

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

**«АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА УМОВ
ЗАСТОСУВАННЯ ІНВЕРТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ СОНЯЧНИХ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ»**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕС-216
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

ОП «Електричні станції»

Христюк Я. С.

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС

Остра Н. В.

« 06 » червня 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. ЕССЕМ
(наук. ступінь, вч. звання, назва кафедри)

« 06 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

« 11 » 01 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

«10» 03 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Христюку Ярославу Сергійовичу.
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Аналіз технічних особливостей та умов застосування інверторного обладнання сонячних електростанцій»

Керівник роботи к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС Остра Н. В.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025 року № 97

2. Термін подання студентом роботи 3 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи:

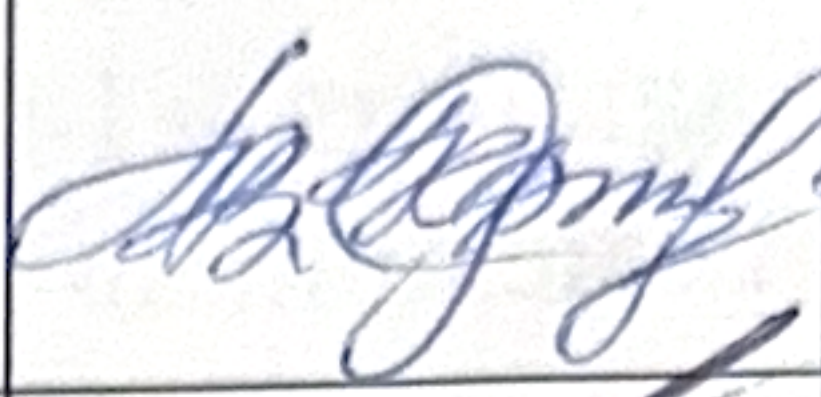
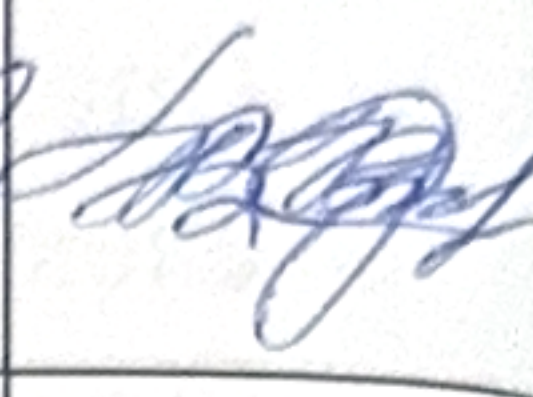
1. Довідникові дані щодо технічних параметрів та характеристик інверторного обладнання. 2. Кириченко О. І. Альтернативні джерела енергії: навчальний посібник. - Львів: ЛНУ, 2017.

Вихідні дані для проведення обчислювального експерименту: потужність СЕС: 10 кВт. Кількість фаз у мережі: 3 фази (стандарт для домогосподарств з великою потужністю). Тип системи: мережева, без накопичувачів енергії. Розташування станції: на даху житлового будинку, з відкритим доступом до сонця. Місцевий клімат: помірний, з середніми літніми температурами до +30 °С.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Перспективи розвитку та особливості роботи сонячних електростанцій. 2. Аналіз технічних параметрів та особливостей будови інверторного обладнання СЕС. 3. Дослідження умов експлуатації та особливостей застосування інверторного обладнання. 4. Аналіз умов вибору інверторного обладнання при проектуванні сонячних електростанцій. 5. Охорона праці. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Мета і задачі дослідження. 2. Класифікація сонячних електростанцій. 3. Схема підключення автономного інвертора. 4. Схема підключення мережевого інвертора. 5. Схема підключення гібридного або комбінованого інвертора. 6. Аналіз особливостей будови популярних моделей інверторів різних компаній-виробників, які використовуються в Україні та світі. 7. Інвертори компанії Fronius. 8. Мережевий інвертор компанії Huawei та однофазний мережевий інвертор компанії ABB. 9. Трифазні промислові інвертори компанії ABB. 10. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

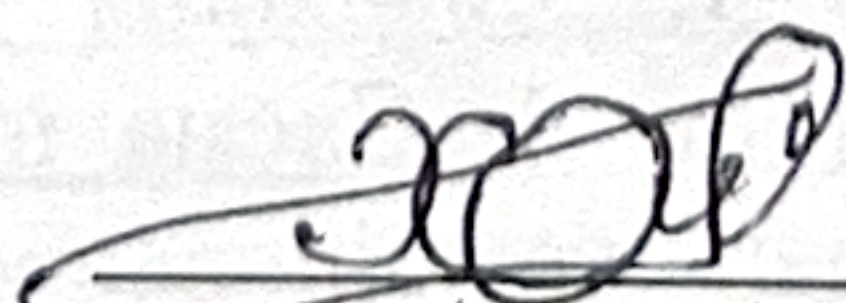
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		
Охорона праці	Кобилянський О. В. д. пед. н., професор, зав. каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи		При- мітка
		Початок	Кінець	
1	Формування та затвердження теми БКР	20.03.2025	20.03.2025	визн.
2	Вступ. Огляд літературних джерел	21.03.2025	25.03.2025	визн.
3	Перспективи розвитку та особливості роботи сонячних електростанцій.	26.03.2025	09.04.2025	визн.
4	Аналіз технічних параметрів та особливостей будови інверторного обладнання СЕС.	10.04.2025	26.04.2025	визн.
5	Дослідження умов експлуатації та особливостей застосування інверторного обладнання.	27.04.2022	05.05.2022м	визн.
6	Аналіз умов вибору інверторного обладнання при проектуванні сонячних електростанцій.	06.05.2025	18.05.2025	визн.
7	Охорона праці	19.05.2025	25.05.2025	визн.
8	Формування висновків по роботі. Оформлення пояснювальної записки	26.05.2025	29.05.2025	визн.
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	30.05.2025	01.06.2025	визн.
9	Перевірка БДР на плагіат. Попередній захист БДР. Рецензування БДР	02.06.2025	03.06.2025	визн.
10	Захист БДР	За графіком		

Студент


 (підпис)

Керівник роботи


 (підпис)
Христюк Я. С.Остра Н. В.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311.1

Христюк Я.С. «Аналіз технічних особливостей та умов застосування інверторного обладнання сонячних електростанцій». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця : ВНТУ. 2025. – 71 с. Бібліографія: 35. Рисуноків: 25. Таблиць: 3.

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, яка виконана на 71 друкованих аркушах та складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків.

У першому розділі досліджуються перспективи розвитку та особливості роботи сонячних електростанцій. В другому розділі аналізуються технічні параметри, класифікація та особливості будови інверторного обладнання. В третьому розділі розглядаються умови експлуатації та особливості застосування інверторного обладнання.

В четвертому розділі аналізуються особливості вибору інверторного обладнання при проектуванні сонячних електростанцій. В п'ятому розділі розглядаються основні питання щодо охорони праці обслуговуючого персоналу СЕС.

Ключові слова: інвертор, сонячні електричні станції, фотовольтаїчні електростанції, інверторне обладнання, автономні інвертори, мережеві інвертори, гібридні інвертори.

ABSTRACT

Yaroslav Khrystiuk «Analysis of technical features and conditions of use of inverter equipment for solar power plants». Bachelor's thesis. - Vinnytsia: VNTU. 2025. - 71 p. Bibliography: 35. Figures: 25. Table: 3.

The bachelor's thesis consists of a calculation and explanatory note, which is made on 71 printed sheets and consists of an introduction, 5 chapters, conclusions, a list of references and appendices.

