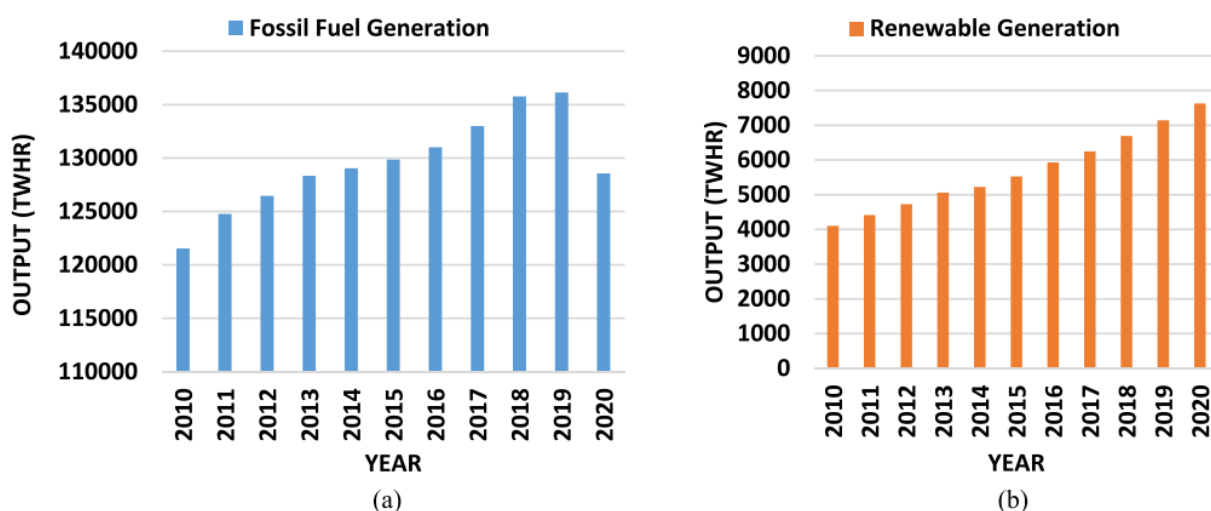


Рис. 1.2 Порівняння (а) виробництва викопного палива та (б) зростання виробництва відновлюваних джерел (2010–2020 рр.)

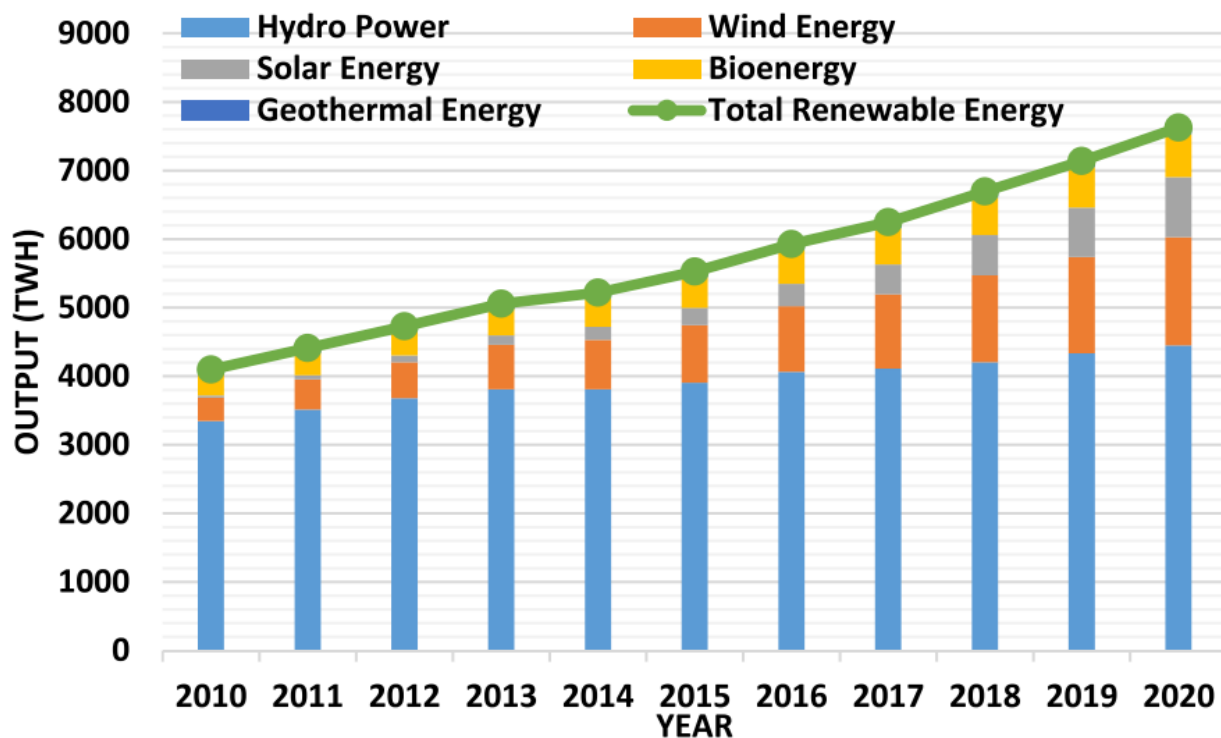


Рис. 1.3 Загальне використання відновлюваної енергії (2010–2020)

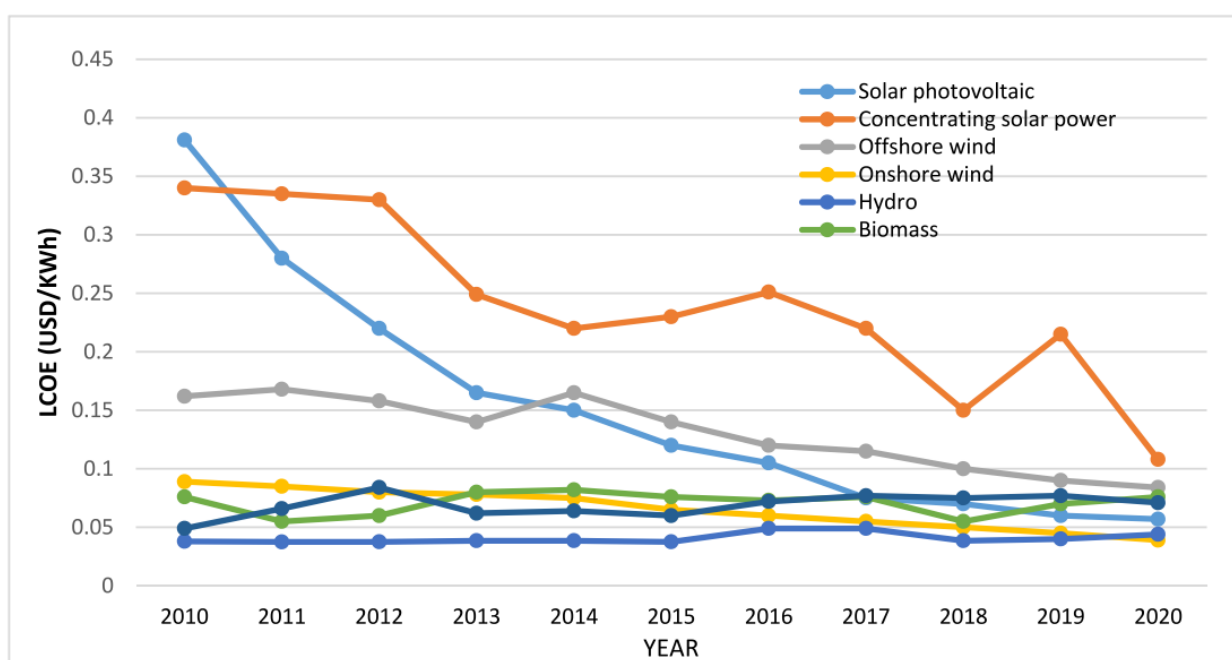


Рис. 1.4 Зрівняна вартість енергії за глобальною середньозваженою шкалою комунальних послуг (LCOE) (2010–2020)

1.2 Технології відновлюваної енергетики

Відновлювана енергія все ширше використовується для виробництва електроенергії сучасний світ. Особливо це пов'язано з стурбованістю суспільства екологічні проблеми, що впливають із традиційного методу виробництва електроенергії. П'ять основних груп відновлюваної енергії: сонячна енергія, гідроенергія, енергія вітру, біоенергетика та геотермальна енергія, мають власні умови роботи та ефективність перетворення енергії, отже, технології ВДЕ залежать від місця розташування та стану.

Сонячна енергія

Сонячна енергія (SE) — це енергія променистої іонізації, випромінювана Сонцем, і одна з енергій, яка широко використовується в усьому світі [16]. Для того, щоб покращити та підвищити ефективність перетворення SE, досліджує більшість дослідників різноманітні технології оптимізації конструкції системи SE [17].

Дослідники також оптимізують витрати та перетворення енергії зменшення впливу на навколишнє середовище [18]. Є два основних типи SE системи, які являють собою сонячну теплову енергію та фотоелектричну енергію, зазвичай реалізується в країнах, що розвиваються, і в розвинених країнах. Ці дві системи SE також поступово покращуються дослідниками отримати кращу ефективність.

Фотоелектричні технології

Фотоелектрична (PV) енергетика є однією з популярних технологій SE як перспективного джерела енергії в майбутньому [19]. Поточний фотоелектрична енергія забезпечує приблизно 2% світового попиту на електроенергію [20]. Шоклі і Кейссер показали, що звичайний сонячний елемент може досягти лише 31% ефективності перетворення, яка відома як межау Шоклі-Квейссера (SQ) [21]. Щоб подолати ліміт SQ, деякі з'явилися фотоелектричні технології, такі як фотоелектричні концентратори (CPV) система, перетворювачі гарячих носіїв, багатоперехідні сонячні елементи

(MAT), плаваюча фотоелектрична генерація та низхідне перетворення високої енергії фотонів.

Концентрована фотоелектрична

Концентрована фотоелектрична система (CPV) є методом фокусування світло на фотоелектричних приймачах, використовуючи концентруючу оптику на невеликій площі сонця клітини. Призначення CPV - збір пучка випромінювання та розсіяного випромінювання, яке потім концентрується на сонячних елементах [22]. Є три типи CPV, засновані на факторі концентрації, які є низькими концентрація (1–40х), середня концентрація (40–300х) і висока концентрація (HCPV) (300–2000х) [23]. HCPV є найбільш потенційним як має найвищу ефективність [24]. За матеріалами International Energy

Агентство (IEA), ефективність поточної системи CPV може досягти принаймні 40% [25]. Існує більше нових досліджень CPV за допомогою різні типи концентратора; і всі вони мають свої переваги та недоліки, як показано в таблиці 1.1 Тим не менш, системи CPV справді можуть надати практичний позитивний вплив на широкомасштабне планування МП із багатообіцяючими функціями.

Таблиця 1.1 Переваги та недоліки сонячних концентраторів.

Type of Concentrator	Advantages	Reference	Disadvantages	Reference
Fresnel lens	a. Light weight b. Less volume c. Mass production	[26]	a. Loss of light possibility caused by the incidence on draft facet b. Rays are improperly focused at receiver due to defects at the edges of facets c. Light intensity is reduced in order to overcome the above disadvantages.	[27,28]
Dielectric internally reflecting concentrator	a. Able to operate without any external cooling treatment b. High concentration ratio and efficiency	[29]	Unable to harness all radiation energy, and only offers media with low index	[29]
Parabolic trough	Effective on direct solar radiation energy	[30]	a. Expensive b. Only applicable on direct radiation c. Low efficiency of optic and quantum	[30]
Compound parabolic concentrator	Able to transmit most of the radiation within accepted boundary through the output aperture into receivers	[31]	Requires external tracking system in order to get optimum efficiency	[32]
Quantum dot concentrator	a. Inexpensive sheets b. Lesser problem of heat dissipation c. Non-tracking concentrator	[33,34]	Restricted by strict standard of luminescent dyes	[35]
Hyperboloid concentrator	Compact	[36]	Requires lens at entrance aperture in order to operate effectively	[36]

Гарячий конвертер носія

Перетворювач з гарячим носієм — це сонячна батарея, яка використовує надмірне фото енергії, щоб генерувати більше електричної енергії [37]. Спільне

Квантово-використанні SE перетворювачі, переходи енергії відбуваються між двома наборами електронних станів, які відомі як провідність і валентних зон, за допомогою поглиненої енергії фотонів [38]. однак, зазвичай надлишок фотоенергії між пороговими енергетичними проміжками розсіюється у вигляді тепла. Тому пропонуються гарячі конвертери носіїв підвищення ефективності SE шляхом використання надмірної енергії фотонів система. Основна концепція конвертера гарячої носії полягає в зменшенні швидкість охолодження фотозбудженого носія та надання більш тривалого часу для носії енергії фотонів, які будуть використовуватися та взаємодіяти під вищими температури, як показано на рис. 1.5 [39]. У результаті ефективність перетворення, виробленого конвертерами з гарячим носієм, може досягати приблизно 65 % що значно вище, ніж у звичайної камери [40].

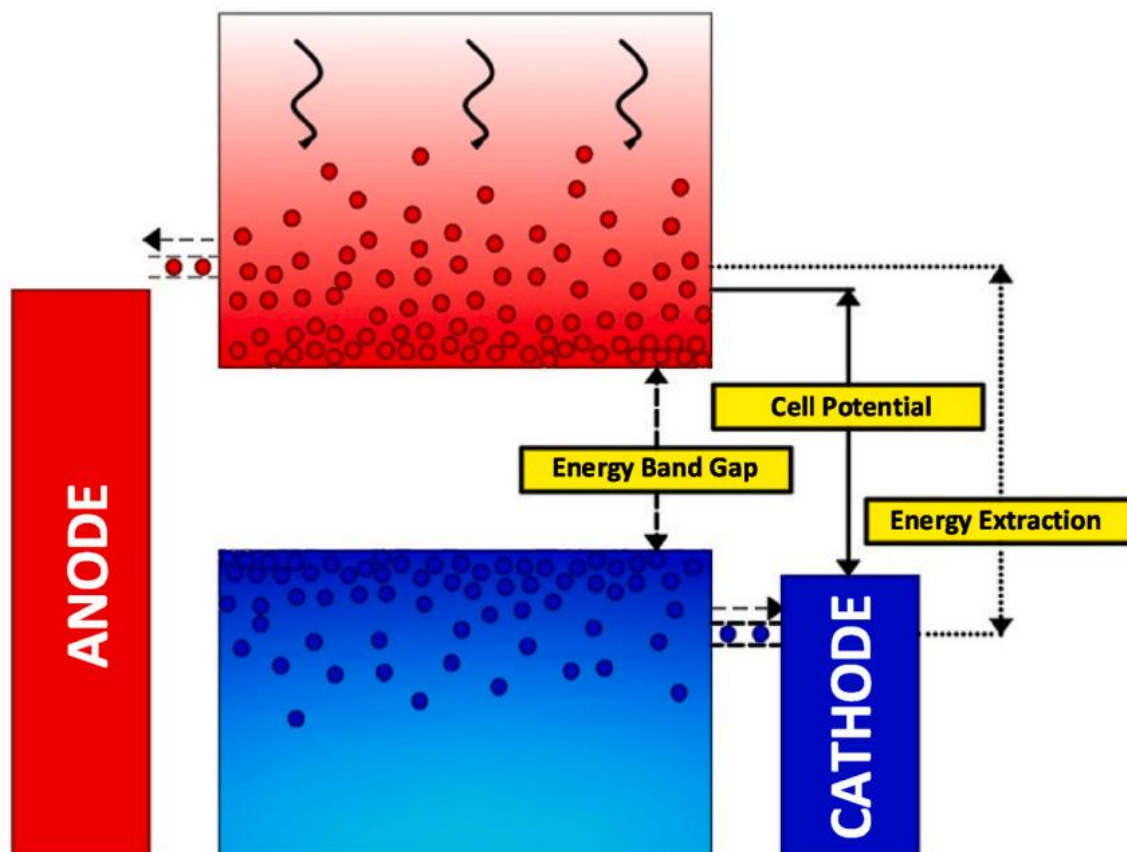


Рис. 1.5. Структура перетворювача гарячого носія [40].