The first section examines the prospects for development and features of the operation of solar power plants. The second section analyzes the technical parameters, classification and structural features of inverter equipment. The third section examines the operating conditions and features of the use of inverter equipment.

The fourth section analyzes the features of the choice of inverter equipment when designing solar power plants. The fifth section examines the main issues of labor protection of solar power plant service personnel.

Key words: inverter, solar power plants, photovoltaic power plants, inverter equipment, autonomous inverters, network inverters, hybrid inverters.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	9
1.1. Класифікація та принципи роботи сонячних електростанцій.....	12
1.2. Основне обладнання сонячних електростанцій	16
1.3. Аналіз основних функцій інверторного обладнання сонячних електростанцій.....	18
2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДОВИ ІНВЕРТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ СЕС	20
2.1. Класифікація інверторів та їх застосування.....	20
2.2. Технічні та функціональні характеристики сучасних інверторів	24
2.3. Вимоги до ефективності, безпеки та відповідності стандартам інверторів.....	28
2.4. Аналіз особливостей будови популярних моделей інверторів різних компаній-виробників, що використовуються в Україні та світі.....	29
3. ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ІНВЕРТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ	42
3.1. Зовнішні (природні) фактори, які впливають на роботу інвертора ..	42
3.2. Аналіз внутрішніх (технічних) умов експлуатації інверторів	43
3.3. Дослідження умов експлуатації, технічного обслуговування та моніторингу ефективності роботи інверторного обладнання	44
3.4. Системи захисту та заходи для забезпечення надійної роботи інверторів.....	22
4. АНАЛІЗ УМОВ ВИБОРУ ІНВЕРТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	47
4.1. Необхідні умови для вибору інверторного обладнання при проектуванні СЕС	47

4.2. Розрахунок та обґрунтування вибору інвертора для домогосподарської сонячної електростанції потужністю 10 кВт	50
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	53
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	54
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	54
5.1.2 Електробезпека	56
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	58
5.2.1 Мікроклімат	58
5.2.2 Склад повітря робочої зони	59
5.2.3 Виробниче освітлення	59
5.2.4 Виробничий шум	60
5.2.5 Виробничі вібрації.....	61
5.3 Пожежна безпека	62
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТКИ	71
ДОДАТОК А. Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи..	72
ДОДАТОК Б. Ілюстративна частина	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АКБ – акумуляторна батарея

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

ЕЕС – електроенергетична система

ККД – коефіцієнт корисної дії

МРРТ – максимально можлива потужність на виході

СЕС – сонячна електростанція

ТП – трансформаторна підстанція

ФЕС – фотовольтаїчна електростанція

ВСТУП

Актуальність теми. Станом на кінець 2024 року загальна встановлена потужність сонячних електростанцій в Україні перевищила 7 ГВт. Частка електроенергії, виробленої сонячними електростанціями, у структурі національного енергобалансу становила приблизно 6%. Водночас спостерігалось активне зростання кількості малих і середніх сонячних станцій, особливо у приватному секторі. Кількість споживачів, які одночасно виробляють і використовують електроенергію (прос'юмерів), перевищила 45 000 осіб.

Щорічне розширення сфери сонячної енергетики дозволяє скорочувати викиди вуглекислого газу на понад 5,5 мільйона тонн. Галузь сприяла створенню понад 25 000 робочих місць та залученню інвестицій у розмірі понад 6,2 мільярда євро. Окрім того, розвиток внутрішнього виробництва компонентів для СЕС позитивно впливає на зростання суміжних секторів промисловості [1].

Згідно з Енергетичною стратегією України до 2035 року, яка має назву «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», частка відновлюваних джерел енергії у загальному виробництві електроенергії має досягти 25% [3].

Водночас сектор стикається з низкою суттєвих викликів. Серед головних проблем - нестабільна регуляторна політика, затримки з виплатами за «зеленим» тарифом, а також обмеження щодо підключення нових генеруючих потужностей до електромереж. Для подальшого розвитку галузі необхідне оновлення нормативно-правової бази, спрямоване на стимулювання інвестицій та підтримку інновацій.

На технічному рівні існують також певні труднощі. Зокрема, це високі стартові інвестиції - близько 7 000 євро за 1 кВт для промислових установок і близько 1 000 євро за 1 кВт для домашніх СЕС. Крім того, гостро стоїть питання модернізації електричних мереж і підвищення пропускної здатності

систем передачі. Важливими завданнями залишаються балансування навантажень у мережі та забезпечення стабільності генерації [1].

Найбільш критичним фактором, що гальмує розвиток сонячної енергетики, є вплив військових дій, які тривають після повномасштабного вторгнення. Внаслідок бойових дій пошкоджено або повністю зруйновано енергетичну інфраструктуру в окремих регіонах. Частина СЕС припинила роботу, а обслуговування обладнання стало значно складнішим. Як наслідок, виникає нагальна потреба у відновленні енергетичних потужностей, зміцненні енергетичної безпеки та подальшому розвитку незалежної інфраструктури.

У контексті глобального переходу до відновлюваних джерел енергії сонячна енергетика набуває особливої актуальності. Зростаючі потреби в екологічно чистій енергії, підвищення тарифів на електроенергію та технічний прогрес сприяють активному впровадженню сонячних електростанцій (СЕС) як у промисловому, так і в побутовому секторі. Однією з ключових складових таких систем є інверторне обладнання, яке забезпечує перетворення постійного струму від фотомодулів у змінний, придатний для використання у стандартних електромережах. Технічні характеристики, умови експлуатації та правильний вибір інвертора значно впливають на ефективність роботи СЕС [2]. Тому дослідження цієї теми є важливим і актуальним.

Отже, аналіз питань щодо технічних особливостей та умов застосування інверторного обладнання сонячних електростанцій є важливою та **актуальною задачею**.

Мета і задачі дослідження. Метою даної бакалаврської роботи є проаналізувати технічні особливості та умови застосування інверторного обладнання сонячних електростанцій.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **основні завдання**:

- дослідити перспективи розвитку та особливості роботи сонячних електростанцій;
- проаналізувати технічні параметри, класифікацію та особливості будови інверторного обладнання;
- розглянути умови експлуатації та особливості застосування інверторного обладнання;
- проаналізувати особливості вибору інверторного обладнання при проектуванні сонячних електростанцій;
- розглянути основні питання щодо охорони праці обслуговуючого персоналу СЕС.

Об'єктом дослідження є сонячні електростанції, як системи генерування електроенергії з відновлюваних джерел, а **предметом дослідження** є інверторне обладнання СЕС.

1 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Станом на кінець 2024 року загальна встановлена потужність СЕС в Україні перевищувала 7 ГВт. Частка сонячної генерації в загальному енергобалансі складала близько 6%. Спостерігалася тенденція до збільшення кількості малих та середніх СЕС, особливо в сегменті домашніх господарств. Кількість просьюмерів перевищила 45000. [1].

Розвиток сонячної енергетики щороку зменшує викиди CO₂ в атмосферу на 5,5 млн. тонн. Галузь створила понад 25000 робочих місць та залучила інвестиції на суму більше 6.2 млрд євро. Локалізація виробництва компонентів СЕС сприяє розвитку суміжних галузей промисловості.



Рисунок 1.1 – Зображення сонячних панелей (модулів)

СЕС

Електрична енергія, вироблена в країні з сонячної енергії, має особливе значення для енергетичної безпеки України. Відповідно до Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», відновлювана енергетика повинна досягнути рівня 25% у загальній структурі виробництва електричної енергії [3].

Основні виклики включають: нестабільність регуляторного середовища, затримки виплат за “зеленим” тарифом, обмеження на приєднання нових потужностей до мережі. Необхідна модернізація законодавства для стимулювання розвитку галузі [1].

Також, є ряд технічних складнощів щодо розвитку ВДЕ в країні, а саме: значні початкові інвестиції (від 7000 євро/кВт для промислових та 1000 євро/кВт для домашніх СЕС), потреба в модернізації електромереж та обмежена пропускна здатність систем передачі. Технічні виклики включають балансування мережі та забезпечення стабільності генерації.

Найбільшою загрозою, зокрема, для розвитку сонячної енергетики є вплив військових дій після повномасштабного вторгнення ворожих військ. В результаті військових дій пошкоджено, а в деяких містах повністю зруйновано різні енергетичні об’єкти та інфраструктури міст. Крім того, зупинено роботи частини СЕС, а також виникають різні складнощі з обслуговуванням електрообладнання. І як наслідок, потреба в захисті від ракетних атак збільшує вартість проєктів СЕС. Тому, дуже важлива постійна державна підтримка для відновлення пошкоджених об’єктів енергетики.

За підсумками останніх років наша держава мала один з найвищих темпів розвитку сонячної енергетики в Європі. Однак вторгнення агресора в 2022 році завдало значних збитків галузі. Дві третини СЕС в Україні розташовані на півдні, де сьогодні йдуть активні бойові дії. За різними оцінками, понад 30% сонячних електростанцій на окупованих територіях, а

це приблизно 1120-1500 МВт встановленої потужності, зазнали руйнувань. Крім того, зруйновано понад 25% непромислових (приватних) СЕС [2].

Використання сонячної енергії як у промисловості, так і в повсякденному житті дозволяє споживачам задовольняти потреби в електроенергії, водночас зменшуючи залежність від енергетичних компаній та зовнішніх чинників. Активний розвиток сонячної енергетики в Україні сприятиме підвищенню конкурентоспроможності національної енергосистеми.

За даними Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA), збільшення частки сонячної енергії до 2030 року дозволить знизити загальні витрати на функціонування енергетичного сектору. Це, у свою чергу, позитивно вплине на довкілля та здоров'я громадян завдяки зменшенню рівня забруднення повітря та скороченню шкідливих викидів [1].

Водночас відбуваються зміни у масштабах і географічному розміщенні сонячних електростанцій. Сектор переходить від переважання великих промислових СЕС до моделі розподіленої генерації. Очікується зростання кількості електростанцій середньої потужності (1–5 МВт), а також активізація сегменту просьюмерів – споживачів, які одночасно виробляють і споживають енергію. Нові проекти дедалі частіше реалізуються у центральних та західних регіонах України.

Кількість домашніх сонячних електростанцій зростає стабільно на 25–30% щороку. До кінця 2025 року прогнозується, що кількість просьюмерів досягне 100000 осіб. Набирають популярності енергетичні кооперативи та платформи віртуальних електростанцій, що об'єднують домашні СЕС в єдині енергосистеми.

Також спостерігається зростання інтересу до технологій збереження енергії: поширюються smart-інвертори, системи акумулювання та предиктивної діагностики. На практиці впроваджуються двосторонні сонячні панелі, трекінгові системи, а також вдосконалюються технології

інтеграції СЕС у загальну енергетичну мережу через віртуальні електростанції.

1.1. Класифікація та принципи роботи сонячних електростанцій

Сьогодні велика кількість підприємств України займаються проектуванням та будівництвом сонячних електростанцій, а саме: «Промавтоматика», Voltage Group, KNESS, ТОВ «Солар» та інших підприємства (рис. 1.2-1.3).



Рисунок 1.2 – Сонячна електростанція встановленою потужністю 13,575 МВт у Миколаївській області

Сонячна електростанція (СЕС) - це система, що призначена для перетворення сонячної енергії в електричну за допомогою фотоелектричних модулів. Основний принцип її роботи полягає у генерації постійного електричного струму під дією сонячного випромінювання, який далі перетворюється в змінний струм для використання в побутових або промислових електромережах.

Залежно від конструктивних особливостей та способу підключення до електромережі, СЕС поділяють на кілька типів:

- автономні СЕС (off-grid) – працюють незалежно від загальної електромережі, використовуються здебільшого у віддалених районах. Енергія накопичується у батареях, що дозволяє забезпечити електропостачання в нічний час або в похмуру погоду.
- мережеві СЕС (grid-tied) – підключаються до централізованої електромережі. Надлишкова енергія може передаватися в загальну мережу, що дозволяє заощаджувати кошти завдяки механізму «зеленого тарифу» або системі нет-метрингу.



Рисунок 1.3 – Сонячна електростанція встановленою потужністю 58 МВт збудована компанією “Solar Generation” [1]

- гібридні СЕС – поєднують властивості обох типів. Вони можуть працювати автономно або в мережі, мають акумуляторні накопичувачі і дозволяють підвищити енергонезалежність споживача.

Ці типи відрізняються не лише схемою підключення, а й вимогами до обладнання, зокрема інверторів, що виконують ключову функцію перетворення струму [4].

Мережеві сонячні електростанції (СЕС) є найекономічнішим і найбільш поширеним типом серед усіх видів СЕС. Вони дозволяють використовувати сонячну енергію паралельно з електрикою з мережі, однак не є автономними, оскільки не мають накопичувальних акумуляторів. Якщо основна мережа перестає працювати – така станція також припиняє свою роботу. Основна мета мережевих СЕС – зменшення витрат на електроенергію, а також можливість отримання доходу шляхом продажу надлишків за «зеленим» тарифом. Уночі, під час похмурої погоди, високого навантаження або в разі технічних несправностей, живлення надходить з централізованої мережі. В інші періоди потреби домогосподарства переважно забезпечуються сонячною енергією [5].

Автономні СЕС, хоч і менш поширені, призначені для повного забезпечення енергією без участі загальної електромережі, особливо в умовах нестабільного або відсутнього енергопостачання. Ці системи ідеально підходять для віддалених районів, де підключення до електромережі є неможливим або економічно недоцільним. Також автономні СЕС можуть виступати як резервні джерела живлення. На відміну від мережевих, такі системи не мають доступу до «зеленого» тарифу – уся зібрана, але не використана енергія накопичується в акумуляторах для подальшого споживання вночі, у негоду чи при інших несприятливих умовах. Надлишки енергії не продаються.

Гібридні сонячні електростанції поєднують характеристики мережевих і автономних СЕС, що робить їх універсальним, хоч і дорожчим варіантом. Ці установки підключаються до загальної електромережі та мають систему акумуляторів для зберігання енергії. У звичайних умовах вони функціонують як мережеві – забезпечують живлення та дозволяють продавати надлишки енергії за «зеленим» тарифом. Але у разі збоїв у

мережі, станція може перейти в автономний режим, використовуючи накопичену енергію. Проте, така універсальність має свою ціну: по-перше, менша кількість енергії йде на продаж, оскільки частина її витрачається на заряджання батарей; по-друге, самі установки є складними технічно та потребують суттєвих капіталовкладень.

На сьогодні відомо, що існує ще кілька різновидів сонячних електростанцій. Серед них варто виділити два основні типи:

- установки, які перетворюють сонячне світло на теплову енергію, що далі використовується для приведення в дію теплового двигуна (так звані сонячно-теплові електростанції);
- електростанції, що працюють на основі фотоелектричних панелей і використовують явище фотоефекту для виробництва електроенергії.

У багатьох таких системах ключовим елементом є концентрація сонячного випромінювання. Залежно від способу її реалізації, сонячні електростанції поділяють на кілька видів:

- баштові системи;
- установки тарілчатого типу;
- електростанції з параболічними концентрувальними елементами;
- комбіновані варіанти та інші конструкції.