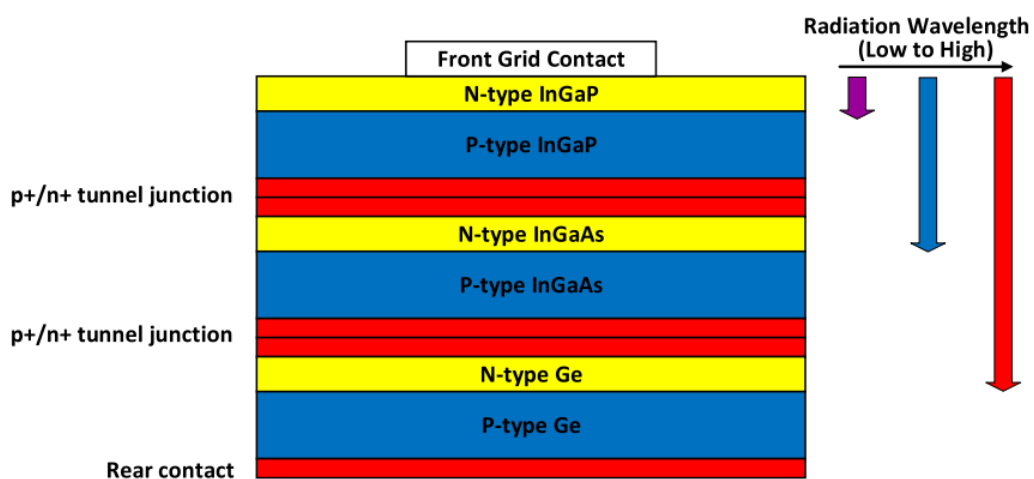


Рис. 1.6. Структура сонячної батареї з потрійним переходом InGaP/GaAs/Ge [40].

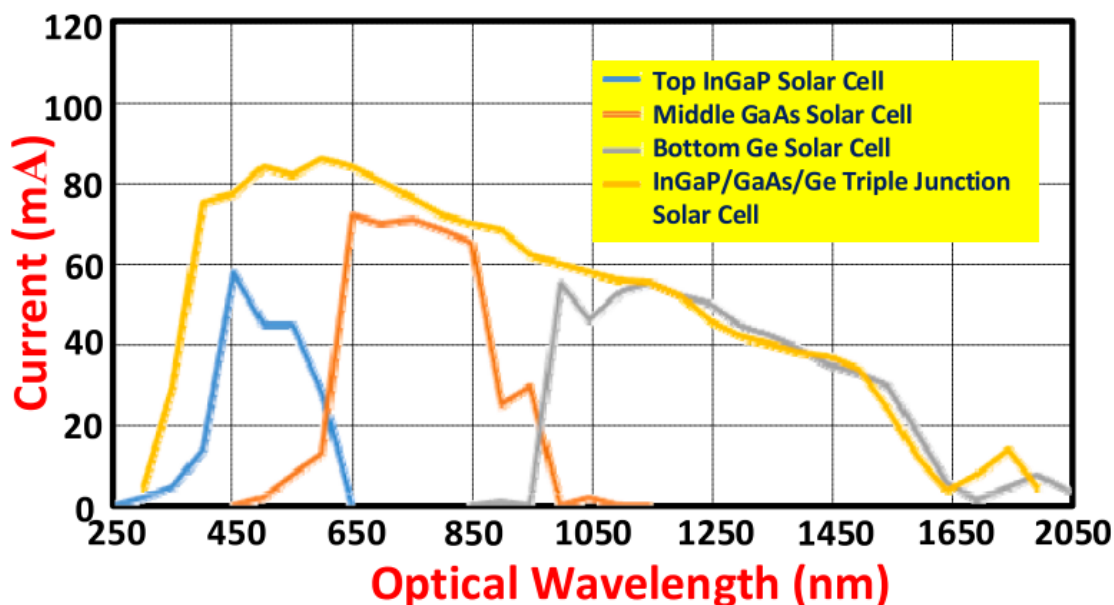


Рис. 1.7 Крива спектрального відгуку між окремими сонячними елементами InGaP, GaAs, Ge і InGaP/GaAs/Ge потрійний сонячний елемент [46].

Багатоперехідні сонячні елементи (MJSC), або широко відомі як тандемні комірки, складаються з кількох р-п-переходів, виготовлених із різних складених окремих матеріалів напівпровідника (субелементів), з'єднаних послідовно, в для отримання вищої ефективності СЕ [41]. Щоб уникнути блокування потоку струму, спричиненого зворотними діодами між субелементами, необхідно встановити з'єднувач між субелементами, як показано на рис. 1.6.

Інтерконнектор повинен мати високу оптичну пропускну здатність і низьку електричний опір, тому Єсакі міжзонні тунельні діоди, які складаються з тонких високолегованих діодів р-оп-п, є найбільш підходящими діодами стати стандартним компонентом для інтерконнектора [42]. Найвищий ефективність МАТ, зафіксована для фотоелектричних систем, на даний момент становить 40,7%, за використання багат шарових матеріалів InGaP/InGaAs/Ge [43]. Вибір матеріалів Topcells відіграє

важливу роль для досягнення високої ефективності MJSE для того, щоб грати збігалися з Ge або GaAs субелементами, InGaP є найкращим варіантом для топ-елементів, оскільки він має меншу кількість кисню, меншу швидкість інтерфейсу рекомбінація та кращий матеріал віконного шару порівняно з AlGaAs [44]. Крім того, InGaAs було запропоновано для узгодження ґрат з Ge підкладки, за рахунок збільшення щільності короткого замикання (J_{sc}) і напруга холостого ходу (V_{oc}), що забезпечується нижньою середньою забороненою зоною комірки енергетичні та специфічні характеристики адаптації решітки відповідно [45]. Нарешті, субелемент Ge є перспективним як нижній елемент, оскільки він має найнижчий значення енергії забороненої зони для поглинання найбільшої довжини хвилі енергія випромінювання [46]. Спектральні відгуки субелементів InGaP, GaAs, Ge та MJSC InGaP/InGaAs/Ge на оптичній довжині хвилі показано на рис. 1.7 [46]. Побудований графік показує субелементи мають власні специфічні оптимальні спектральні відгуки на 300 нм–1800 нм довжина хвилі, тоді як MJSC InGaP/InGaAs/Ge показують позитивні відповіді від 400 нм до 1600 нм з вищим J_{sc} . Однак, застосування MJSC в основному підходить для впровадження на фотоелектричних генераторах для супутників і космічних апаратів через його високу вартість реалізації [47].

Плавуча фотоелектрична система (FPV) - це фотоелектрична система, встановлена на воді поверхнях, таких як невеликі озера, ставки та водосховища, що тримаються на воді конструкції, такі як понтон або плот [48]. Ця технологія широко поширена реалізовано в Японії, США, Італії, Бразилії та Китаї [49]. Це фотоелектрична система використовує звичайні фотоелектричні панелі, але з ефектом охолодження водою, щоб запобігти перегріву сонячних батарей [50]. Перевага охолодження що забезпечується підстильною поверхнею води, було повідомлено незначно підвищення

ефективності збору фотоелектричної енергії. Установка FPV має двосторонні корисні відносини між сонячними батареями та водоймою.

По-перше, система FPV здатна зменшити швидкість росту водоростей [51], по-друге, це зменшує випаровування води з системи зберігання води [52], тоді як вода забезпечує охолоджуючий ефект на систему, таким чином підвищення ефективності сонячних батарей [53]. Нарешті, як є система встановлений на водосховищах, таких як резервуар і ставок, це сприяє позитивному екологічному рішенню з точки зору сталого використання землі практика управління, оскільки вона не займає жодного земельного простору для створення енергії. Крім того, жодних екологічних питань немає згадані будь-якими авторитетами на сьогодні [54]. На рисунку 1.8 показаний найбільший плаваюча фотоелектрична система в Саемангеумі, Корея, яка має понад 5 мільйонів сонячних батарей на площі 30 км², що забезпечує потужність 2,1 ГВт [55].

Понижуюче перетворення фотонів високої енергії по суті є методом використання кількох електронно-діркових пар на фотон для високого пробою енергетичні фотони принаймні на два фотони з меншою енергією [56].



Рис. 1.8 Найбільша плавуча фотоелектрична система в Саемангеумі, Корея [55]

Звичайних сонячних елементів надлишок фотонів високої енергії витрачається [57].

Отже, пропонується понижувальне перетворення для зменшення втрат енергії сонячних елементів шляхом введення електронно-діркових пар з подвійною шириною забороненої зони сонячних елементів [58]. При цьому методі створюють фотолюмінесцентний перетворювач встановлюється на передній частині сонячних елементів, щоб вивести з ладу один високий фотон на два фотони з меншою енергією [59]. На рис. 1.9 показано принципова енергетична діаграма поєднання сонячної батареї з а понижуючий перетворювач. Відповідно до Воса [60], високоенергетичні фотони з енергією $> 2 E_g$ можуть бути більш ефективними сонячними елементами через радіаційні переходи, які відбуваються в конвертері між провідністю зоною і валентною зоною (суцільна стрілка) або між однією із зон і рівень домішок (IL) (пунктирна стрілка) шляхом передачі меншої енергії фотони. В результаті ККД сонячних елементів може досягати близько 39,63% [58,61].

Фотоелектрична теплова (PV/T) технологія перетворює SE в теплову енергії та електричної енергії одночасно, використовуючи пристрій, який має як сонячний колектор, так і сонячні елементи [62]. Ця PV/T система здатна використовувати широкий спектр сонячного випромінювання, що призводить до посилення як електрична, так і теплова ефективність системи [63]. У звичайній фотоелектричній системі лише близько 20% сонячного випромінювання перетворюється на електричної енергії, а решта витрачається у вигляді теплової енергії [64]. Варто зазначити, що електрична ефективність фотоелектричної системи є обернено пропорційна температурі клітини [65], що означає чим вище температура сонячних елементів, тим нижчий електричний ККД фотоелектричної системи. Сонячний колектор

можна поєднати з фотоелектричною системою для поглинання і використовувати надлишкові втрати тепла від фотоелектричної системи. На рис. 1.10 показаний типова конструкція PV/T модуля, що складається з кількох шарів [66]. По-перше, сонячне випромінювання випромінюється та концентрується на сонячних елементах склінням кришка. Після цього йде сонячне випромінювання з довжиною хвилі від 0,6 до 0,7 мкм поглинається і перетворюється в електричну енергію, а залишається сонячна випромінювання проходить через сонячні елементи і перетворюється на тепло [67]. Теплова енергія збирається сонячним колектором і передається ним рідини в проточних каналах для систем опалення. Ця PV/T система маніпулює як світловою, так і тепловою енергією сонця, тому має значно вищий відсоток SE, ніж індивідуальний сонячний колектор або сонячна клітини за тих же умов [68]. Нарешті, PV/T забезпечує значний позитивне рішення як для виробництва електроенергії, так і для тепла вартість [69].

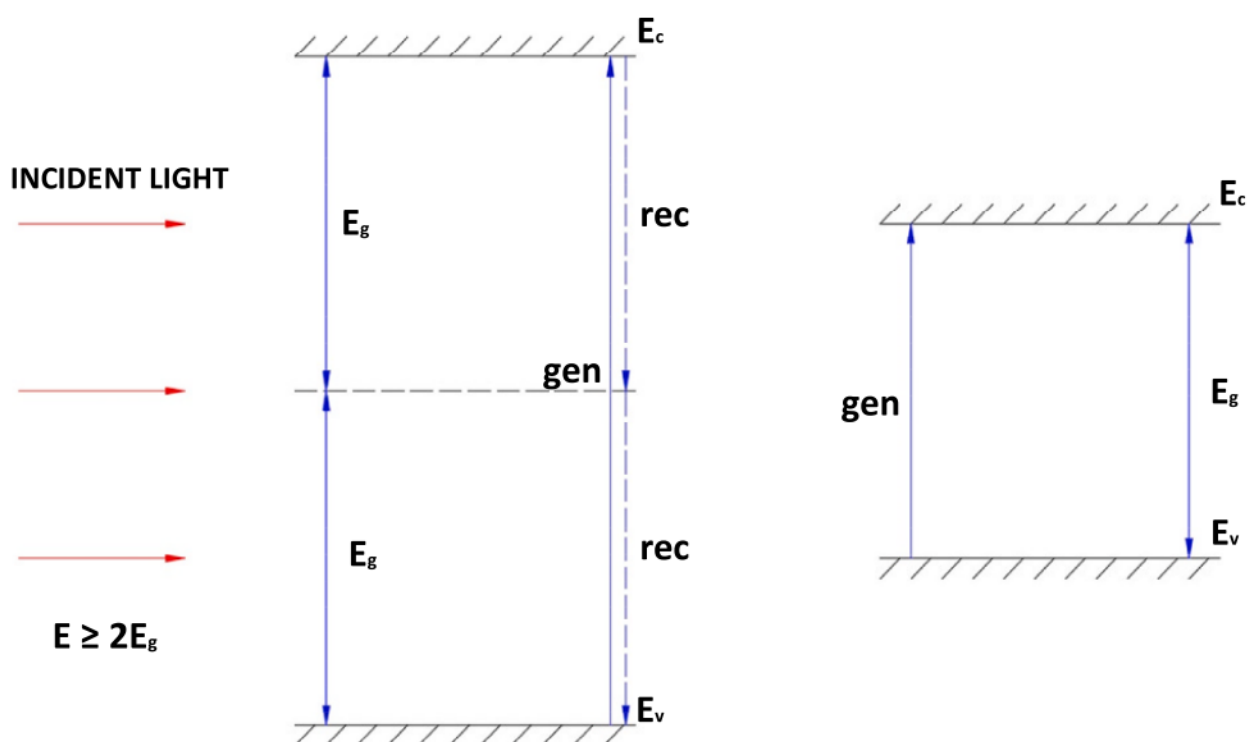


Рис. 1.9 Принципова енергетична схема сонячної батареї в поєднанні з понижуючим перетворювачем [60].

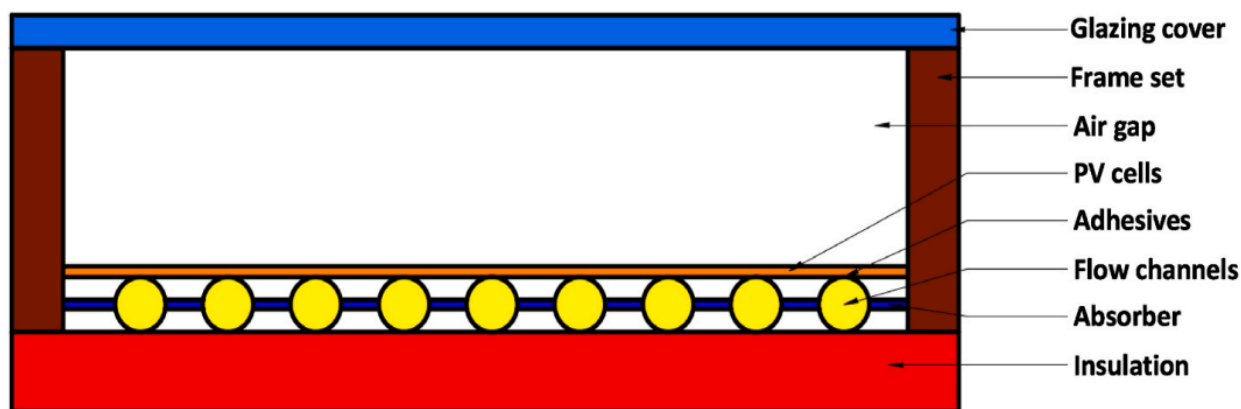


Рис. 1.10 Типова структура PV/T [66].

Сонячна теплова енергія

Сонячна теплова енергія (STE) отримується шляхом ретельного перетворення енергії випромінювання в теплову енергію [70], яка в даний час реалізується в більшості промислових і побутових секторах промисловим процесом, тепло [71], виробництво електроенергії [72] та опалення води та приміщень [73] цілей. Ця технологія перетворення тепла привернула інтерес дослідники перетворювали теплову енергію безпосередньо в електричну [74].

Теоретично STE є формою технології для захоплення сонячного випромінювання і перетворюючи її на теплову енергію за допомогою рідини, що тече знизу приймача [75]. Існує три типи сонячних колекторів: які є низько-, середньо- та високотемпературними колекторами [76]. Низький і середні колектори зазвичай являють собою плоскі пластини, які використовуються для опалення басейни, опалення та вода для побутових потреб. Високий температурні колектори мають дзеркала або лінзи для поглинання сонячного випромінювання від сонячного світла, і цей тип дуже кращий для електроенергії покоління. На відміну від фотоелектричної енергії, STE здатний поглинати понад 90% сонячної енергії випромінювання, отже, більша ефективність перетворення SE [77]. Дослідники є шукати шляхи зниження вартості впровадження STE шляхом пропозиції альтернативні матеріали для заміни дорогих компонентів, таких як вакуумна

трубка і система оптичної концентрації, що потребують високого обслуговування [78].

Приймач з пористою структурою

Ресивер пористої структури (ПСР) показав високу ефективність в зменшенні втрати тепла від системи STE порівняно зі звичайними вакуумними корпусами в сонячному колекторі [79]. За допомогою пористого приймального шару в сонячних колекторах, цей простий метод може зменшити витрати на кондуктивних втратах тепла в ресивері, з більшим максимумом прийнятний потік [80]. Завдяки здатності PSR зберігати провідне тепло, PSR є перспективним як альтернативний метод покращення продуктивності система STE [81]. Різні матеріали з високою пористістю і унікальні теплоізоляційні характеристики були досліджені для поглинання а широкий діапазон довжин хвиль випромінювання [82]. Порівняння різних пористих ізоляційні матеріали та їх потенціал у застосуванні STE показані в таблиці 1.2. Є три шари в колекторі STE, як показано на рис. 1.11 [75].

Скляна кришка, як верхній шар колектора, обганяє приплив сонячне випромінювання у вигляді теплової енергії, яка потім передається до пористого передаючого шару. Для того, щоб зменшити втрати тепла, пор діаметр шару PSR відіграє важливу роль у проникненні, випромінюванні та повторному випромінюванні тепла до нижнього шару, який відомий як чорний поглинаючий шар. Нарешті, теплоносна рідина (НТФ), яка міститься перпендикулярно шару поглинач, приймає тепло і передає його побутове та промислове опалення або шляхом перетворення тепла в електроенергію за допомогою систем парових турбін.

В даний час нанофлюїди використовуються як НТФ в системі STE, щоб покращують процес теплообміну системи, оскільки вони краще теплофізичні властивості порівняно зі звичайними рідинами, такими як етиленгліколь, вода та олія [93]. Нанофлюїди - це суміш, яка складається з нанорозмірних частинок з більшою теплопровідністю, які менше 100 нм у базовій рідині

[94]. Наночастинки в рідинах є класифікуються за трьома категоріями: групами металів, вуглецю та нанокompозитів (див. рис. 12) [95]. Нанокompозити мають найвищу теплоносна здатність і теплопровідність серед цих трьох групи. Було проведено багато експериментів з використанням нанофлюїдів як НТФ у системі STE було проведено дослідниками за допомогою різних застосувань, таких як сонячна водонагрівач і обігрівач, а також сонячний колектор [96]. Переваги нанофлюїдів показані в таблиці 3.

Енергія вітру

Енергія вітру є другою основною перевагою відновлюваної енергії виробництво електроенергії після ГЕС [103] завдяки її відносно проста/легка інфраструктура, економічна ефективність і зрілість технології [104]. Енергія вітру перетворюється на електрику за допомогою вітру електростанції на базі турбін. Є два типи: наземні вітрові електростанції, і морські вітрові електростанції. Вітряна електростанція, встановлена в морі або прісній воді, є приклад офшорної вітрової електростанції, тоді як вітрова електростанція встановлена на суші є береговою вітроелектростанцією [105]. Більшість вітрових електростанцій розташовані береговий; незважаючи на це, офшорні вітрові електростанції швидко зростають, особливо в Європі [106]. Вибір місця розташування ВЕС залежить на середньорічну швидкість вітру, яка повинна бути достатньою для генерувати розрахункову потужність. Наприклад, широко поширені землі з висок висота або морський берег ідеально підходить для наземних вітрових електростанцій.

Таблиця 1.2 Порівняння пористих ізоляційних матеріалів.

Design structure	Features	References
Foam	- Reticulated porous ceramic-based materials (79%–87% porosity) with 71% steam conversion efficiency and 92% solar absorption across wavelength 200 nm to 2500 nm	[83] [84]
Sponge	- Polydimethylsiloxane altered graphite bilayer onto polyurethane (73.3% solar thermal efficiency) - Hybrid of Bi_2S_3 /polyvinylidene fluoride onto polyurethane (1.66 kg/m ² h water evaporation rate & 92.9% solar thermal efficiency across 200 nm–2000 nm)	[85] [86]
Honeycomb	- SiCw/ Al_2O_3 honeycomb - Co_2O_4 Mn_2O_3 coated porous cordierite honeycomb - Polycarbonate honeycomb	[87] [88]
Fibers	- Made from polydopamine nanofibrils fabricated into a high absorbance material (86% solar thermal conversion efficiency)	[89] [90]
Aerogel	- Visually transparent insulating silica-based aerogels (88% solar absorption efficiency for wavelength <2700 nm and 99% solar absorption efficiency for wavelength >2700 nm) - Hybrid NFC-graphene aerogels (phase change materials with high melting enthalpy range) - Hybrid graphene-carbon doped with nitrogen (90% solar thermal conversion efficiency)	[91] [92]

Висновки до розділу 1

Зберігається світова тенденція до збільшення енерговиробництва та збільшення енергоспоживання. Відмічається зростання споживання усіх видів енергії та енергетичних ресурсів.

Проведено аналіз можливих шляхів збільшення енерговиробництва за рахунок використання відновлюваних джерел енергії та технологій відновлюваної енергетики.

Розглянуті технології можуть бути використані для створення систем комплексного електропостачання об'єкта, що проектується.

РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗБОРОЧНОГО ЦЕХУ З ДОДАТКОВИМ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ

2.1 Складання структурної схеми системи комплексного енергозабезпечення об'єкту

Складена в проєкті структурна схема наведена на рисунку 2.1

Система містить три джерела живлення (мережа, фотоелектрична електростанція, вітрогенератор) та засоби акумулювання енергії.

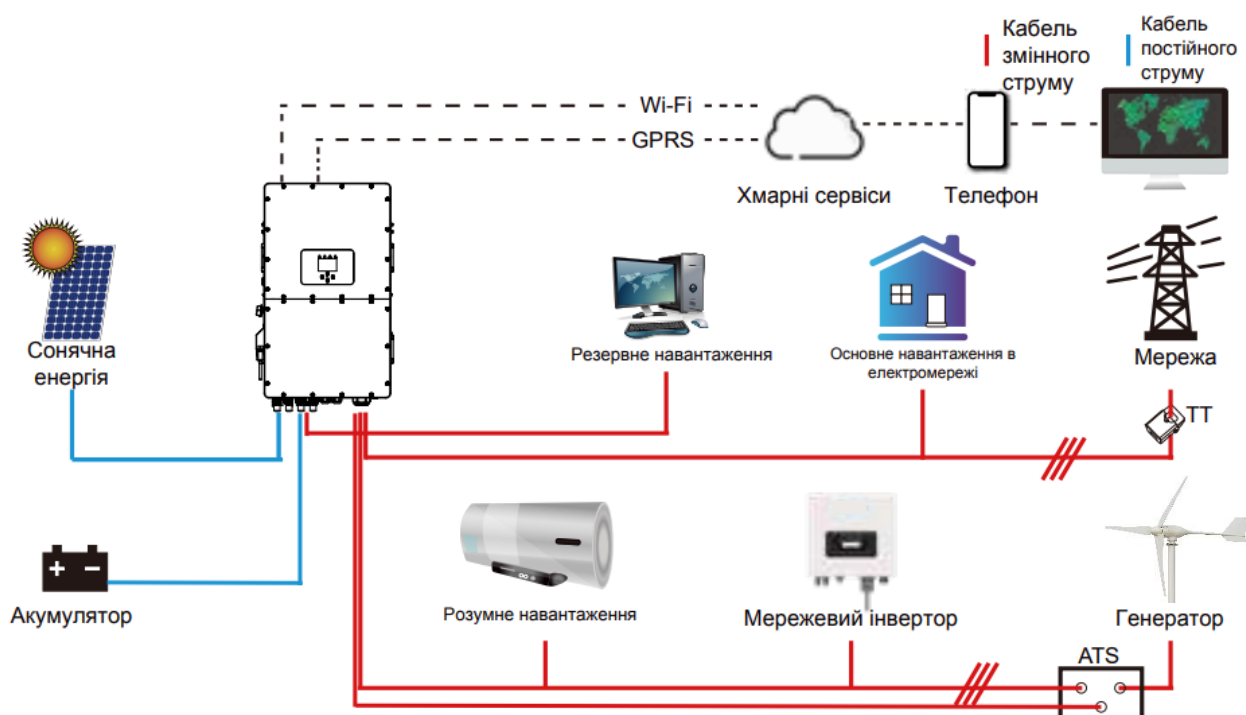


Рис.2.1 Структурна схема системи комплексного енергозабезпечення об'єкту

Перевагами схеми є висока надійність електропостачання споживачів за рахунок застосування трьох джерел живлення.

Окрім цього така системи забезпечує пріоритетне електропостачання об'єкту від вітрогенератору та фотоелектричної електростанції, що значно здешевлює витрати на енергоносії та зменшує обсяг викидів CO₂ в атмосферу.

В системі застосовується інтелектуальне керування як функція інтегрована в інвертор.

Дане керування можливо здійснювати віддалено через смартфон або комп'ютер.

2.2. Характеристика офісного центру, проєктування та формування основних параметрів його електрозабезпечення

Адміністративна будівля, яка розглядається в проєкті належить до комплексу основних споруд машинобудівного виробництва ТОВ «Харківський завод підйомно-транспортного устаткування». На даний час у зв'язку із зменшенням обсягів виробництва та номенклатури товарів та послуг ця будівля перестала виконувати свої безпосередні функції та було прийнято рішення про її реконструкцію. В майбутньому передбачається використовувати цю будівлю як офісний центр та здавати приміщення в оренду. Будівля розрахована на вісім офісів які розташовані на двох поверхах. Окрім цього вона має загальну побутову зону з туалетами на другому поверсі та холл-рецепцію на першому поверсі. Відповідно до призначення будівлі передбачено встановлення восьми пунктів комерційного обліку спожитої електричної енергії для розрахунків з орендаторами та один пункт технічного обліку на всю будівлю для фіксації загального енергоспоживання.

Площа адміністративної будівлі складає $288 \times 2 = 576 \text{ м}^2$, довжина 24 м, ширина 12м, висота одного поверху 2,75 м. Умови навколишнього середовища відповідають Харківській області

Живлення будівлі відбувається від розподільчої мережі заводу, від встановлення окремої підстанції 6/0,4 кВ, яка забезпечить живлення вказаної будівлі та буде матиме встановлену потужність, яка задовольнить вимоги подальшого можливого збільшення енергоспоживання.

Категорія надійності електроприймачів ділянки - третя. Споживачі третьої категорії - це споживачі, перерва електропостачання яких не призводить до наслідків характерних для першої та другої групи споживачів, а саме не призводить до:

- загрози життю людини;
- масового браку продукції
- пошкодженню дорого обладання

- порушенню технологічного процесу
- масового простою робітників та обладнання
- масового порушення нормальної життєдіяльності великої кількості міських та сільських мешканців
- порушенню роботи громадського та техноогічного транспорту.

[1] [2]. Аналіз споживачів корпусу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Режим роботи, коефіцієнт використання K_v , і коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ електрообладнання

Назва електрообладнання	Кількість, од.	Коефіцієнт використання, K_v	Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi$	Режим роботи
Офісні приміщення	8	0,4	0,8	Тривалий
Загальна побутова зона, туалети	1	0,3	0,8	Короткочасний
Холл-рецепсія	1	0,6	0,8	Короткочасний
Загальна система вентиляції та кондиціонування повітря	1	0,7	0,75	Тривалий

План розташування приміщень будівлі наведений в графічній частині проекту "Аркуш 1 ".

1.2 Характеристика приміщень будівлі за умовами електрозабезпечення

Таблиця 1.2 - Класифікація приміщення об'єкту

Назва приміщення	Категорії			Умови навколишнього середовища
	за вибухонебезпечністю	за пожежонебезпекою	за електробезпекою	
Офіси	Д	П-Па	Приміщення без підвищеної небезпеки	Нормальні
Холл-рецепсія	Д	П-Па	Приміщення без підвищеної небезпеки	Нормальні
Загальна побутова зона	Д	П-Па	Приміщення без підвищеної небезпеки	Нормальні

Вибухонебезпечна зона класу Д – негорючі речовини та матеріали в холодному стані. До категорії Д належать механічні майстерні, цехи холодної обробки металу, повітрорудні станції, склади металу.

За пожежонебезпекою категорія П-Па - простір у приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

За електробезпекою - приміщення без підвищеної небезпеки

Приміщення без підвищеної небезпеки це сухі приміщення зі струмонепровідною підлогою, з вологістю не вище 75%.

1.3 Вибір та обґрунтування системи електрозабезпечення об'єкта

За категорією надійності електропостачання адміністративна будівля згідно ПУЕ [1] відноситься до 3 категорії, тобто допускається загальна тривалість відключення протягом року не більше 72 годин, і не довше доби за раз.

Напруга мережі підключення до зовнішніх мереж - 380В. Групові мережі відходять від ВРП (24В, 230В, 380В). Живлення виконується від трансформаторної підстанції яка розташована на відстані 100 м від зони ТО транспортних засобів. Основне обладнання живиться від напруги 380В трифазного змінного струму.

Схема електропостачання – радіальна. Є одне ВРП 380В від якого радіально на фазній напрузі 220В живляться ВРП споживачів абонентів (орендарів) та загальні електроспоживачі такі як побутова зона, холл-рецепсія, інженерні системи загального освітлення, вентиляції та кондиціонування повітря.

Схема наведена в графічній частині проєкту "Аркуш 2 ".

1.4 Проектування електрозабезпечення адміністративної будівлі

1.4.1 Склад, характеристика та параметричний аналіз електроприймачів

Таблиця 1.4 – Перелік електроспоживачів адміністративної будівлі

Номер за планом	Назва електрообладнання	Кількість, шт	Потужність, кВт
1	2	4	5
1	Офіс тип 1 (офіси №1.1., 1.2., 2.1, 2.2)	4	6,25
2	Офіс тип 2 (офіси №1.3., 1.4., 2.3, 2.4)	4	11,75
3	Загальна побутова зона	1	15
4	Холл-рецепсія	1	5,33
5	Система вентиляції та кондиціонування повітря	1	5,71

ПЗ1.4.2 Розрахунок електричних навантажень адміністративної будівлі

В практиці проектування систем електропостачання застосовують різноманітні методи визначення електричних навантажень, які поділяють на:

1) Метод упорядкованих діаграм.

Знаходить найбільше застосування для більшості промислових об'єктів, оскільки є досить точним (похибка становить - 10%).

У цьому методі розрахункове навантаження визначається по середньої потужності і коефіцієнту максимуму $P_{\text{розр}} = K_m \times P_c$, кВт

2) Метод середньоквадратичної навантаження.

Розрахункове навантаження визначається по середньої потужності і коефіцієнту форми $P_{\text{розр}} = K_f \times P_c$, кВт

Цей метод дає найбільш точні результати, коли можна зняти точний графік навантаження. Метод обмежується в застосуванні в зв'язку складності знаходження коефіцієнта форми.

3) Метод питомої витрати електроенергії

Застосовується тільки для виробництв з рівномірним характером навантаження. У цьому методі розрахункове навантаження дорівнює середній $P_{\text{розр}} = P_{\text{ср}}$. Розрахункове навантаження вважається по питомій витраті електроенергії.

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{ср}} = W \times \text{ПСМ} / \text{ПВМ}, \text{ кВт}$$

4) Статистичний метод

Цей метод використовується в тому випадку, якщо є великий статистичний матеріал по навантаженнях з умов експлуатації.

5) Метод коефіцієнта попиту

Є найбільш простим методом, але завищує результати розрахунку.

На промислових підприємствах метод застосовувати не рекомендується за винятком орієнтовних розрахунків навантаження на високому рівні СЕС. Цей метод є основним для міського, сільського господарства, так як тут забезпечується висока точність розрахунків.

6) Метод питомої щільності навантажень

У промисловості використовується для визначення освітлювального навантаження (так як для освітлення нормується мінімальна величина освітленості). Для міського господарства цей метод є основним (так як нормується витрата електроенергії). [3]

Розрахунок електричних навантажень адміністративної будівлі, виконуємо методом коефіцієнту попиту

Визначаємо розрахункове навантаження $P_{роз.N}$, кВт, для лінії ВРП 1 за формулою:

$$P_{роз.N} = \sum P_{ус} \cdot N \cdot K_{поп.роз} \quad (1)$$

де $P_{ус}$ - установлена потужність споживача, що складається ;

N - кількість споживачів

$K_{поп.роз}$ - розрахунковий коефіцієнт попиту [2]

$$P_{роз.N} = 6,25 \times 4 \times 0,4 + 11,25 \times 0,4 \times 0,4 + 5,33 \times 1 \times 0,6 + 15 \times 1 \times 0,3 + 5,71 \times 1 \times 0,7 = 40,5 \text{ кВт}$$

Визначаємо повну потужність групи електроприймачів S_p , кВА, за формулою:

$$S_p = P_p / \cos \varphi \quad (2)$$

де P_p - розрахункова (активна) потужність групи електроприймачів, кВт;
 $\cos \varphi$ - коефіцієнт активної потужності [2]

$$S_p = 40,5 / 0,8 = 50,63 \text{ кВа}$$

Результати розрахунку електричних навантажень зводимо до таблиці 5

Таблиця 5 Розрахунок електричних навантажень споживачів адміністративної будівлі

Найменування груп електроспоживачів	Встановлена потужність, кВт	Розрахункові коефіцієнти			Розрахункова потужність	
		попиту, Кп	використання, Кв	потужності, cosφ	Активна, кВт	Повна кВА
Офіс 1	6,25	1	0,4	0,8	2,50	3,13
Офіс 2	11,75	1	0,4	0,8	4,70	5,88
Холл-рецепсія	5,33	1	0,6	0,8	3,20	4,00
Побутова зона	15,00	1	0,3	0,8	4,50	5,63
Система вентиляції	5,71	1	0,7	0,8	4,00	5,00

1.4.3 Вибір електрощитового (розподільчого) обладнання та визначення місць його встановлення.