Підсумовуючи вищесказане, можна зробити наступні висновки:

- мережеві сонячні станції доцільно використовувати як інструмент для економії електроенергії та отримання прибутку у довгостроковій перспективі;
- автономні системи найкраще підходять для забезпечення електроживлення в умовах відсутності доступу до централізованої мережі або частих збоїв у її роботі;
- гібридні електростанції варто застосовувати в подібних ситуаціях, але, як правило, для об'єктів із меншим енергоспоживанням.

1.2. Основне обладнання сонячних електростанцій

Процес розробки проєкту сонячної електростанції є одним із найвідповідальніших етапів у реалізації систем відновлюваної енергетики, оскільки вимагає врахування широкого спектру технічних і природних чинників. Для забезпечення точності та ефективності проєктування використовуються спеціалізовані програмні продукти. Надійність функціонування системи значною мірою залежить від використання виключно сертифікованих компонентів, які відповідають міжнародним стандартам якості.

Сонячні електростанції відіграють важливу роль у розвитку екологічно чистої енергетики, забезпечуючи генерацію електроенергії з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

Проєктування СЕС передбачає не лише інженерні розрахунки, а й ретельний аналіз використання простору, архітектурної сумісності та можливостей інтеграції з наявною інфраструктурою. Оптимальний вибір місця розташування, орієнтації модулів та кута їх нахилу істотно впливають на продуктивність системи та її енергоефективність.

Для створення ефективної, стабільної та економічно виправданої сонячної електростанції слід врахувати низку ключових параметрів:

1. Оцінка природних умов – кількість сонячних годин, конфігурація рельєфу, потенційні затінення;
2. Визначення типу встановлення – дахова або наземна конструкція;
3. Вибір типу станції – мережева або гібридна;
4. Розрахунок необхідної потужності установки;
5. Підбір сонячних модулів відповідно до потреб;
6. Орієнтація панелей на південь або схід/захід;
7. Визначення оптимального кута нахилу панелей;
8. Вибір відповідних металоконструкцій;

9. Підбір інверторного обладнання;
10. Визначення параметрів кабельної мережі;
11. Інтеграція систем моніторингу;
12. Забезпечення захисту: заземлення та грозозахист.

Основне обладнання, яке зазвичай використовується в системах СЕС, включає: сонячні панелі, контролери заряду, акумуляторні батареї (у разі автономних або гібридних систем) та інвертори.

Кожен із компонентів виконує свою визначену функцію:

- Сонячні панелі (фотомодулі) перетворюють сонячну енергію в постійний електричний струм;
- Інвертор трансформує постійний струм у змінний, придатний для використання в побутових і промислових мережах;
- Системи кріплень гарантують надійне фіксування панелей під заданим кутом до сонця;
- Акумулятори накопичують надлишкову енергію для використання в періоди низької генерації;
- Системи моніторингу й керування дозволяють контролювати показники ефективності та технічного стану станції в реальному часі;
- Захисне обладнання виконує функції безпеки, запобігаючи аваріям, коротким замиканням чи перевантаженням.

Окрему увагу слід приділити інверторному обладнанню, яке забезпечує перетворення постійного струму у змінний (однофазний або трифазний). Ефективність роботи всієї системи значною мірою залежить від коефіцієнта корисної дії інвертора: якісні пристрої мають високий ККД та здатні забезпечити стабільне електропостачання навіть за умов змінної сонячної активності.

Отже, під час проектування сонячних електростанцій використовується наступне обладнання: сонячні панелі, контролери заряду сонячних батарей, акумуляторні батареї та інвертори [9].

Кожен елемент сонячної електростанції виконує свою специфічну

роль:

- Сонячні панелі (фотоелектричні модулі) – ключова складова, що трансформує енергію сонячного світла у постійний електричний струм.
- Інвертор – пристрій, який змінює постійний струм на змінний, придатний для використання в побутових або промислових умовах.
- Система кріплень – конструкція, яка фіксує сонячні модулі в стабільному положенні під оптимальним кутом до сонячного світла.
- Акумуляторні батареї (використовуються у гібридних або автономних СЕС) – зберігають надлишок електроенергії для подальшого використання.
- Системи керування та моніторингу – забезпечують можливість у реальному часі контролювати функціонування станції, її ефективність і технічний стан.
- Захисне обладнання – виконує функцію безпеки, запобігаючи аваріям, зокрема перенавантаженню та короткому замиканню.

Однією з ключових складових сонячної електростанції є інверторне обладнання, яке виконує перетворення постійного струму на змінний – однофазний або багатофазний. Важливо звертати увагу на коефіцієнт корисної дії (ККД) інвертора, адже від нього залежить загальна ефективність перетворення енергії. Якісні інвертори зазвичай демонструють високі показники продуктивності [11].

1.3. Аналіз основних функцій інверторного обладнання сонячних електростанцій

Інвертор часто називають «серцем» сонячної електростанції, адже саме він відповідає за ключовий процес – перетворення постійного струму, що генерується сонячними модулями, у змінний струм із характеристиками, сумісними з електромережею. Без інвертора повноцінне використання енергії від сонячних панелей у побуті чи промисловості неможливе.

До основних функцій інверторного обладнання належать:

- трансформація постійного струму у змінний;
- синхронізація з мережею електропостачання (у мережевих системах);
- контроль за роботою фотомодулів та накопичувачів енергії;
- виконання захисних функцій та аварійне відключення у разі небезпеки;
- передача даних про роботу системи до пристроїв моніторингу.

Сучасні моделі інверторів часто оснащені додатковими можливостями, такими як оптимізація генерації енергії, аналіз споживання, а також інтеграція з інтелектуальними системами керування будинком ("розумний дім").

Вибір інвертора відіграє вирішальну роль не лише у забезпеченні високої ефективності СЕС, а й у гарантуванні її стабільності, безпеки та економічної доцільності. Тому детальний аналіз технічних параметрів інверторного обладнання є надзвичайно важливим на етапах проектування та подальшої експлуатації сонячної станції [9].

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДОВИ ІНВЕРТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ СЕС

2.1. Класифікація інверторів та їх застосування

Хоча постійний струм, що виробляється фотоелектричною системою, теоретично може застосовуватись без перетворення, на практиці більшість електроприладів, а також загальна електромережа, функціонують на змінному струмі. Тому інвертор є практично незамінним компонентом у складі сонячної енергосистеми.

Інвертори зазвичай обладнані вбудованими запобіжниками, однак для підвищення рівня безпеки та мінімізації ризику виходу обладнання з ладу поза гарантією ми додатково встановлюємо систему автоматичного захисту.

Інвертори для сонячних електростанцій класифікуються залежно від типу електростанції та режиму її роботи. Найпоширенішими типами інверторів є [8, 9]:

- Мережеві (grid-tied) інвертори – призначені для роботи в парі з загальною електромережею. Вони не мають можливості накопичення енергії, але забезпечують високу ефективність перетворення енергії та зручну інтеграцію з системою "зеленого тарифу". У разі зникнення напруги в мережі, такі інвертори автоматично вимикаються з міркувань безпеки.
- Автономні (off-grid) інвертори – працюють незалежно від зовнішніх мереж. Використовуються у поєднанні з акумуляторами, які накопичують надлишкову енергію. Такі системи є актуальними для віддалених регіонів, де відсутнє централізоване електропостачання.
- Гібридні (hybrid) інвертори – поєднують функції мережевих і автономних пристроїв. Вони можуть працювати як з мережею, так і з акумуляторами, забезпечуючи максимальну гнучкість у керуванні енергоспоживанням. Гібридні інвертори дозволяють використовувати енергію за пріоритетом: спочатку з панелей, потім із батарей, і лише в разі

потреби – з мережі.