1.4.3 Визначаємо максимальний струм для живлення лінії $I_{м.л}$, А, який визначається за формулою

$$I_n = \frac{P_p}{U_n \times \cos \varphi} \quad (3)$$

де S_m – повна потужність всіх електроприймачів, що підключені до лінії, кВА;
 U_n - номінальна напруга живлення, $U_n = 0,4$ кВ.

Для офіс тип 1: $I_{м.л} = 2,5 / (0,8 \cdot 0,22) = 14,2$

Для офіс тип 2: $I_{м.л} = 4,7 / (0,8 \cdot 0,22) = 26,7$

Для холл-рецепсія: $I_{м.л} = 3,2 / (0,8 \cdot 0,22) = 18,17$

Для побутова зона: $I_{м.л} = 4,5 / (0,8 \cdot 0,22) = 25,57$

Для система вентиляції: $I_{м.л} = 4 / (0,8 \cdot 0,22) = 22,73$

1.4.3.1 Номінальний струм автоматичного вимикача не повинен бути меншим ніж номінальний струм розчеплювача:

$$I_{н.а.} \geq I_{н.р}, \quad (1.4.3.1)$$

де $I_{н.а}$ – струм автоматичного вимикача, А;

$I_{н.р}$ – номінальний струм розчеплювача для обраного автоматичного вимикача. А.

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times I_m, \quad (1.4.3.2)$$

Для офіс тип 1:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 14,2$$

$$I_{н.р} \geq 15,63$$

Для офіс тип 2:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 26,7$$

$$I_{н.р} \geq 29,38$$

Для холл-рецепсія:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 18,18$$

$$I_{н.р} \geq 20$$

Для побутова зона

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 25,57$$

$$I_{н.р} \geq 28,13$$

Для система вентиляції

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 22,73$$

$$I_{н.р} \geq 25$$

Результати розрахунків та вибору кабелю, захисної апаратури для живлення всіх інших ліній заносимо до таблиці 1.4.3.

Таблиця 1.4.3 – Результати розрахунків та вибору кабелю та захисної апаратури для живлення всіх ліній

Назва траси	Тип розподільчої шини (шафи)	Максимальний струм для живлення лінії $I_{м.л.}$, А,	Номинальний струм розчеплювача $I_{н.р.}$, А	Марка та переріз кабелю, мм ²	Захисний апарат		
					Тип автомата	Номинальний струм $I_{н.}$, А	Струм розчеплювача $I_{р.}$, А
Офіс тип 1	АТ/У	14,20	15,63	АВВГ 2х2,5	ВА 47-29	40	25
Офіс тип 2	АТ/У	26,70	29,38	АВВГ 2х6	ВА 47-29	40	40
Холл-рецепсія	АТ/У	18,18	20,00	АВВГ 2х4	ВА 47-29	40	31,5
Побутова зона	АТ/У	25,57	28,13	АВВГ 2х4	ВА 47-29	40	31,5
Система вентиляції	АТ/У	22,73	25,00	АВВГ 2х4	ВА 47-29	40	40

1.4.4 Вибір апаратів захисту та управління.

Автоматичний вимикач — це контактний комутаційний апарат, що спроможний вмикати, проводити та вимикати струм навантаження, коли електричне коло в робочому стані, а також вмикати, проводити протягом певного встановленого часу і вимикати аварійний струм в електричному колі. Автоматичний вимикач призначено для нечастих вмикань/вимикань (хоча автоматичні вимикачі провідних фірм, можуть мати комутаційну витривалість до 20 000 циклів увімкнено/вимкнено, а модульні вимикачі навантаження — до 100 000 циклів і працювати за температури від -30 до +60 °C та вологості 95 %), а також для захисту кабелів та кінцевих споживачів від перевантаження і короткого замикання. Автоматичні вимикачі можуть мати додаткові незалежні від струму навантаження, розчіплювачі з додатковими контактами сигналізації або моторні приводи, для віддаленого керування вимикачем. [4]

Розрахунок електричних мереж та вибір автоматичних вимикачів виконується для напіваавтоматичного-круглошліфувального верстата в наступному порядку:

1.4.1 Визначаємо номінальний струм електроспоживача (на прикладі офісу типу 2) I_n , А, за формулою

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \eta} \quad (1.4.1)$$

$$\frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot 0,86} = 28$$

де P_n — номінальна потужність споживача, кВт;

U_n — номінальна напруга, $U_n = 0,4$ кВ;

$\cos \varphi$ — коефіцієнт потужності;

η — коефіцієнт корисної дії (ККД).

1.4.2 Визначаємо пусковий струм електроспоживача $I_{\text{п}}$, А, за формулою

$$I_{\text{п}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{н}} \quad (1.4.2)$$

$$7,5 \times 28 = 210$$

де $K_{\text{п}}$ – кратність пускового струму.

1.4.3 Визначаємо номінальний струм розчеплювача автоматичного вимикача $I_{\text{н.р.}}$, А, за умови

$$I_{\text{н.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{роб}} \quad (1.4.3)$$

$$1,1 \times 28 \geq 29,8$$

де $I_{\text{роб}}$ – робочий струм лінії, приймається рівним номінальному струму споживача $I_{\text{роб}} = I_{\text{н}}$.

1.4.4 За таблицею 11 "Технічні дані атоматичних вимикачів серії АЕ" вибираємо автоматичний вимикач типу АЕ2046 зі струмом розчеплювача $I_{\text{н.р.ст}}$ 40 (струм номінальний розчеплювача стандартний).

1.4.5 Знаходимо розрахунковий струм спрацювання $I_{\text{спр.р}}$, А, автоматичного вимикача обраного типу за умовою

$$I_{\text{спр.р}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{п}} \quad (1.4.4)$$

$$210 \times 1,25 \geq 262,5$$

де $I_{\text{п}}$ – пусковий струм двигуна електроспоживача, А.

1.4.6 Визначаємо каталожне значення струму спрацювання $I_{\text{спр.кат.}}$, А, за формулою

$$I_{\text{спр.кат.}} = K_p \cdot I_{\text{н.р.ст}} \quad (1.4.5)$$

$$12 \times 40 = 480$$

де K_p – кратність струму спрацювання. Вибирається в залежності від типу автоматичного вимикача за таблицею 11 "Технічні дані атоматичних вимикачів серії АЕ";

$I_{\text{н.р.ст}}$ – струм номінальний розчеплювача стандартний, вибраний в 1.4.4

1.4.7 Розрахунковий струм спрацювання не повинен перевищувати значення струму за каталогом

$$I_{\text{спр.р}} \leq I_{\text{спр.кат}} \quad (1.4.7)$$

$$262,5 \leq 480$$

1.4.8 За значенням розрахованого номінального струму споживача за каталогами продукції [5] обираємо марку проводу АПВ та переріз 6мм^2 для підключення електроспоживача до мережі живлення.

1.4.9 Розрахунок і вибір перерізу монтажного проводу типу і струму розчеплювача автоматичного вимикача для інших електроспоживачів ділянки №2 виконується аналогічно за допомогою комп'ютерної програми. Результати заносимо до таблиці 1.4.4

1.5 Проектування системи електробезпеки.

1.5.1 Система захисного заземлення.

Заземлювач — провідна частина (провідник) або сукупність з'єднаних між собою провідних частин (провідників), що перебуває в електричному контакті із землею безпосередньо або через проміжне струмопровідне середовище (наприклад бетон).

Заземлювач використовується для заземлення частин кола та здатний витримувати протягом нормативного часу струми за ненормальних умов, таких як коротке замикання, але не передбачений для проведення струму за нормальних умов роботи у колі.

Заземлювач може спричиняти вимикання споживачів за умови короткого замикання чи появи різницевого струму засобами аварійного захисту та пристроями захисного відключення.

Заземлювачі можуть бути як природними, так і штучними.

Штучний заземлювач — такий заземлювач, який спеціально монтується і використовують з метою заземлення.

Природний заземлювач — такий заземлювач, який первісно монтується для інших цілей, ніж заземлення, але крім своїх безпосередніх функцій одночасно може виконувати функції заземлювача (наприклад, арматура фундаментів будівель і опор повітряних ліній, трубопроводи комунікацій будівель і споруд тощо).

Електрично незалежні заземлювачі — заземлювачі, розташовані на такій відстані один від одного, що максимально можливий струм, який може стікати в землю по одному з них, суттєво не впливає на електричний потенціал інших. [8]

1.5.1.2 Перевірочний розрахунок опору захисного заземлення.

Розрахунок контуру заземлення виробничого корпусу, в наступному порядку

1.5.1 У відповідності до ПУЕ [6] встановлюємо допустиме значення опору заземлюючого пристрою R_z , Ом. Якщо заземлюючий пристрій є загальним для установок з різною напругою, то за розрахункове значення опору заземлюючого пристрою приймають найменше з допустимих. Згідно ПУЕ [6] захисне заземлення установок напругою до 1000 В повинно мати опір не більше 4 Ом.

1.5.2 В якості штучних заземлювачів приймаємо:

1.5.2.1 Для вертикального заглиблення в ґрунт:

- сталеві стрижні діаметром 12 – 16 мм;
- кутову сталь із товщиною стінки не менш 3,5 мм;
- сталеві труби (некондиційні) з товщиною стінки не менш 3,5 мм;

Рекомендується приймати довжину вертикальних стрижнів електродів 2 - 5 м, а електродів з кутової сталі 2,5 - 3 м. Верхній кінець вертикального заземлювача доцільно заглибити на 0,5 - 0,7 м від поверхні ґрунту.

1.5.2.2 Для горизонтальної прокладки:

- сталеві смуги товщиною не менш 4 мм;
- кутову сталь шириною 6 мм.

1.5.3 Розрахуємо опір одиночного вертикального заземлювача R_o , Ом, верхній кінець якого заглиблено на глибину 0,5 - 0,7 м від поверхні ґрунту, за формулою

$$R_o = 0,336 \cdot \frac{\rho_p}{l} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot H + l}{4 \cdot H - l} \right) \quad (1.5.1)$$

$$0,336 \times \times \left(\lg \frac{2 \times 2}{0,012} + 0,5 \times \lg \frac{4 \times 0,5 + 1}{4 \times 0,5 - 1} \right) = 13,9$$

де l – довжина заземлювача, м;

d – діаметр заземлювача, м;

H – відстань від поверхні ґрунту до середини заземлювача, м;

p_p – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом×м, який визначається за формулою

$$p_p = p \times K_c \quad (1.5.2)$$

$$20 \times 1,5 = 30$$

де p – табличне значення питомого опору ґрунту, О м×м. Вибираємо чорнозем – 20 Ом×м ;

K_c – коефіцієнт сезонності вертикального заземлювача.

1.5.4 Знаходимо довжину горизонтальної смуги зв'язку l_{π} , м, що з'єднує вертикальні заземлювачі між собою, виходячи з розмірів об'єкта, що проектується, за формулою

$$l_{\pi} = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \quad (1.5.3)$$

$$(66 + 2) \times 2 + (30 + 2) = 168$$

де A – довжина ділянки № 2 цеху;

B – ширина ділянки № 2 цеху.

1.5.5 Розраховуємо опір горизонтальної смуги зв'язку R_{π} , Ом за формулою

$$R_{\pi} = \frac{0.336 \cdot \rho_p^1}{l_n} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_n}{b_n \cdot H_n} \quad (1.5.4)$$

$$\frac{0,336 \times 70}{168} \times \lg \frac{2 \times 168}{0,04 \times 0,52} = 0,59$$

де b_n – ширина полоси, м;

H_n – відстань від поверхні ґрунту до середини ширини смуги, м;

p_p^1 – розрахунковий питомий опір ґрунту, який визначається за формулою

$$p_p^1 = p \times K_{\pi} \quad (1.5.5)$$

$$20 \times 3,5 = 70$$

де p – Вибираємо чорнозем – 20 Ом×м;

K_{π} – коефіцієнт сезонності горизонтального заземлювача.

1.5.6 Розраховуємо кількість вертикальних заземлювачів n , од., за формулою

$$n = \frac{l_n + a}{a} \quad (1.5.6)$$

$$\frac{168 + 3}{3} = 57$$

де a – відстань між вертикальними заземлювачами, м. Приймається в межах 3 - 6 м.

1.5.7 Визначаємо опір штучного заземлюючого пристрою $R_{ш}$, Ом, що складається з n вертикальних заземлювачів, які з'єднані між собою горизонтальною смугою зв'язку, за формулою

$$R_{ш} = \frac{R_o \cdot R_n}{R_o \cdot \eta_z + R_n \cdot n \cdot \eta_g}$$

$$R_{ш} = 13,9 \times 0,59 / 13,9 \times 3 + 0,58 \times 35 \times 4 = 0,39$$

(1.5.7)

де η_r і η_v - коефіцієнти використання заземлювачів. Вибираються в залежності від конструкторського оформлення заземлюючого пристрою за таблицями

1.5.8 "Коефіцієнти використання η_r горизонтальної смуги заземлення при розташуванні вертикальних заземлювачів за контуром" і 1.10.4. "Коефіцієнти використання η_v вертикальних електродів при розташуванні вертикальних заземлювачів за контуром"

Висновок розрахунки виконані вірно тому що опір не перевищує 4 Ом згідно ПУЕ [6]

2.1 Розрахунок показників надійності і безвідмовності системи електрозабезпечення

Таблиця 2.1 – Розрахункова елементна таблиця

Позначення елемента на електросхемі чи на електромеханічній схемі	Назва елемента	Назва супутніх елементів	Кількість супутніх елементів	Примітка
Лінія «Офіс тип 1» 4 шт.	Фідер лінії та коробка розподільча	Автоматичний вимикач	8	-
		Гвинтове з'єднання	16	
		Кабелі	64	
		Рубильник	1	
Лінія «Офіс тип 2» 4 шт.	Фідер лінії та коробка розподільча	Автоматичний вимикач	8	-
		Гвинтове з'єднання	16	
		Кабелі	58	
		Рубильник	1	
Лінія «Холл-рецепсія»	Фідер лінії та коробка розподільча	Автоматичний вимикач	2	-
		Гвинтове з'єднання	4	
		Кабелі	15	
		Рубильник	1	
Лінія «Побутова зона»	Фідер лінії та коробка розподільча	Автоматичний вимикач	2	
		Гвинтове з'єднання	4	
		Кабелі	18	
		Рубильник	1	
Лінія «Система вентиляції та кондиціонування»	Фідер лінії та коробка розподільча	Автоматичний вимикач	2	-
		Гвинтове з'єднання	4	
		Кабелі	25	
		Рубильник	1	

Таблиця 2.2 – Таблиця результатів розрахунків параметрів надійності

Назва елемента	Кількість елементів в системі, n_i	Інтенсивність (потік) відмов елементів, λ_2 1/год	Середній наробіток до відмови елемента, T_n , год	Імовірність безвідмовної роботи елемента в інтервалі часу, $P_n(t, \tau)$
1	2	3	4	5
Автоматичний вимикач	44	$1,05 \times 10^{-5}$	95238	0,984
Кабелі	43	$0,1 \times 10^{-5}$	1000000	0,985
Гвинтове з'єднання	88	$0,12 \times 10^{-5}$	833333	0,998
Рубильник	4	1×10^{-5}	1000000	0,985

Розраховуємо показники надійності (безвідмовності) розподільчого щита та шинопроводу.

1. Наробіток до відмови.

Офіс тип 1:

$$T = (8/95238 + 16/833333 + 64/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 2095 \text{ год}$$

Офіс тип 2:

$$T = (8/95238 + 16/833333 + 58/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1628 \text{ год}$$

Холл-рецепсія:

$$T = (2/95238 + 4/833333 + 15/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1330 \text{ год}$$

Побутова зона:

$$T = (2/95238 + 4/833333 + 18/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1093 \text{ год}$$

Система вентиляції та кондиціонування повітря:

$$T = (2/95238 + 4/833333 + 25/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1093 \text{ год}$$

$$T_{\text{ср}} = (2662 + 2145 + 1707 + 1281)/4 = 1537$$

$$\text{Офіс тип 1: } P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(8)} \times 0,985^{(16)} \times 0,998^{(64)} \times 0,985^{(1)} = 0,57$$

або 57%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1537 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 57%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 57% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов.

Офіс тип 2: $P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(8)} \times 0,985^{(16)} \times 0,998^{(54)} \times 0,985^{(1)} = 0,53$
або 53%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1628 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 53%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 53% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов.

Холл-рецепсія:

$P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(2)} \times 0,985^{(4)} \times 0,998^{(15)} \times 0,985^{(1)} = 0,73$ або 73%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1330 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 73%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 73% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов.

ШР 1: $P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(7)} \times 0,985^{(18)} \times 0,998^{(14)} \times 0,985^{(1)} = 0,78$ або 78%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1093 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 78%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 78% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов. [7]

2.4. Проектування фотоелектричної електростанції

Аналіз вихідних даних на проектування фотоелектричної електростанції

Вихідні умови на проектування фотоелектричної електростанції для системи комплексного електропостачання збирального цеху машинобудівного виробництва м.Харків відповідно до технічного завдання наведено в таблиці 2.12

Таблиця 2.12 Вихідні дані на проектування фотоелектричної електростанції

Показник	Вимога	Од.вим	Кількісний показник
Розташування об'єкту	м. Харків, вул. Чоботарська 23		49°59'31.2"N 36°13'03.3"E
Тип електростанції за видом підключення до зовнішніх та внутрішніх мереж	Гібридна, під власне споживання	---	---
Бажана встановлена потужність фотоелектричних модулів		кВт	10
Бажана ємність засобів акумулювання енергії		кВт * год	20
Бажаний діапазон максимальної генерації електричної енергії		год.	10:00 – 15:00
Кліматичні умови району	м. Харків.		
Бажаний річний обсяг згенерованої електричної енергії	Під власне споживання	кВт*год	10000

Відповідно до план-карти об'єкту та бажаного часу максимального навантаження визначимо максимально можливу кількість панелей фотоелектричних модулів, які розташовуються плоскій покрівлі цеху та орієнтовані на південь. Визначення кількості фотоелектричних модулів відбувається на підставі проєктування їх розміщення по покрівлі об'єкту (рис. 2. 3)

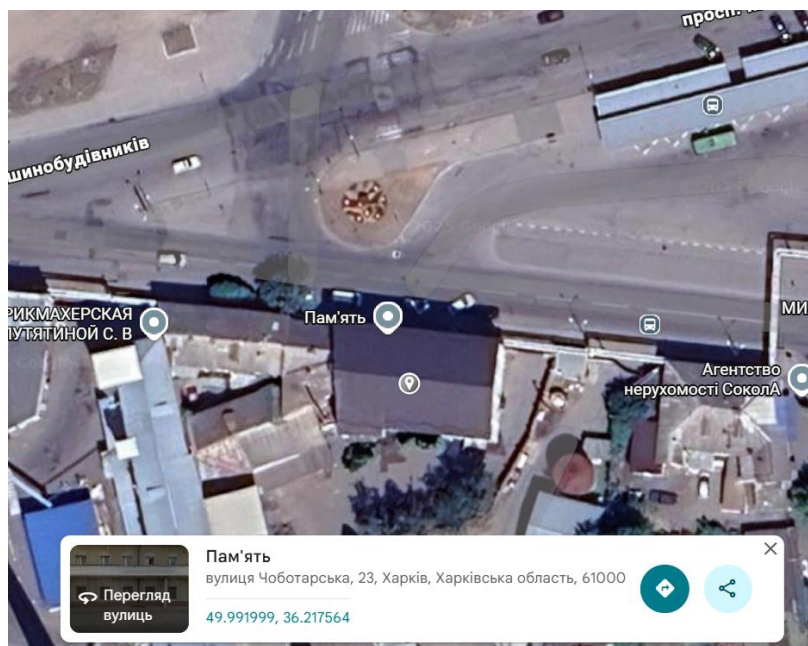


Рис. 2.2 План-карта об'єкту

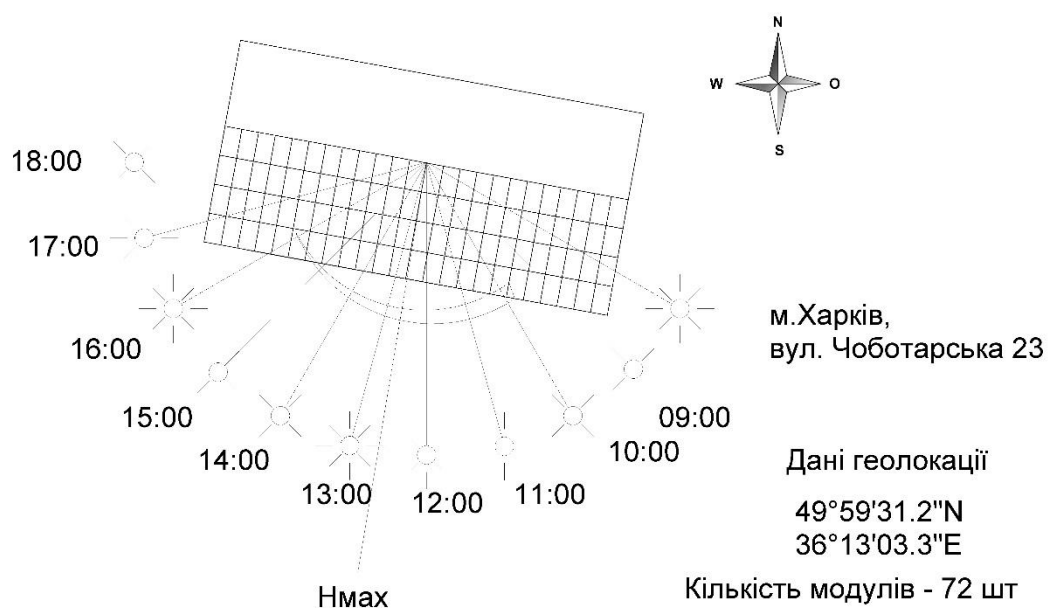


Рис. 2.3 План розміщення фотоелектричних модулів на покрівлі об'єкту

Відповідно до плану розміщення фотоелектричних модулів маємо такі базові показники сонячної електростанції (таблиця 2.13)

Таблиця 2.13 Базові показники сонячної електростанції

Показник	Одиниця виміру	Значення
Кількість фотоелектричних модулів	шт.	72
Тип фотоелектричних модулів	---	Монокристалічні
Встановлена потужність одиниці фотоелектричного модулю	кВт	0,44
Загальна встановлена потужність електростанції	кВт	31,68

Визначимо очікувану річну генерацію електростанції за формулою:

$$W = P \times H \times PH,$$

де P – сумарна встановлена потужність фотоелектричних модулів, кВт

H – середньорічна сонячна інсоляція у вибраному кліматичному регіоні, кВт*год/м²

PH – коефіцієнт продуктивності роботи електростанції, в.о.

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.4.3.

Таблиця 2.14 Визначення очікуваної річної генерації сонячної фотоелектричної електростанції, яка проєктується

Сумарна встановлена потужність фотоелектричних модулів	Середньорічна сонячна інсоляція	Коефіцієнт продуктивності	Річна генерація електричної енергії СЕС
P	H	PH	W
кВт	кВт*год/м ²	в.о.	кВт*год
31,68	1125	0,75	26730

Визначення елементної бази сонячної електростанції

Перелік основних елементів сонячної електростанції, що проектується відповідає принциповій технологічній схемі сонячної електростанції (рис. 2.4) та наведено в таблиці 2.14.

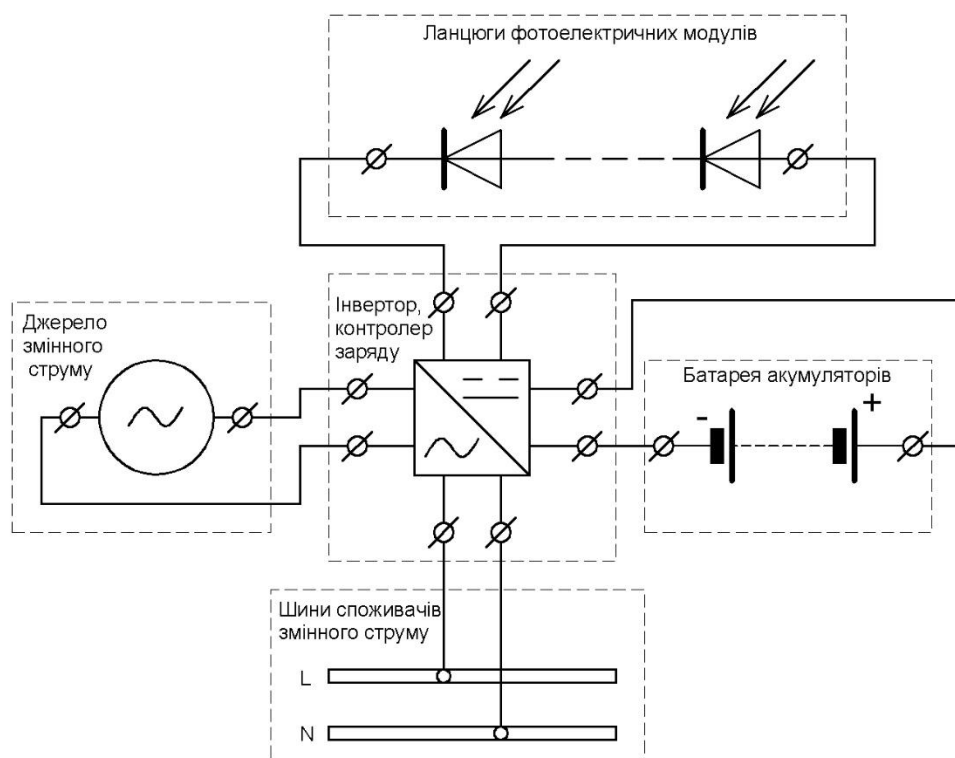


Рис. 2.4 Принципова технологічна схема сонячної фотоелектричної електростанції яка проектується

Таблиця 2.15 Перелік елементної бази сонячної електростанції яка проектується

Елемент	Тип	Посилання	Виробник
Інвертор	Deye SUN-12K-SG05LP3-EU-SM2	https://solar.biz.ua/hibrydnyi-invertor-12kvt-48v-tryfaznyiwifi-sun-12k-sg05lp3-eu-sm2-deye/?srsltid=AfmBOoqViAMmDJ1u0h0jWRFr1TO8ImFsFIXpeUbEv-Q2JuWlQVIAHNqQ	Китай
Фотоелектричні модулі	Tiger Neo N-type 54HL4R-BDV 420-440 Watt	https://jinkosolar.eu/wp-content/uploads/JKM420-440N-54HL4R-BDV-F1.2-EN-4.pdf	Китай

Акумуляторні блоки	Dyness B4850	https://magazzilla.com.ua/ua/p2343188942-akkumulyatornyj-blok-kvt.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=21673251561&gbraid=0AAAAAqdLhGZNJkZjTaUR2VsfuoQqdrGTG&gclid=Cj0KCQiAo4TKBhDRARIsAGW29beKch3mjbOhf-joXrsAHnUaD0GgIw89Qp0Usmu4Bs n5V7uvB_6af2EaAtK-EALw_wcB	Китай
--------------------	--------------	---	-------

Таблиця 2.16 Технічні характеристики інвертора

Характеристика	SUN-12K-SG05LP3-EU-SM2
Тип акумулятора	Свинцево-кислотний або літєвий
Діапазон напруги акумулятора (В)	40–60
Макс. струм зарядки (А)	240
Макс. струм розрядки (А)	240
Стратегія заряджання для Li-ion	Автоматична адаптація до BMS
Кількість входів для батарей	1
PV-вхід	
Макс. потужність PV модуля (Вт)	24000
Макс. вхідна PV потужність (Вт)	19200
Макс. вхідна напруга PV (В)	800
Стартова напруга (В)	160
Діапазон MPPT (В)	200–650
Номінальна напруга PV (В)	550
Макс. робочий струм PV (А)	26 + 26
Макс. струм короткого замикання PV (А)	39 + 39
Кількість MPPT / рядків на MPPT	2 / 2+2
АС вхід / вихід	
Номінальна активна потужність (Вт)	12000
Макс. вхідна/вихідна активна потужність змінного струму (ВА)	13200

Характеристика	SUN-12K-SG05LP3-EU-SM2
Номінальний вхідний/вихідний змінний струм (А)	18.2 / 17.4
Макс. вхідний/вихідний змінний струм (А)	20 / 19.2
Макс. безперервний прохідний змінний струм (від мережі до навантаження) (А)	45
Пікова потужність (off-grid) (Вт)	в 2 рази більша за номінал, 10 с
Діапазон коефіцієнта потужності	від 0.8 випередження до 0.8 відставання
Номінальна напруга / діапазон (В)	220/380В, 230/400В; 0.85Un–1.1Un
Частота мережі / діапазон (Гц)	50/45–55, 60/55–65
Тип підключення до мережі	3L+N+PE
Гармонійні спотворення струму THDi	<3% (від номінальної потужності)
Імпеданс постійного струму	<0.5% In
Ефективність	
Макс. ефективність	97.6%
Ефективність за євростандартом	97.0%
Ефективність MPPT	>99%
Інтерфейси	
Комунікаційні інтерфейси	RS485 / RS232 / CAN
Режим моніторингу	GPRS / Wi-Fi / Bluetooth / 4G / LAN (опц.)
Загальні дані	
Діапазон робочих температур (°C)	-40 до +60°C, >45°C зниження номінальних характеристик
Допустима вологість	0–100%
Макс. висота	3000 м
Рівень шуму (дБ)	≤55
Ступінь захисту (IP)	IP65
Топологія	Неізолюваний
Категорія перенапруги	OVC II (DC), OVC III (AC)

Характеристика	SUN-12K-SG05LP3-EU-SM2
Розміри (ШхВхГ, мм)	386×660×250
Вага (кг)	35.2
Тип охолодження	Інтелектуальне повітряне
Гарантія	5 / 10 років (залежно від регіону встановлення)
Стандарти мережі	IEC 61727, IEC 62116, CEI 0-21, EN 50549, NRS 097, RD 140, UNE 217002, OVE R25, G98, G99, VDE-AR-N 4105
Стандарти безпеки / EMC	IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2