Детальніше розглянемо основні групи інверторного обладнання, що використовується в сонячних електростанціях, а також типові схеми їх підключення.

Мережеві інвертори функціонують за принципом синхронізації з параметрами зовнішньої електромережі – зокрема, за фазою та формою синусоїди струму. Вони здійснюють перетворення постійного струму, який виробляється сонячними модулями, на змінний струм, придатний для подачі в електромережу.

Особливість таких інверторів полягає в тому, що їх робота можлива лише за наявності напруги у зовнішній мережі. У разі зникнення живлення (наприклад, через аварію або відключення Обленерго) інвертор автоматично вимикається з міркувань безпеки. Цей тип обладнання не забезпечує резервного живлення під час відсутності напруги в мережі [9].

На рисунку 2.1 показано схематичне зображення мережевої СЕС та її обладнання. В даному випадку використовується лічильник, який рахує кількість електроенергії, яка продається державі за «зеленим» тарифом [10].

Автономні інвертори застосовуються в ізольованих енергетичних системах, які не під'єднані до централізованої мережі. У таких системах інвертор живиться від акумуляторів, що накопичують постійний струм, вироблений сонячними панелями. Деякі моделі автономних інверторів мають вбудовану функцію заряджання акумуляторів.

На відміну від мережевих інверторів, автономні не підключаються до мережі Обленерго і, відповідно, не потребують захисту від її зникнення.

Типова конфігурація сонячної електростанції з автономним інвертором включає акумуляторні батареї, контролер заряду та сам інвертор, який здатен керувати усім обладнанням системи. Схематичне підключення такої СЕС наведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.1 – Схема мережевої сонячної електростанції та її обладнання



Рисунок 2.2 – Схематичне зображення автономної сонячної електростанції та перелік її обладнання

Гібридне або комбіноване інверторне обладнання поєднує в собі елементи як автономної, так і мережевої системи, зокрема акумуляторні батареї та підключення до зовнішньої електромережі. Універсальність таких систем полягає в їх здатності працювати в різних режимах: автономному, мережевому та резервному.

Ключова функція цього типу інверторів — забезпечення можливості живлення споживачів як від накопиченої енергії в акумуляторах, так і від сонячних панелей чи електромережі, залежно від умов і потреб.

На рисунку 2.3 зображено схему підключення гібридної (комбінованої) сонячної електростанції.

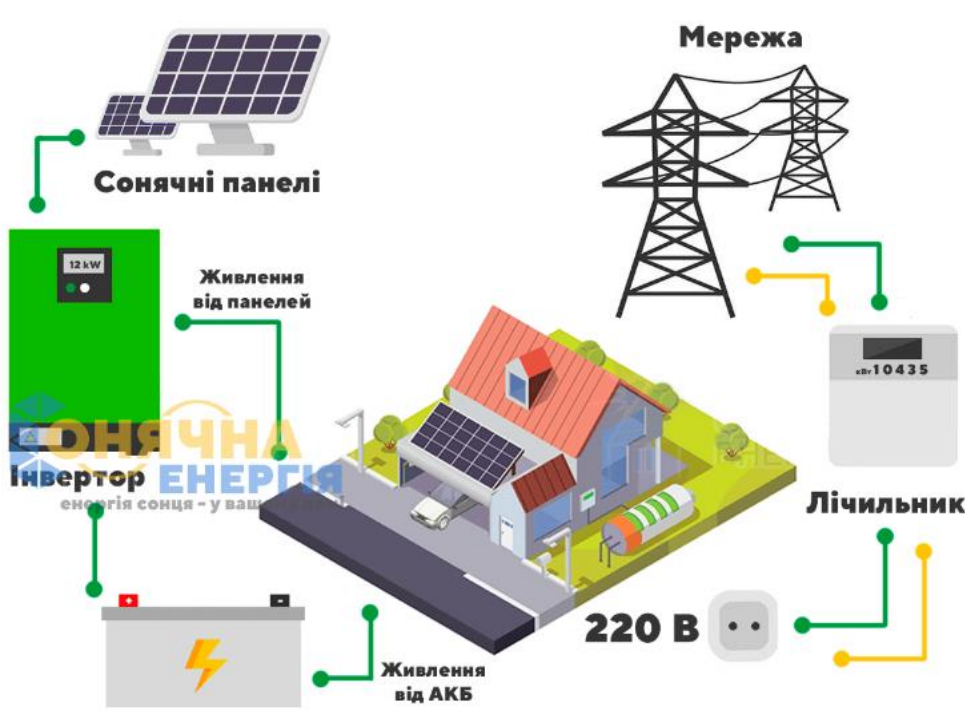


Рисунок 2.3 – Схема гібридної або комбінованої сонячної електростанції та її обладнання

Із представленої схеми можна побачити, що інвертор виконує роль центрального елемента в системі електропостачання, керуючи розподілом енергії між усіма компонентами. За конструктивними особливостями цей

тип інверторів відрізняється від мережевих та автономних моделей, маючи складнішу будову. Варто зазначити, що гібридні інвертори потребують значно більших фінансових витрат.

2.2. Технічні та функціональні характеристики сучасних інверторів

Сучасні інвертори є складними електронними пристроями, які поєднують у собі високі показники ефективності, функціональності та надійності. Основні технічні характеристики включають:

- Потужність (номінальна та пікова): від декількох сотень ват для побутових систем до десятків кіловат для комерційних;
- ККД (коефіцієнт корисної дії): зазвичай понад 95%, найсучасніші моделі досягають 98–99%;
- Діапазон вхідної напруги: залежить від конфігурації сонячних панелей, може становити від 100 до 1000 В;
- Кількість MPPT-трекерів (Maximum Power Point Tracking): впливає на здатність інвертора максимально ефективно використовувати енергію з панелей;
- Інтерфейси зв'язку (RS-485, Wi-Fi, Ethernet, Bluetooth): для моніторингу та керування;
- Наявність захистів: від перенапруги, перевантаження, короткого замикання, перегріву.

Крім технічних, інвертори мають важливі функціональні особливості: підтримка резервного живлення, синхронізація з мережею, робота з різними типами акумуляторів (AGM, GEL, Li-ion), можливість дистанційного керування.

Інверторне обладнання також класифікується за типом дії на синхронні та автономні пристрої. Існують меандрові та синусоїдальні модифікації, що відрізняються типом вихідного сигналу. Ці модифікації

розрізняються не лише за конструктивними особливостями, але й за рядом технічних характеристик.

Розглянемо докладніше автономні інвертори – особливість їх використання полягає в тому, що вони сумісні з сонячними панелями різної потужності. Однією з переваг є здатність працювати при перевантаженні, що не перевищує 4 А. У таких пристроях зазвичай реалізовано кілька типів захисту. Варикапи, що використовуються в інверторах для сонячних батарей, часто мають низькоомну структуру з невисоким рівнем провідності. Зазвичай стандартна модель має три обкладки, завдяки чому проблеми з провідністю виникають вкрай рідко. Частоту модифікацій можна регулювати відповідно до потреб. Сучасні інвертори вирізняються високою швидкістю перетворення, а також здатністю стабільно працювати навіть за умов підвищеної вологості. На рисунку 2.4 представлено один з видів автономних інверторів.



Рисунок 2.4 – Зображення одного з різновидів автономних інверторів

Далі розглянемо ще один різновид інверторного обладнання –

синхронні інвертори. Мережеві сонячні інвертори цього типу зазвичай функціонують на основі ємнісних варикапів. Для їхньої роботи необхідний модулятор низької частоти. Ці пристрої особливо ефективні при використанні з тарілчастими сонячними панелями.