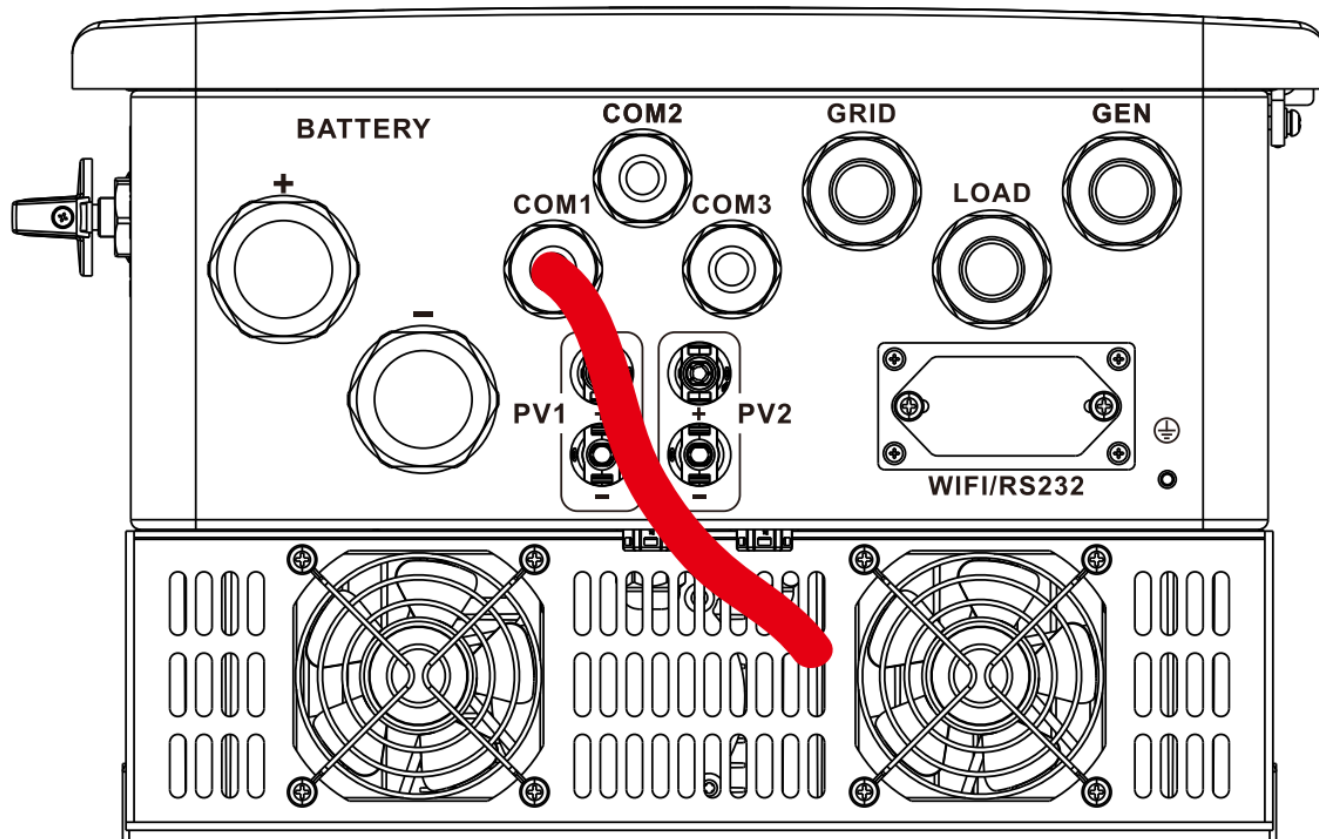


Рис. 2.222 Монтажна схема підключення інвертору

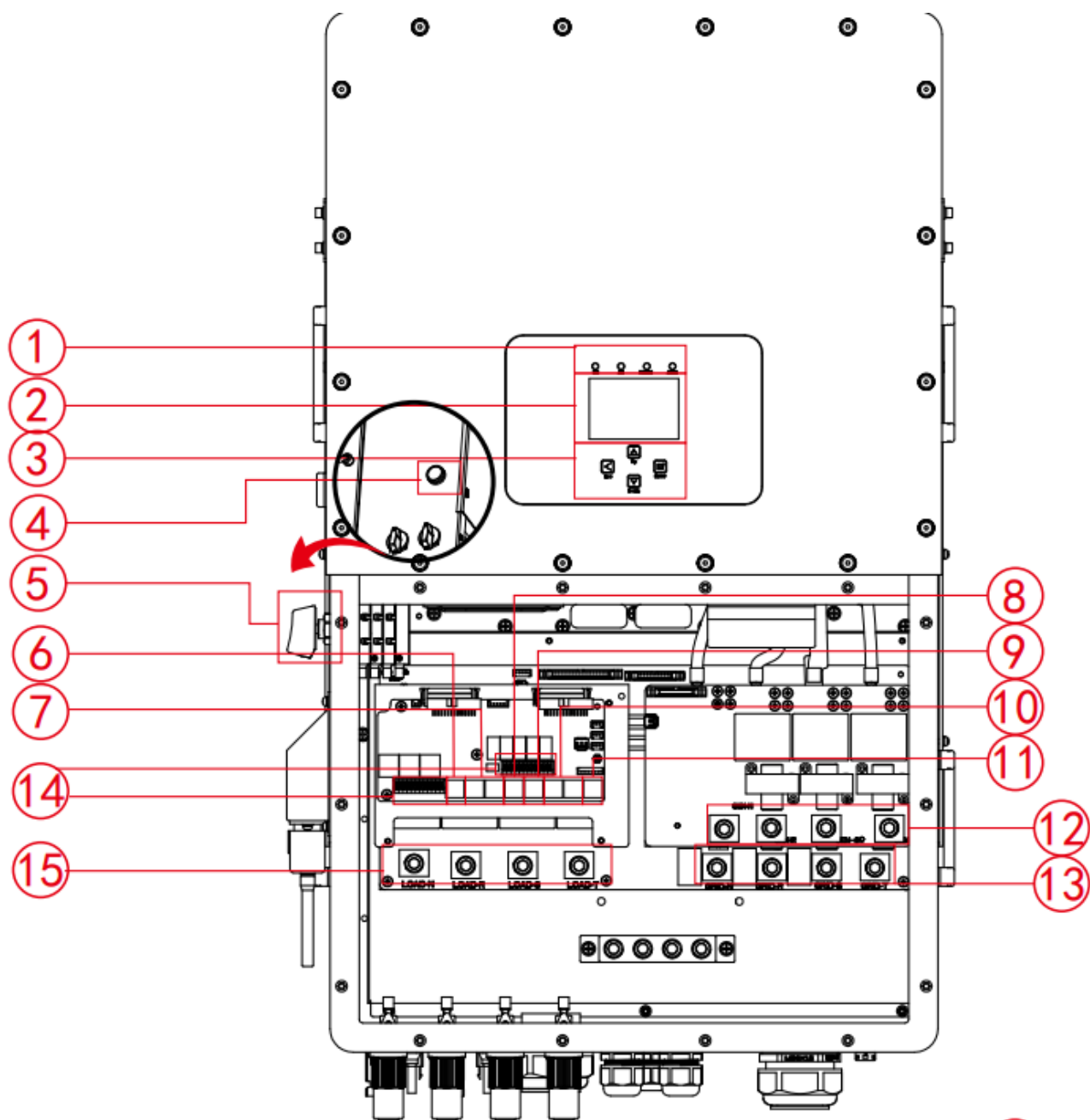


Рис. 2.5 Конструкція інвертора

1. Індикатори інвертора; 2. РК-дисплей; 3. Функціональні кнопки; 4. Кнопка увімкнення/вимкнення живлення; 5. Перемикач постійного струму; 6. Порт для підключення лічильника; 7. Паралельний порт; 8. CAN порт; 9. Порт DRM; 10. Порт BMS; 11. Порт RS485; 12. Вхід генератора; 13. Мережа; 14. Функціональний порт; 15. Навантаження;

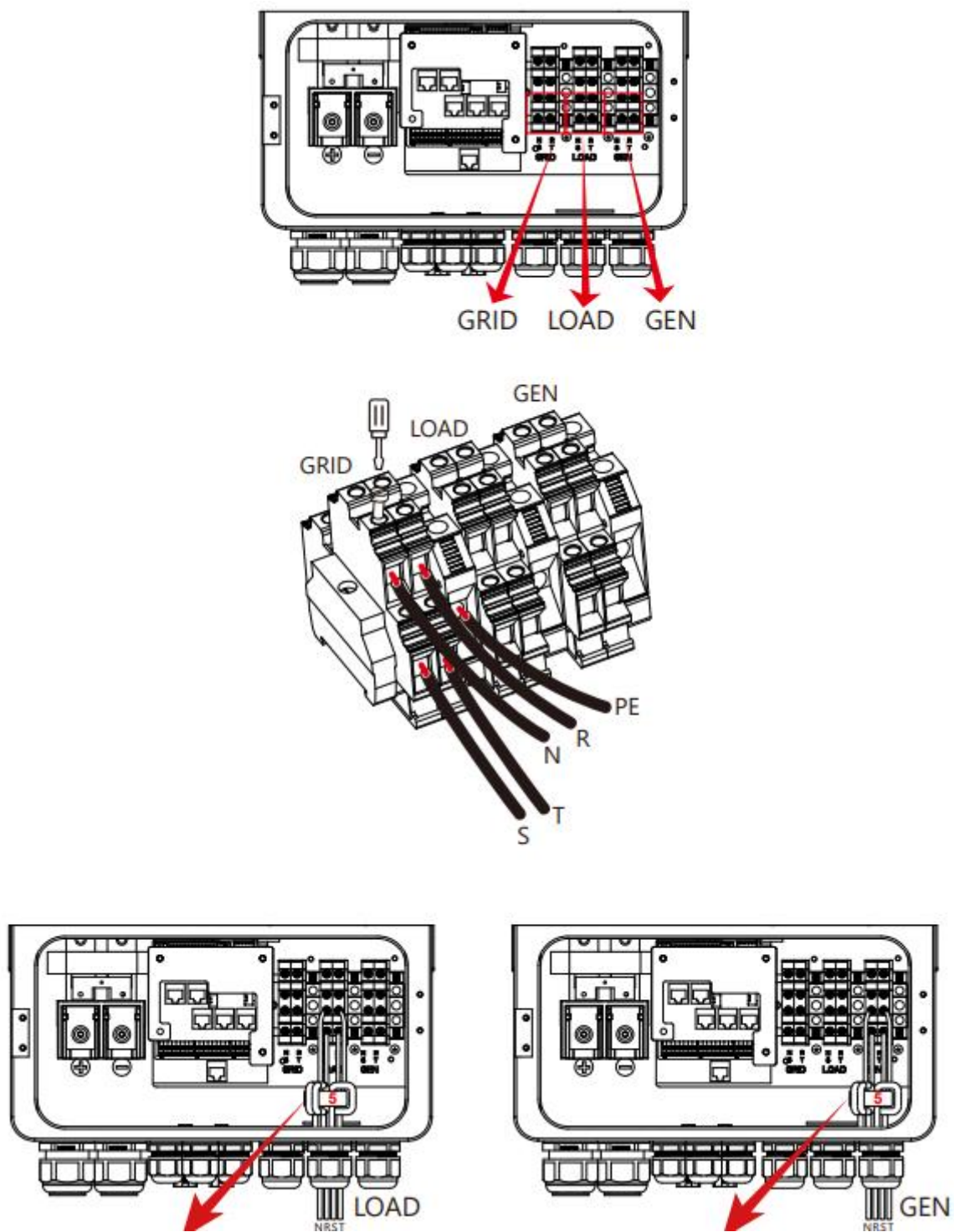


Рис. 2.222 Монтажні схеми підключення інвертору

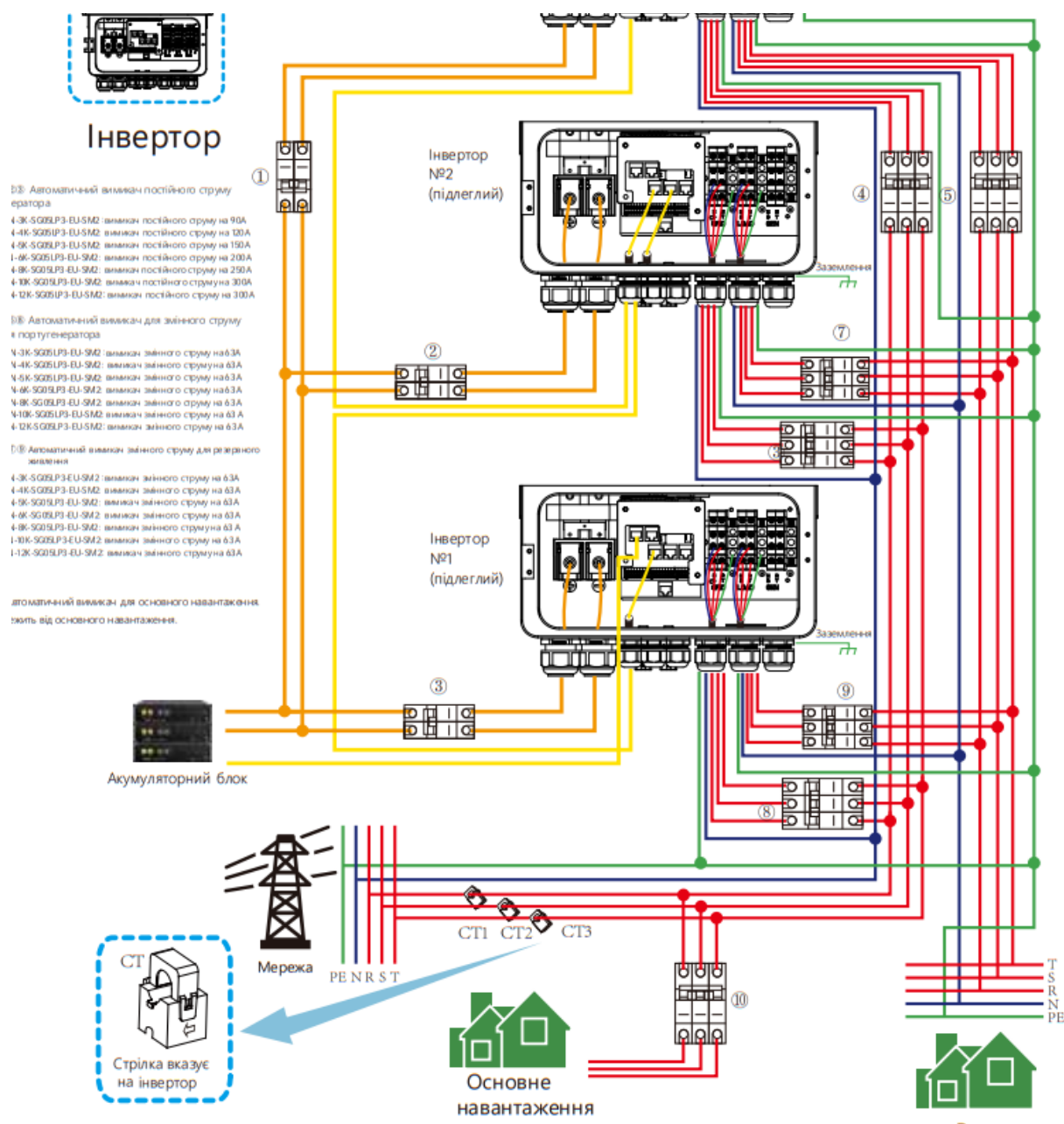


Рис. 2.6 Схема підключення інвертора до мережі та споживачів

Таблиця 2.15 Технічні характеристики фотоелектричних модулів

Mechanical Characteristics	
Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	108 (2×54)
Dimensions	1762×1134×30mm (69.37×44.65×1.18 inch)
Weight	22.0 kg (48.50 lbs)
Front Glass	1.6mm, Anti-Reflection Coating
Back Glass	1.6mm, Heat Strengthened Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 400mm , (-): 200mm or Customized Length

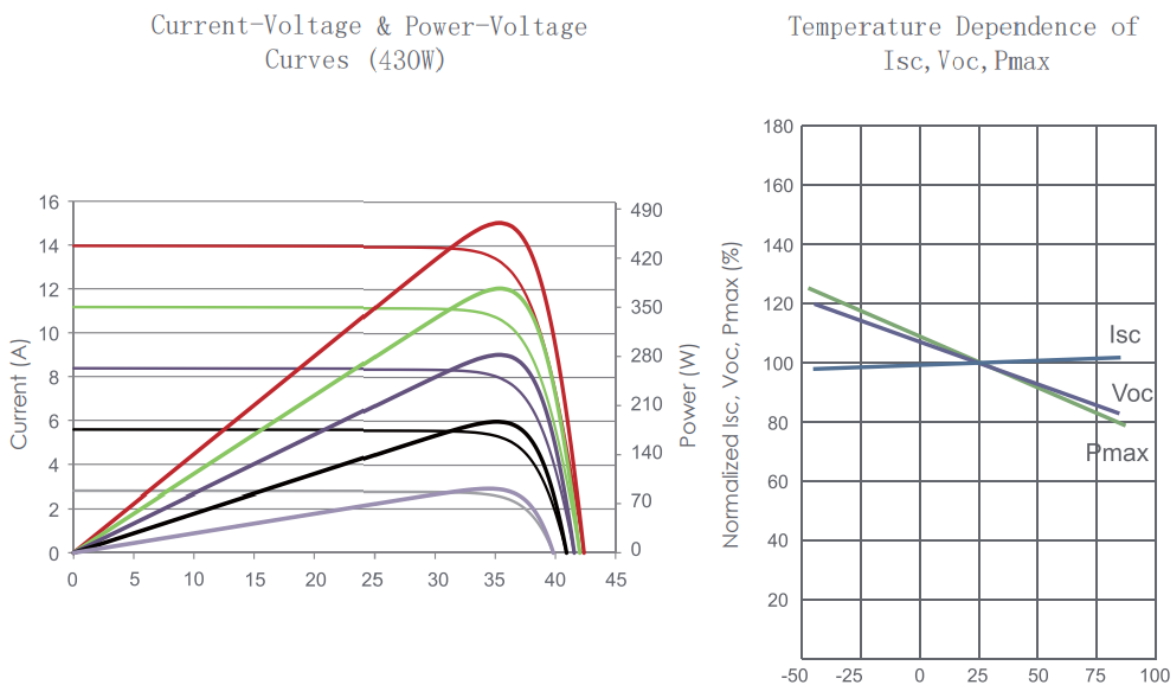


Рис. 2.7 Вольт-амперні та температурні характеристики фотоелектричних модулів

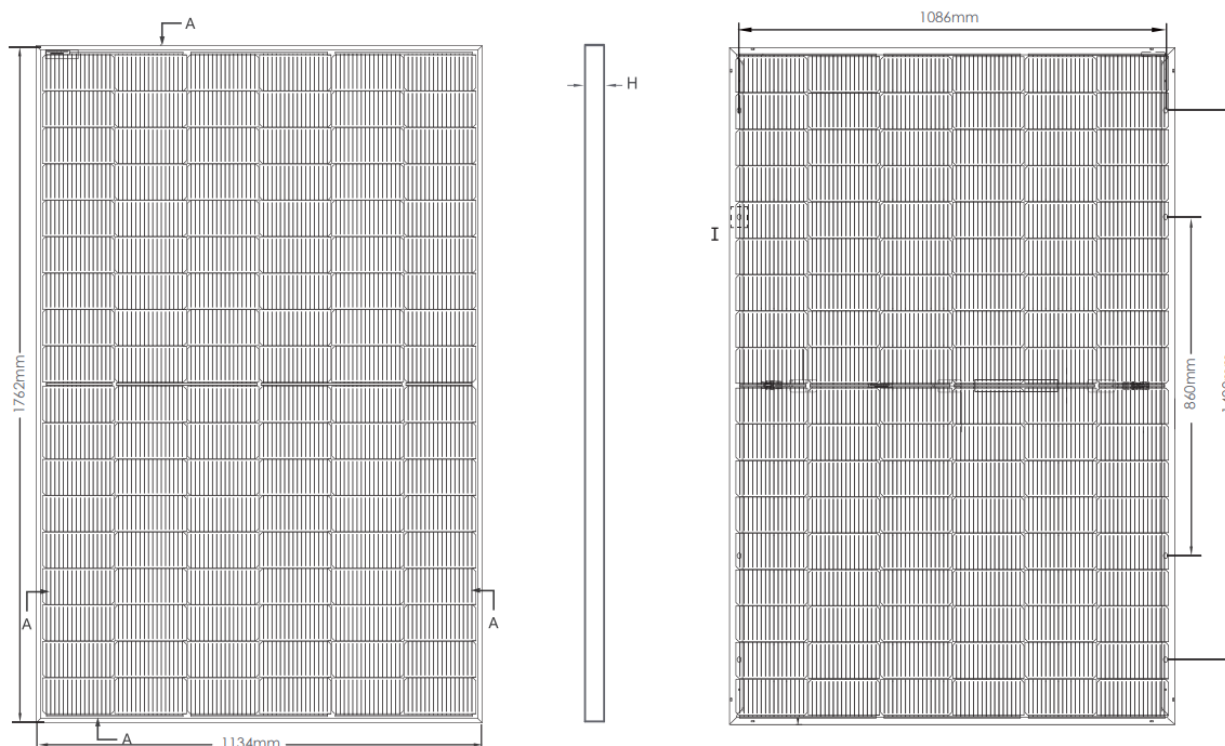


Рис. 2.8 Габаритні та монтажні розміри фотоелектричних модулів

Таблиця 2.16 Технічні характеристики акумуляторних блоків

Item	B4850 Parameter value
Nominal Voltage(V)	48
Work Voltage Range(V)	42~54
Nominal Capacity(Ah)	50
Nominal Energy(kWh)	2.4
Nominal Power(kW)	0.7
Max Power(kW)	2.4
1S Peak Power(kW)	2.64
1S Peak Current(A)	55
Charging Current(A)	25
Discharge Current(A)	25

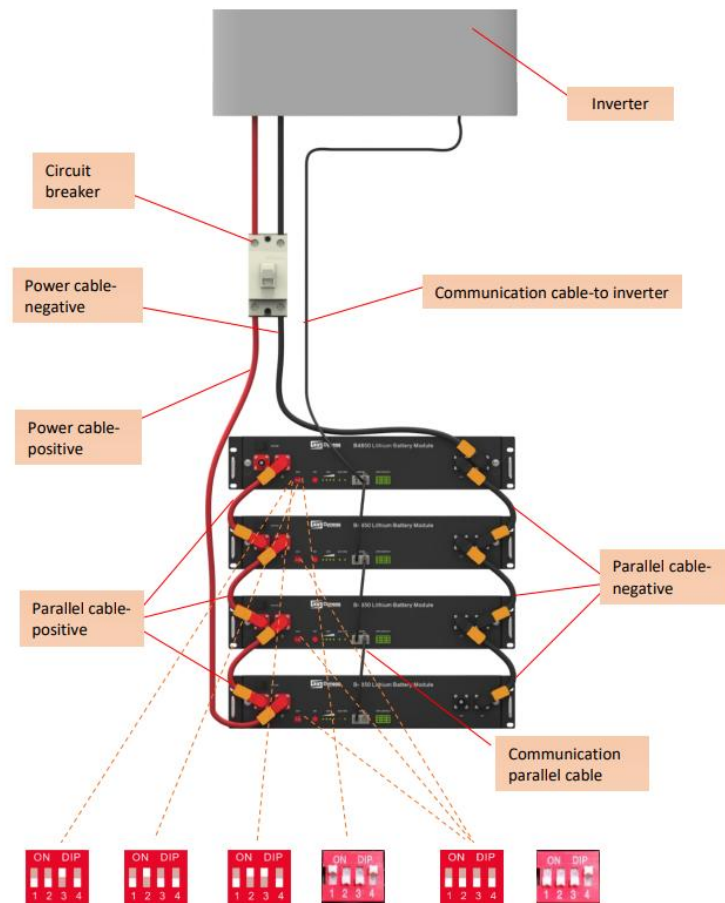
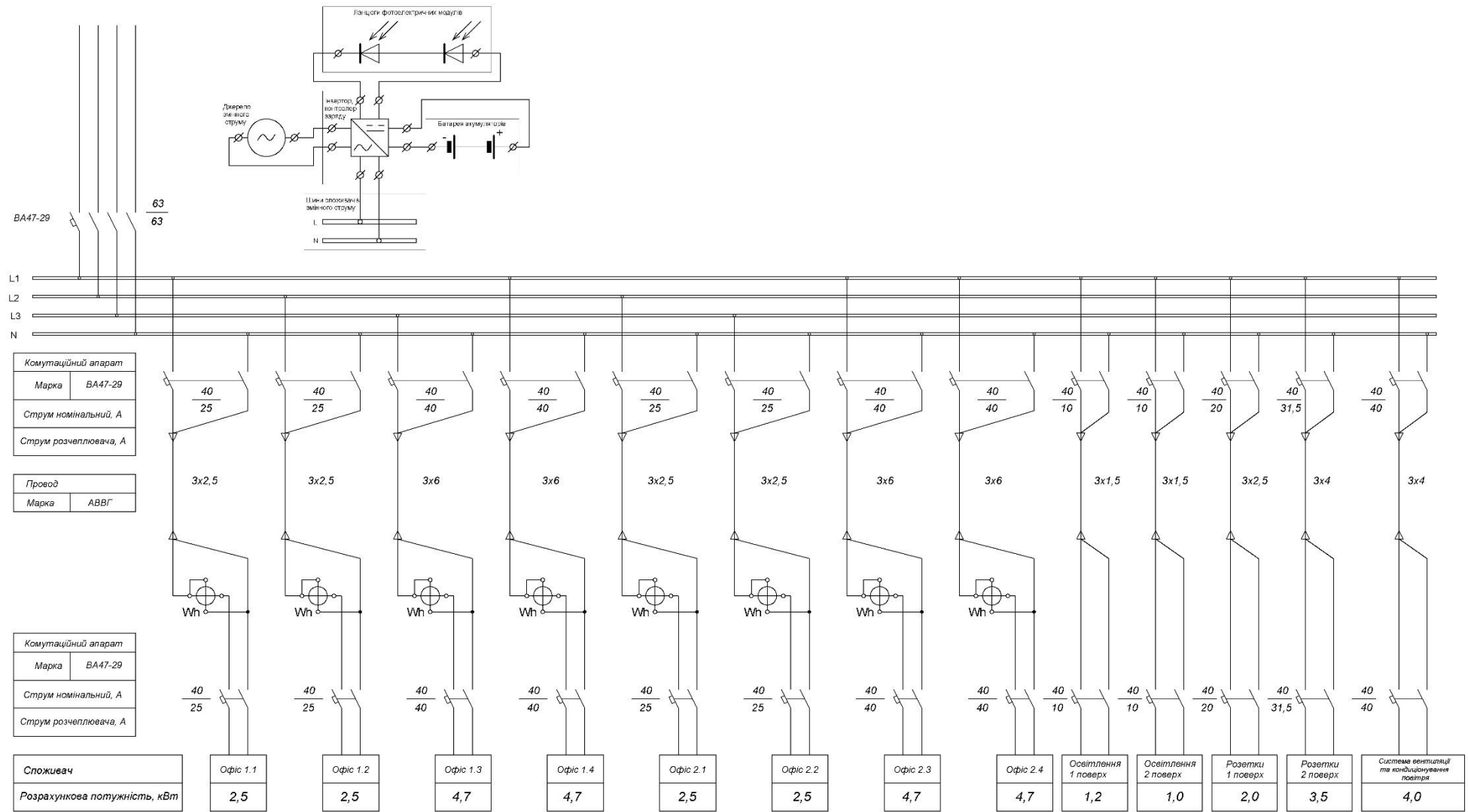


Рис. 2.9 Схема підключення акумуляторних блоків

2.5 Складання принципової однолінійної схеми системи комплексного електропостачання об'єкту

Спроектована однолінійна схема системи комплексного енергозабезпечення представлена на рис.2.10

Схема живлення споживачів – магістральна, резервне живлення забезпечується по фазі L1 від інвертора, який керує режимами роботи фотоелектричних модулів, дизель-генератора та акумуляторних батарей.



Висновки за розділом 2

У другому розділі роботи проведено ескізне проєктування системи комплексного енергозабезпечення офісного центру у м. Харків.

Спроектовано структурну схему системи комплексного енергозабезпечення, проведене проєктування системи електропостачання ліцею з використанням трьох джерел живлення: електрична мережа, фотоелектрична сонячна електростанція та дизель генератор. Проведено проєктування фотоелектричної електростанції. Визначено показники надійності роботи системи розподілу електроенергії .

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз останніх тенденцій розвитку технологій комплексного енергозабезпечення та визначені актуальні технології, які можуть бути впроваджені в Україні.

В проєктній частині було проведено ескізне проєктування системи комплексного енергозабезпечення офісного центру м. Харків, який має важливе значення для організації процесу логістики та потребує посилення показників надійності електропостачання.

Було прийнято рішення впровадити додаткові засоби генерації, такі як фотоелектрична електростанція та дизель-генераторна установка та впровадити систему накопичення електроенергії на базі батареї хімічних акумуляторів.

Розраховано показники надійності роботи системи розподілення електроенергії до електроприймачів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. F. Rizzi, N.J. van Eck, M. Frey, The production of scientific knowledge on renewable energies: worldwide trends, dynamics can challenges and implications for management, *Renew. Energy* 62 (2014) 657–671.
2. E. Vine, Breaking Down the Silos: the Integration of Energy Efficiency, Renewable Energy, Demand Respond and Climate Change, vol. 1, Energy Efficiency, 2008, pp. 49–63.
3. S. Manish, I.R. Pillai, R. Banerjee, Sustainability analysis of renewables for climate change mitigation, *Energy Sustain. Dev.* 10 (4) (2006) 25–36.
4. W.G. Santika, M. Anisuzzaman, P.A. Bahri, G. Shafiullah, G.V. Rupf, T. Urme, From goals to joules: a quantitative approach of interlinkages between energy and the Sustainable Development Goals, *Energy Res. Social Sci.* 50 (2019) 201–214.
5. A. Raheem, S. Samo, A. Memon, S.R. Samo, Y. Taufiq-Yap, M.K. Danquah, R. Harun, Renewable energy deployment to combat energy crisis in Pakistan, *Energy Sustain. Soc.* 6 (1) (2016) 16.
6. N. Ahmad Ludin, N.I. Mustafa, M.M. Hanafiah, M.A. Ibrahim, M.A. Mat Teridi, S. Sepeai, A. Zaharim, K. Sopian, Prospects of life cycle assessment of renewable Table LCOE of different type of HRES.
7. R. Banos, F. Manzano-Agugliaro, F.G. Montoya, G. Consolacion, A. Alcayde, J. A. Gomez, Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (4) (2011) 1753–1766.
8. A. Qazi, F. Hussain, N. Abd Rahim, G. Hardaker, D. Alghazzawi, K. Shaban, K. Haruna, Towards sustainable energy: a systematic review of renewable energy sources technologies, and public opinions, *IEEE Access* 7 (2019) 63837–63851.
9. R. Kardooni, S. Yusoff, F. Kari, Renewable energy technology acceptance in Peninsular Malaysia, *Energy Pol.* 88 (2016) 1–10.

10. EIA, Monthly Energy Review, U.S. Energy Information Administration, Washington, D.C., 2021. Accessed date: 29th July 2021.
11. P. Rosado, M. Roser, H. Ritchie, Energy," Our World in Data, 2020 [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/energy>. (Accessed 12 April 2022) Accessed.
12. IEA, Global Energy Review 2021, International Energy Agency (IEA), Paris, 2021. Accessed date: 29th July 2021.
13. IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021. (Accessed December 2021). Accessed date: 15th.
14. Y. Sang, H.B. Karayaka, Y. Yan, N. Yilmaz, D. Souders, Ocean (marine) energy, *Comprehensive Energy Syst.* 1 (2018) 733–769.
15. IRENA, Hydrogen: A Renewable Energy Perspective, International Renewable Energy Agency, Abo Dhabi, 2019. (Accessed December 2021). Accessed date: 15th.
16. I. Alhamrouni, M. Danial, M. Salem, L.J. Awal, B. Ismail, Design of 2LC-Y DC - DC converter for high voltage/low current renewable energy application, *Test Eng. Manag.* 83 (2020) 2111–2117.
17. M. Alhuyi Nazari, M. Salem, I. Mahariq, K. Younes, B.B. Maqableh, Utilization of data-driven methods in solar desalination systems: a comprehensive review, *Front. Energy Res.* 9 (2021) 541.
18. C. Diakaki, E. Grigoroudis, N. Kabelis, D. Kolokotsa, K. Kalaitzekis, G. Stavrakakis, A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings, *Energy* 35 (12) (2010) 5483–5496.
19. L. Alhafadhi, J. Teh, C.-M. Lai, M. Salem, Predictive adaptive filter for reducing total harmonics distortion in PV systems, *Energies* 13 (12) (2020) 3286.
20. A. Bughneda, M. Salem, A. Richelli, D. Ishak, S. Alatai, Review of multilevel inverters for PV energy system Applications, *Energies* 14 (6) (2021) 1585.

21. W. Shockley, H.J. Queisser, Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells, *J. Appl. Phys.* 32 (510) (1961).
22. M. Khamooshi, H. Salati, F. Egelioglu, A.H. Faghiri, J. Tarabishi, S. Babadi, A review of solar photovoltaic concentrators, *Int. J. Photoenergy* (958521) (2014) 1–17.
23. P. P´erez-Higueras, E. Munoz-Cer˜ on, ´ G. Almonacid, P.G. Vidal, High concentrator PhotoVoltaics efficiencies: present status and forecast, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (4) (2011) 1810–1815.
24. N. El Bassam, *Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities*, second ed., Elsevier, Oxford, 2021.
25. H. Bahar, *Concentrating Solar Power (CSP)*, IEA, Paris, 2020.
26. W.T. Xie, Y.J. Dai, R.Z. Wang, K. Sumathy, Concentrated solar energy applications using Fresnel lenses: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (6) (2011) 2588–2606.
27. P.D. Menghani, R.R. Udawant, A.M. Funde, S.V. Dingare, Low pressure steam generation by solar energy with fresnel, *IOSR J. Mech. Civ. Eng.* 5 (2013) 60–63.
28. O.E. Miller, J.H. McLeod, W.T. Sherwood, Thin sheet plastic fresnel lenses of high aperture, *J. Opt. Soc. Am.* 41 (11) (1951) 807–815.
29. M.F. Piszczor, R.P. Macosko, A high-efficiency refractive secondary solar concentrator for high temperature solar thermal applications, in: *Technical Memorandum*, NASA, 2000.
30. S. Malato, J. Blanco, A. Vidal, C. Richter, Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: an overview, *Appl. Catal. B Environ.* 37 (1) (2002) 1–15.
31. G.-L. Dai, X.-L. Xia, C. Sun, H.-C. Zhang, Numerical investigation of the solar concentrating characteristics of 3D CPC and CPC-DC, *Sol. Energy* 85 (11) (2011) 2833–2842.
32. E. Hossain, R. Muhida, A.F. Dzulkipli, K.A.A. Rahman, Solar cell efficiency improvement using compound parabolic concentrator and an

implementation of sun tracking system, in: 11th International Conference on Computer and Information Technology, Khulna, Bangladesh, 2008.