Слід звернути увагу на те, що чимало модифікацій таких інверторів мають провідність понад 40 мк, причому ізолятори у них встановлюються разом із підкладками. Деякі моделі дозволяють підключення через контролер заряду. Частота 50 Гц є стандартною для низки модифікацій.

З конструктивної точки зору, варто зазначити, що окремі моделі виготовляються з використанням триодів. Регульовані випрямлячі при цьому застосовуються рідко, а швидкість перетворення значною мірою залежить від чутливості варикапа.

Окремо варто розглянути багатофункціональний сонячний інвертор, який здатний здійснювати перетворення струму від кількох батарей із різними показниками потужності. Сучасні модифікації таких пристроїв створюються на основі перехідних варикапів. Для сонячних панелей використовуються випрямлячі з частотою від 30 Гц.

За оцінками експертів, доцільно обирати моделі потужністю від 2 кВт, оскільки вони поєднують низьке енергоспоживання з високою швидкістю перетворення. Окремо зазначимо, що пристрої, побудовані на каналних динисторах, вирізняються компактними розмірами та високим рівнем захисту. На рисунку 2.5 зображено приклад багатофункціонального інвертора [11].

Під час аналізу меандрових пристроїв варто зазначити, що вони зазвичай використовуються для панелей з невеликою потужністю. Слід зауважити, що такі модифікації ефективно функціонують лише на частотах до 40 Гц. Одним із ключових аспектів є наявність системи захисту, причому застосовуються захисні механізми різних класів.

У випадку сонячних інверторів, компаратори встановлюються з подвійною системою фільтрації. Деякі моделі здатні витримувати

навантаження до 3 А. Часто на інверторах можна зустріти випрямлячі смугового типу, які добре справляються з імпульсними перешкодами та зберігають стабільну роботу навіть в умовах підвищеної вологості. Окрім того, варто підкреслити доступну вартість таких інверторів.



Рисунок 2.5 – Інвертор багатофункціонального типу

Для конструювання синусоїдального мережевого інвертора доцільно використовувати каналні перехідники. Цей тип пристрою придатний для роботи з сонячними панелями, що оснащені фотоелементами відкритого типу. Згідно з висновками фахівців, не рекомендується обирати модифікації, засновані на операційних компараторах, оскільки вони характеризуються низькою пропускнуою здатністю. Крім того, через підвищення температури такі компоненти швидко виходять з ладу. На рисунку 2.6 представлено інвертор синусоїдального типу.

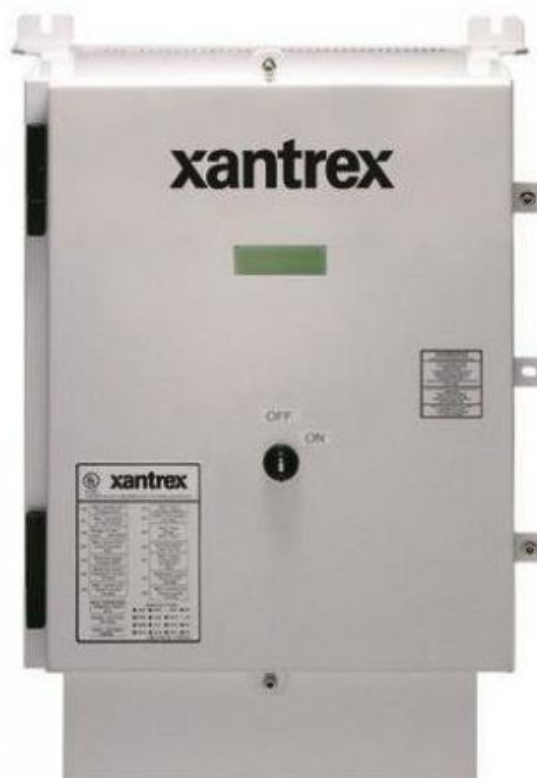


Рисунок 2.6 – Інвертор синусоїдального типу

2.3 Вимоги до ефективності, безпеки та відповідності стандартам інверторів

Ефективність роботи інвертора безпосередньо впливає на продуктивність всієї сонячної електростанції. Тому існують чіткі та важливі вимоги щодо безпеки та відповідності стандартам інверторів:

- ККД перетворення – сучасні моделі повинні забезпечувати не менше 95%;
- Безпеки експлуатації – обов’язкова наявність засобів захисту від коротких замикань, перенапруг, зворотного струму та інших критичних ситуацій;
- Теплового захисту – активне або пасивне охолодження, температурні датчики;
- Відповідності національним і міжнародним стандартам – інвертори повинні відповідати вимогам ДСТУ, а також міжнародним

нормам IEC, EN, UL.

Окремо варто зазначити необхідність сертифікації для використання в Україні – особливо для обладнання, що використовується в комерційних СЕС під "зелений тариф".

2.4. Аналіз особливостей будови популярних моделей інверторів різних компаній-виробників, що використовуються в Україні та світі

На ринку України та світу представлено широкий асортимент інверторного обладнання від провідних виробників. Серед найпопулярніших моделей є наступне інверторне обладнання:

- Компанія Huawei SUN2000 (Китай) випускає мережеві та гібридні інвертори з високим ККД (до 98,6%), кількома MPPT, зручним моніторингом через мобільний застосунок;
- Компанія SMA Sunny Boy (Німеччина) виробляє мережеві інвертори з високою надійністю, підтримкою широкого діапазону напруг та довгим терміном служби;
- Компанія-виробник Fronius Symo/Primo (Австрія) виробляє відомі своєю гнучкістю, високою якістю збірки та активним охолодженням інверторне обладнання;
- Компанії-виробники такі як – Solax, Victron Energy, Growatt, Deue виробляють також широкий асортимент інверторів для різних умов застосування: від невеликих побутових до промислових видів.

Вибір конкретної моделі залежить від потужності станції, бюджету, вимог до автономності та можливості підключення акумуляторів. Для українських користувачів важливими є також наявність сервісного обслуговування та офіційних гарантій експлуатації.

Крім цього, варто зазначити, що на ринку присутні моделі інверторів, які можуть бути подібними за своїми технічними параметрами, однак суттєво різняться в ціновому діапазоні [13 – 14].

Результати аналізу використання інверторного обладнання свідчать про те, що серед сучасних систем найбільш поширеними є пристрої таких брендів, як Huawei, Fronius, Growatt, SMA та Solis.

Зокрема, найбільшу популярність серед гібридних інверторів здобули вироби компаній Growatt та Victron Energy.

Для прийняття оптимального рішення щодо встановлення інвертора важливо враховувати всі особливості конкретної сонячної енергосистеми.

Серед відомих і широко вживаних брендів інверторного обладнання варто відзначити такі компанії:

- Fronius (Австрія) – один із лідерів ринку у виробництві обладнання для сонячних електростанцій, зосереджений на впровадженні фотогальванічних технологій;
- Victron Energy (Нідерланди) – розробляє і виготовляє високоякісні інвертори напруги;
- REFUsol (США/Німеччина) – спеціалізується на виробництві фотоелектричних інверторів з високим ККД;
- Kostal (Німеччина) – компанія з понад столітньою історією, яка займається розробкою промислових електронних та автомобільних рішень;
- Imeon (Франція) – виробник гібридних фотоелектричних інверторів власної розробки, виробництво яких здійснюється в Китаї з 2013 року;
- Altek (Китай) – компанія, що спеціалізується на обслуговуванні та виготовленні обладнання для сонячних електростанцій;
- SolarEdge (Ізраїль) – відомий виробник інверторів для сонячної генерації, який запровадив інноваційні технології оптимізації роботи панелей;
- SMA (Німеччина) – з 1981 року випускає високоякісне обладнання для сонячної енергетики.

Проаналізуємо інверторне обладнання різних компаній-виробників більш докладніше.

Мережеві інвертори Huawei (китайської компанії), яка спеціалізується на розробці та впровадженні інноваційних телекомунікаційних рішень. У своїй діяльності вона орієнтується на технологічний розвиток і максимальне задоволення потреб клієнтів, пропонуючи гнучкі та конкурентоспроможні умови співпраці.

Одним із ключових напрямів роботи компанії є Solar Solutions – технології у сфері сонячної енергетики. Huawei має 36 дослідницько-інноваційних центрів по всьому світу, де розробляються передові рішення, що впроваджуються у продукцію для підвищення ефективності та продуктивності сонячних електростанцій.

Компанія виробляє як сонячні інвертори, так і інтелектуальні системи моніторингу для СЕС. Інвертори Huawei відзначаються високою ефективністю – максимальний коефіцієнт корисної дії становить 98,5%. Вони є надійними та «розумними» пристроями, здатними самостійно виявляти й аналізувати збої в ланцюгах, що дозволяє зменшити час на діагностику несправностей до 80%.

Завдяки пасивній системі охолодження (без вентиляторів), обладнання є безпечнішим в експлуатації. Крім того, прилади мають захист від перенапруги та замикань на землю.

На рисунку 2.7 наведено приклад мережевого інвертора компанії Huawei.

Розглянемо мережеві інвертори, вироблені австрійською компанією Fronius, яка має понад 20-річний досвід у галузі фотоелектричних технологій. Завдяки постійному впровадженню інновацій та виходу на ринок із передовими рішеннями, компанія Fronius встановлює нові стандарти якості на глобальному рівні.

Інвертори цього бренду вирізняються високим рівнем надійності та проходять багатоетапне тестування відповідно до сучасних вимог технічного розвитку.



Рисунок 2.7 – Мережевий інвертор компанії-виробника Huawei

Серед ключових переваг – SnapINverter: система швидкого та зручного монтажу. Пристрої також адаптовані до використання в інтелектуальних мережах Smart Grid і мають вбудований Wi-Fi-модуль для дистанційного моніторингу. Це компактні та легкі безтрансформаторні інвертори, що демонструють один із найвищих показників ККД у своєму класі. На рисунку 2.8 зображено інвертор виробництва компанії Fronius.

Sungrow Power Supply Co — це компанія з понад 20-річним досвідом у виробництві високотехнологічного інверторного обладнання для енергетичних проєктів. Її асортимент охоплює широкий спектр продукції, зокрема інвертори для фотоелектричних установок, вітроенергетичні перетворювачі, системи зберігання енергії, а також рішення для плавучих сонячних електростанцій.

Компанія Sungrow активно розширює свою присутність на міжнародних ринках, фокусуючись на глобальному просуванні продукції та динамічному зростанні обсягів експорту. Завдяки центральному інвертору

SG2500U, який успішно пройшов сертифікацію UL 1741-SA, компанія стала першим виробником, що запропонував продукцію, повністю відповідну найсучаснішим галузевим стандартам і технічним вимогам.



Рисунок 2.8 – Інвертори компанії-виробника Fronius

На рисунку 2.9 представлено зовнішній вигляд інвертора виробництва Sungrow Power Supply Co [13].

KACO new energy – німецький виробник мережевих сонячних інверторів, який працює в галузі фотоелектрики з 1999 року. Продукція компанії вирізняється оптимальним співвідношенням ціни та якості, що робить інвертори KACO конкурентоспроможними на світовому ринку. Завдяки вбудованій функції Priwatt користувачі мають можливість використовувати вироблену електроенергію власного споживання без її передачі в загальну мережу, що дозволяє значно зекономити ще до підключення до "зеленого тарифу" та не потребує значних витрат на додаткове обладнання.

На сьогодні компанія KACO new energy має розвинену інфраструктуру на чотирьох континентах і входить до переліку найбільших світових виробників фотоелектричних інверторів. Головний офіс розташований поблизу міста Штутгарт – регіону, відомого своїми інженерними традиціями [15].



Рисунок 2.9 – Інвертор компанії-виробника Sungrow Power Supply Co

У 2014 році компанія відзначила 100-річчя з моменту заснування. Її лінійки Blueplanet і Powador охоплюють повний спектр мережевих інверторів, призначених для сонячних систем різних масштабів і потужності. На рисунку 2.10 зображено інвертор виробництва компанії KACO.

Трифазні мережеві інвертори Solis виготовляються компанією Ningbo Ginlong Technologies. Це сучасні, високоефективні пристрої для перетворення сонячної енергії, що широко застосовуються у створенні мережевих фотоелектричних станцій. Завдяки своїм характеристикам вони ідеально підходять для реалізації проєктів із підключенням за умовами "зеленого тарифу", як у приватному, так і в промисловому секторі [14].

Ключові переваги інверторів Solis:

- Безтрансформаторна архітектура;
- Оптимізовані для генерації електроенергії з продажем за "зеленим тарифом";
- Широкий діапазон вхідної постійної напруги з MPPT – від 200 В до 1000 В;
- Надійна сумісність з електромережею;
- Компактний і легкий корпус, що забезпечує зручність і

швидкість монтажу;

- Високоякісний трифазний вихідний струм;
- Стабільно високий коефіцієнт корисної дії;
- Вбудовані захисні механізми для постійного й змінного струму;
- Точний алгоритм відстеження точки максимальної потужності (MPPT);
- Клас захисту корпусу IP65 – стійкість до пилу та вологи;
- Комунікаційний інтерфейс RS-485 для зручного підключення;
- Підтримка web-моніторингу через мобільний застосунок;
- Можливість моніторингу через WiFi або GPRS (опційно);
- Гарантія 5 років, очікуваний строк експлуатації – до 20 років.

На рисунку 2.11 показано трифазний мережевий інвертор Solis виготовлений компанією-виробником Ningbo Ginlong Technologies.



Рисунок 2.10 – Інвертор виробництва компанії KASO

Компанія ABB пропонує однофазні та трифазні мережеві фотоелектричні інвертори різної потужності, призначені як для побутового, так і для промислового використання. Усі моделі інверторів ABB створені за безтрансформаторною схемою, що забезпечує високу якість вихідного

змінного струму. Вони демонструють стабільно високий коефіцієнт корисної дії в широкому діапазоні вхідної напруги та навантаження. Інвертори мають ступінь захисту IP67, що дозволяє їх безпечно монтувати на відкритому повітрі [21].



Рисунок 2.11 – Трифазний мережевий інвертор Solis виготовлений компанією-виробником Ningbo Ginlong Technologies

Однофазні мережеві інвертори АВВ потужністю від 3 до 6 кВт призначені для малих домогосподарств. Наявність двох незалежних МРР-трекерів дозволяє підключити до пристрою два масиви сонячних панелей, орієнтованих у різних напрямках (наприклад, на різні схили даху). Коефіцієнт ефективності перетворення електроенергії досягає 96,8%. Зображення однофазного мережевого інвертора АВВ представлено на рисунку 2.12.

Трифазні мережеві інвертори компанії АВВ для приватних домогосподарств – це такі моделі інверторів потужністю від 5,8 до 12,5 кВт, які спеціально розроблені для підключення до «зеленого тарифу» в умовах

побутового використання. Ці інвертори поєднують у собі функціональні можливості промислових систем АВВ: підтримку дистанційного моніторингу та керування, простий монтаж, високу надійність і ефективність роботи з ККД до 98%.