33. S.J. Gallagher, B. Norton, P.C. Eames, Quantum dot solar concentrators: electrical conversion efficiencies and comparative concentrating factors of fabricated devices, *Sol. Energy* 81 (6) (2007) 812–821.

34. K. Barnham, J.L. Marques, J. Hassard, P. O'Brien, Quantum-dot concentrator and thermodynamic model for the global redshift, *Appl. Phys. Lett.* 76 (9) (2000) 1197.

35. V. Wittwer, K. Heidler, A. Zastrow, A. Goetzberger, Theory of fluorescent planar concentrators and experimental results, *J. Lumin.* 24–25 (1981) 873–876. Part 2.

36. F. Muhammad-Sukki, R. Ramirez-Iniguez, S.G. McMeekin, B.G. Stewart, B. Clive, Solar concentrators, *Int. J. Appl. Sci.* 1 (1) (2010) 1–15.

37. G. Conibeer, S. Sherestha, S. Huang, R. Patterson, H. Xia, Y. Feng, P. Zhang, N. Gupta, M. Tayebjee, S. Smyth, Y. Liao, Z. Zhang, S. Chung, S. Lin, P. Wang, X. Dai, Hot Carrier solar cell absorbers: materials, mechanisms and nanostructures, in: *Next Generation Technologies for Solar Energy Conversion V* vol. 9178, 2014, 917802.

38. R.T. Ross, A.J. Nozik, Efficiency of hot-carrier solar energy converters, *J. Appl. Phys.* 53 (1982) 3813–3818.

39. M.A. Green, *Third Generation Photovoltaics: Ultra-high Efficiency at Low Cost*, Springer-Verlag, Berlin, 2003.

40. G. Conibeer, Third-generation photovoltaics, *Mater. Today* 10 (11) (2007) 42–50.

41. E. Palik, *Handbook of Optical Constants of Solids II*, Academic Press, San Diego, 1991.

42. J.M.A. Gilman, A.G. O'Neill, Device applications of interband tunneling structures with one, two, and three dimensions, *J. Appl. Phys.* 74 (351) (1993).

43. R.R. King, D.C. Law, K.M. Edmondson, C.M. Fetzer, G.S. Kinsey, H. Yoon, R. A. Sherif, N.H. Karam, 40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ge multijunction solar cells, *Appl. Phys. Lett.* 90 (2007), 183516.
44. J.M. Olson, S.R. Kurtz, A.E. Kibbler, P. Faine, A 27.3% efficient Ga_{0.5}In_{0.5}P/ GaAs tandem solar cell, *Appl. Phys. Lett.* 56 (1990) 623–625.
45. T. Takamoto, E. Ikeda, T. Agui, H. Kurita, Characteristics of GaAs based concentrator cell, in: *Technical Digest O the PVSEC-11*, Sapporo, Japan, 1999.
46. S.S. Soley, A.D.D. Dwivedi, Numerical simulation and performance analysis of InGaP, GaAs, Ge single junction and InGaP/GaAs/Ge triple junction solar cells, *Mater. Today Proc.* (5) (2021) 39.
47. S. Bailey, R. Raffaele, Space solar cells and arrays, in: *Handbook of Phoyovoltaic Science and Engineering*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 2011, pp. 365–401.
48. R. Cazzaniga, M. Cicu, P. Rosa-Clot, G.M. Tina, C. Ventura, Floating photovoltaic plants: performance analysis and design solutions, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 81 (2018) 1730–1741.
49. IEA, IEA-PVPS Annual Report 2015, International Energy Agency, 2015.
50. K. Trapani, M.R. Santaf´e, A review of floating photovoltaic installations: 2007-2013, in: *PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS, RESEARCH AND APPLICATIONS*, 2014.
51. M.Z.B. Alam, S. Ohgaki, Evaluation of UV-radiation and its residual effect for algal growth control, in: *Advances in Water and Wastewater Treatment Technology*, Elsevier, Oxford, 2001, pp. 109–117.
52. C. Ferrer-Gisvert, J.J. Ferr´an-Gozalvez, ´ M. Redon-Santaf´ ´e, P. Ferrer-Gisbert, F. J. Sanchez-Romero, ´ J.B. Torregrosa-Soler, A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs, *Renew. Energy* 60 (2013) 63–70.
53. H. Bahaidarah, A. Subhan, P. Gandhidasan, S. Rehman, Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions, *Energy* 59 (2013) 445–453.

54. M. Rosa-Clot, T. Giuseppe, Submerged and Floating Photovoltaic Systems: Modelling, Design and Case Studies, Elsevier Inc, 2017.
55. I. a. E. (Ministry of Trade, The World's Largest Floating Photovoltaic Business in Saemangeum, 2019 [Online]. Available: https://www.motie.go.kr/motie/ne/press/press2/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=161921&bbs_cd_n=81. (Accessed 4 June 2021). Accessed.
56. R.T. Wegh, H. Donker, K.D. Oskam, A. Meijerink, Visible quantum cutting in $\text{LiGdF}_4\text{:Eu}^{3+}$ through downconversion, *Science* 283 (5402) (1999) 663–666.
57. M. Wolf, A new look at silicon solar cell performance, *Energy Convers.* 11 (2) (1971) 63–73.
58. T. Trupke, M.A. Green, P. Würfel, Improving solar cell efficiencies by downconversion of high-energy, *J. Appl. Phys.* 92 (2002) 1668–1674.
59. B.S. Richards, Enhancing the performance of silicon solar cells via the application of passive luminescence conversion layers, *Sol. Energy Mater. Sol. Cell.* 90 (15) (2006) 2329–2337.
60. A.D. Vos, A. Szymanska, V. Badescu, Modelling of solar cells with downconversion of high energy photons, anti-reflection coatings and light trapping, *Energy Convers. Manag.* 50 (2009) 328–336.
61. Y. Wang, S. Wang, Y. Zhang, Q. Mao, S. Su, Z. Chen, Enhancing efficiencies of solar thermophotovoltaic cells by downconversion of high-energy photons, *J. Renew. Sustain. Energy* 13 (3) (2021).
62. Y. Khanjari, F. Pourfayaz, A.B. Kasaeian, Numerical investigation on using of nanofluid in a water-cooled photovoltaic thermal system, *Energy Convers. Manag.* 122 (2016) 263–278.
63. Y. Khanjari, A.B. Kasaeian, F. Pourfayaz, Evaluating the environmental parameters affecting the performance of photovoltaic thermal system using nanofluid, *Appl. Therm. Eng.* 115 (2017) 178–187.

64. A.K. Suresh, S. Khurana, G. Nandan, G. Dwivedi, S. Kumar, Role on nanofluids in cooling solar photovoltaic cell to enhance overall efficiency, *Mater. Today Proc.* 5 (9) (2018) 20614–20620.
65. C. Good, I. Andersen, A.G. Hestnes, Solar energy for net zero energy buildings – a comparison between solar thermal, PV and photovoltaic–thermal (PV/T) systems, *Sol. Energy* 122 (2015) 986–996.
66. X. Zhang, X. Zhao, S. Smith, J. Xu, X. Yu, Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16 (1) (2012) 559–617.
67. J.E.C. Kern, M.C. Russell, Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems, in: *Proceedings of the 13th IEEE PV Specialist Conference*, 1978. Washington, D.C.
68. H.A. Zondag, D.W.d. Vries, A.A.v. Steenhoven, Thermal and electrical yield of a combi-panel, in: *Proceedings of ISES Bi-annual Conference on CD-ROM*, 1999. Jerusalem.
69. X. Zhao, X. Zhang, S.B. Riffat, Y. Su, Theoretical study of the performance of a novel PV/e roof module for heat pump operation, *Energy Convers. Manag.* 52 (1) (2011) 603–614.
70. C.J. Cleveland, C. Morris, *Dictionary of Energy*, second ed., Elsevier Limited, Oxford, 2015.
71. V. Karanikola, S.E. Moore, A. Deshmukh, R.G. Arnold, M. Elimelech, A.E. Saez, Economic performance of membrane distillation configurations in optimal solar thermal desalination systems, *Desalination* 472 (2019), 114164. T.-Z. Ang et al. *Energy Strategy Reviews* 43 (2022) 100939
72. J. Huang, Y. He, Y. Hu, X. Wang, Steam generation enabled by a high efficiency solar absorber with thermal concentration, *Energy* 165 (2018) 1282–1291. Part B.
73. O. Ayadi, S. Al-Dahidi, Comparison of solar thermal and solar electric space heating and cooling systems for buildings in different climatic regions, *Sol. Energy* 188 (2019) 545–560.

74. K. Yahya, M. Salem, N. Iqteit, S.A. Khan, A Thermoelectric Energy Harvesting System, IntechOpen, 2020.
75. M. Mat Yashim, M.H. Sainorudin, M. Mohammad, A. Fudholi, N. Asim, H. Razali, K. Sopian, Recent advances on lightweight aerogel as a porous receiver layer for solar thermal, *Sol. Energy Mater. Sol. Cell.* 228 (2021) 111131.
76. S.C. Bhatia, Solar thermal energy, in: *Advanced Renewable Energy Systems*, Woodhead Publishing India, 2014, pp. 94–143.
77. C. Chang, Z. Wang, Y. Ji, High-efficiency solar thermoelectric conversion enabled by movable charging of molten salts, *Sci. Rep.* 10 (2020).
78. A.L. Avila-Marin, J. Fernandez-Reche, A. Martinez-Tarifa, Modelling strategies for porous structures as solar receivers in central receiver systems: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 111 (2019) 15–33.
79. Q. Li, Y. Zhang, Z.-X. Wen, Qi, Y. Qiu, An evacuated receiver partially insulated by a solar transparent aerogel for parabolic trough collector, *Energy Convers. Manag.* 214 (2020), 112911.
80. W. Liu, G. Wei, P. Huang, C. Xu, X. Du, Design and performance analysis of volumetric solar receiver based on porous foam ceramics, *AIP Conf. Proc.* 2033 (1) (2018) 040022, <https://doi.org/10.1063/1.506705>.
81. T. Fend, B. Hoffschmidt, R. Pitz-Paal, O. Reutter, P. Rietbrock, Porous materials as open volumetric solar receivers: experimental determination of thermophysical and heat transfer properties, *Energy* 29 (5–6) (2004) 823–833.
82. Z. Wang, X. Quan, Z. Zhang, P. Cheng, Optical absorption of carbon-gold coreshell Nanoparticles, *J. Quan. Spectros. Radiat. Trans.* 205 (2017).
83. F.A.C. Oliveira, J.C. Fernandes, J. Galindo, J. Rodríguez, I. Canãdas, L. Rosa, Thermal resistance of solar volumetric absorbers made of mullite, brown alumina and ceria foams under concentrated solar radiation, *Sol. Energy Mater. Sol. Cell.* 194 (2019) 121–129.
84. W. Fang, L. Zhao, H. Chen, W. Li, X. Zeng, X. Chen, Y. Shen, W. Zhang, Carbonized rice husk foam constructed by surfactant foaming method for solar steam generation, *Renew. Energy* 151 (2020) 1067–1075.

85. Z. Zhang, P. Mu, J. He, Z. Zhu, H. Sun, H. Wei, W. Liang, A. Li, Facile and Scalable Fabrication of Surface-Modified Sponge for Efficient Solar Steam Generation, *ChemSusChem*, 2018.
86. H. Cheng, X. Liu, L. Zhang, B. Hou, F. Yu, Z. Shi, X. Wang, Self-floating Bi₂S₃/ poly (vinylidene fluoride) composites on polyurethane sponges for efficient solar water purification, *Sol. Energy Mater. Sol. Cell.* 203 (2019), 110127.
87. X. Lao, X. Xu, J. Wu, X. Xu, High-temperature alloy/honeycomb ceramic composite materials for solar thermal storage applications: preparation and stability evaluation, *Ceram. Int.* 43 (5) (2017) 4583–4593.
88. C. Agrafiotis, A. Becker, M. Roeb, C. Sattler, Exploitation of thermochemical cycles based on solid oxide redox systems for thermochemical storage of solar heat. Part 5: testing of porous ceramic honeycomb and foam cascades based on cobalt and manganese oxides for hybrid sensible/thermochemical heat s, *Sol. Energy* 139 (2016) 676–694.
89. L. Zong, M. Li, C. Li, Intensifying solar-thermal harvest of low-dimension biologic nanostructures for electric power and solar desalination, *Nano Energy* 50 (2018) 308–315.
90. T. Ural, Experimental performance assessment of a new flat-plate solar air collector having textile fabric as absorber using energy and exergy analyses, *Energy* 188 (2019), 116116.
91. X. Du, M. Zhou, S. Deng, Z. Du, X. Cheng, H. Wang, Poly(ethylene glycol)-grafted nanofibrillated cellulose/graphene hybrid aerogels supported phase change composites with superior energy storage capacity and solar-thermal conversion efficiency, *Cellulose* 27 (2020) 4679–4690.
92. B. Huo, D. Jiang, X. Cao, H. Liang, Z. Liu, C. Li, J. Liu, N-doped graphene/carbon hybrid aerogels for efficient solar steam generation, *Carbon* 142 (2019) 13–19.
93. S.K. Gupta, S. Gupta, The role of nanofluids in solar thermal energy: a review of recent, *Mater. Today Proc.* 44 (2021) 401–412.

94. M. Ghalandari, A. Maleki, A. Haghighi, M.S. Shadloo, M.A. Nazari, I. Tlili, Applications of nanofluids containing carbon nanotubes in solar energy systems: a review, *J. Mol. Liq.* 313 (2020), 113476.
95. P.K. Nagarajan, J. Subramani, S. Suyambazhahan, R. Sathyamurthy, Nanofluids for solar collector applications: a review, *Energy Proc.* 61 (2014) 2416–2434.
96. D. Zheng, J. Wang, Z. Chen, J. Baleta, B. Sund'en, Performance analysis of a plate heat exchanger using various nanofluids, *Int. J. Heat Mass Tran.* 158 (2020), 119993.
97. M. Gupta, V. Singh, R. Kumar, Z. Said, A review on thermophysical properties of nanofluids and heat transfer applications, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 74 (2017) 638–670.
98. T. Gorji, A.A. Ranjbar, A review on optical properties and application of nanofluids in direct absorption solar collectors (DASCs), *Renew. Sustain. Energy Rev.* 72 (2017) 10–32.
99. S.H.A. Ahmad, R. Saidur, I.M. Mahbubul, F.A. Al-Sulaiman, Optical properties of various nanofluids used in solar collector: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 73 (2017) 1014–1030.
100. S.M.S. Murshed, C.A. Nieto de Castro, Conduction and convection heat transfer characteristics of ethylene glycol based nanofluids – a review, *Appl. Energy* 184 (2016) 681–695.
101. L. Yang, K. Du, A comprehensive review on heat transfer characteristics of TiO₂ nanofluids, *Int. J. Heat Mass Tran.* 108 (2017) 11–31.
102. V. Kumar, A.K. Tiwari, S.K. Ghosh, Application of nanofluids in plate heat exchanger: a review, *Energy Convers. Manag.* 105 (2015) 1017–1036.
103. P. Breeze, Chapter 11 - wind power, in: *Power Generation Technologies*, second ed., Newnes, London, 2014, pp. 223–242.
104. G.M.J. Herbert, S. Iniyan, E. Sreevalsan, S. Rajapandian, A review of wind energy technologies, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 11 (2007) 1117–1145.

105. A. Rashad, S. Kamel, F. Jurado, The basic principles of wind farms, in: Distributed Generation Systems, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2017, pp. 21–67.
106. P. Breeze, Wind power, in: Power Generation Technologies, third ed., Newnes, London, 2019, pp. 251–273
107. <https://ukrenergymachines.com/>
108. <https://studopedia.com.ua>
109. <https://res.ua>
110. <https://www.avtomats.com.ua>
111. Правила улаштування електроустановок: Київ, 2018 р.
112. Мороз В.Д. Розрахунок показників надійності електроприводу: Метод, рекомендації для студентів. - Харків: ХМК, 2011.
113. <https://pidruchniki.com>
114. Методичний посібник з дипломного проєктування для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Укладачі: Задорожна Т.В., Кононова Т.Г., Красоткіна І.І., Мороз В.Д., 2022
115. Методичний посібник з курсового проєктування для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Укладачі: Дон А.В, Мороз В.Д., 2021
116. Журахівський А.В., Кінаш Б.М, Пастух О.Р. Надійність електричних систем і мереж. Друге видання. Львів, 2016. 280с.