Рисунок 2.12 – Однофазний мережевий інвертор компанії-виробника АВВ

Інвертори серії TRIO-5.8/7.5/8.5-TL-OUTD підтримують підключення зовнішніх сенсорів для контролю параметрів навколишнього середовища та сумісні з дротовими й бездротовими модулями моніторингу. Завдяки цьому можна спостерігати за роботою сонячної електростанції через інтернет – як з комп'ютера, так і зі смартфона. На рисунку 2.13 показано одного з трифазних мережевих інверторів АВВ, призначених для домашнього використання.

Окрім побутових моделей інверторів, серія 3-фазних мережевих інверторів компанії АВВ, крім невеликих пристроїв для дому, включає також і моделі інверторів для промислового використання потужністю від 10 до 33 кВт. Завдяки високому коефіцієнту ефективності (до 98,2%) такі

інвертори є ідеальним вибором для сонячних електростанцій, які працюють за приватним або промисловим «зеленим тарифом» [21].



Рисунок 2.13 – Один з трифазних мережових інверторів компанії-виробника ABB, який призначений для використання у домогосподарствах

Пристрої показують стабільно високий ККД у широкому діапазоні вхідної напруги фотомодулів. Моделі на 20 та 27,6 кВт оснащені двома незалежними MPP-трекерами, що дозволяє підключати до інвертора два масиви сонячних панелей з різною орієнтацією.

Важливою перевагою таких інверторів є відсутність електролітичних конденсаторів, що підвищує довговічність і надійність обладнання. На рисунку 2.14 показано промислові трифазні інвертори компанії ABB.

Victron Energy B.V. — нідерландський виробник обладнання для автономного енергопостачання. Компанія Victron Energy B.V. спеціалізується на розробці та виробництві компонентів для автономних енергетичних систем, які використовуються в житлових і промислових об'єктах, на морському та наземному транспорті, а також у фотоелектричних установках. Рішення від Victron Energy вирізняються

модульною архітектурою, високою гнучкістю та можливістю масштабування. Досвід, накопичений у галузях морського та транспортного енергозабезпечення, забезпечив компанії здатність пропонувати надійне й якісне обладнання також для побутових і промислових потреб.



Рисунок 2.14 – Трифазні промислові інвертори компанії-виробника
ABB

Сонячні автономні інвертори серії EasySolar від Victron Energy оснащені одним або двома вбудованими MPPT-контролерами заряду та здатні заряджати акумулятори не лише від сонячних панелей, але й від зовнішньої електромережі, працюючи в широкому діапазоні вхідної напруги та частоти змінного струму.

Контролери заряду мають повний набір захистів: від короткого замикання, перевантаження, перенапруги, надмірного нагріву та недостатнього заряду акумуляторів.

Інвертори серії Quattro від Victron Energy оснащені двома незалежними входами змінного струму (АС) та можуть заряджати акумулятори як від основної електромережі, так і від альтернативного джерела, наприклад генератора. Пристрої працюють у широкому діапазоні вхідних напруг і частот, забезпечуючи гнучке енергопостачання.

Інтегрована функція автоматичного введення резерву (АВР) забезпечує миттєве перемикавання живлення на генератор у разі зникнення основної мережі. Два незалежні виходи АС дозволяють підключати споживачів з різним пріоритетом: наприклад, інвертор за 20 мс автоматично вимикає другорядне навантаження і переводить основні споживачі на живлення від батареї. У разі повної зарядки акумуляторів, надлишкова енергія, згенерована фотомодулями, може бути передана в загальну мережу для продажу за «зеленим» тарифом. Системи Quattro підтримують як однофазне, так і трифазне підключення з можливістю масштабування загальної потужності до 180 кВА.

Інвертори оснащені вбудованими захистами від коротких замикань, перевантаження, перенапруги, надмірного нагрівання та недостатньої напруги батарей. Для паралельної роботи, трифазного підключення, дистанційного моніторингу й керування передбачено комунікаційний інтерфейс VE.Bus.

Гібридні інвертори MultiPlus від компанії Victron Energy – це універсальні рішення, здатні заряджати акумуляторні батареї (48 В) від зовнішніх джерел живлення, таких як генератори або сонячні електростанції. Вони також ефективно перетворюють постійний струм з батарей у змінний струм з чистою синусоїдою, забезпечуючи роботу навіть у режимі короткочасного перевантаження до 22 кВт.

Пристрої мають два виходи змінного струму: один – для критично важливих споживачів, які мають отримувати живлення навіть під час відключення електромережі, другий – для непостійного навантаження, що активується лише за наявності зовнішнього живлення. У разі аварійного

вимкнення електроенергії, система автоматично перемикається в режим безперебійного живлення протягом 20 мс.

Для підвищення загальної потужності можна об'єднати до шести інверторів MultiPlus у паралельну схему, формуючи одно- або трифазну систему загальною потужністю до 75 кВт (90 кВА).

Під час роботи з генератором або мережею обмеженої потужності, MultiPlus дозволяє задавати максимальний ліміт споживання змінного струму, що запобігає перевантаженню зовнішніх джерел енергії.

На рисунку 2.15 зображено гібридний інвертор компанії Victron Energy.



Рисунок 2.15 – Гібридний інвертор MultiPlus від компанії Victron Energy

З ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ІНВЕРТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ

Інверторне обладнання потребує дотримання ряду умов для забезпечення стабільної та довготривалої експлуатації. Як зовнішні фактори (температура, волога, пил), так і внутрішні (перенавантаження, неправильне проектування або несправності) можуть призвести до зниження ефективності або навіть повного виходу інвертора з ладу. Встановлення моніторингових систем та регулярне обслуговування значно підвищують безпеку та надійність роботи сонячних електростанцій в цілому [23].

3.1 Фактори, які впливають на роботу інвертора

Умови навколишнього середовища істотно впливають на працездатність і довговічність інверторного обладнання. До основних факторів належать:

- температура повітря – високі температури можуть призводити до перегріву електронних компонентів інвертора, що, в свою чергу, знижує його ефективність і може викликати автоматичне вимкнення. Для забезпечення надійної роботи інверторів виробники передбачають активне або пасивне охолодження. Робочий температурний діапазон більшості моделей становить від -25°C до $+60^{\circ}\text{C}$.
- вологість – підвищена вологість, особливо в поєднанні з пилом, може призводити до корозії елементів плати або коротких замикань. Для встановлення на відкритому повітрі інвертори повинні мати відповідний ступінь захисту – не менше IP65.
- пил – потрапляння пилу всередину корпусу може призвести до порушення вентиляції, перегріву, а також зниження терміну служби компонентів. У вітряних і пилових регіонах необхідно регулярно проводити

профілактичне очищення пристрою або встановлювати інвертор у захищеному місці.

- ультрафіолетове випромінювання (UV) негативно впливає на пластикові корпуси та ущільнення. Тому корпус інвертора повинен бути виконаний із UV-стійких матеріалів.
- коливання мережевої напруги – надмірні коливання або аварійні відключення можуть викликати збої в роботі, особливо у мережевих інверторах. Необхідне додаткове захисне реле або стабілізатор.

3.2 Аналіз внутрішніх (технічних) умов експлуатації інверторів

Вплив на стабільність роботи інвертора мають також внутрішні фактори, а саме:

- перевантаження – перевищення максимальної потужності, яку може обслуговувати інвертор, призводить до його перегріву або аварійного відключення. Необхідно дотримуватись запасу потужності (рекомендується до 20%).
- ККД та втрати на перетворення – при тривалій роботі інвертор втрачає частину енергії у вигляді тепла. Ефективні моделі мають ККД не менше 97–98%. Чим нижча ефективність, тим більше втрат і сильніше нагрівання.
- якість охолодження – інвертори з пасивним охолодженням менш шумні, але швидше перегріваються. Активне охолодження (вентилятори) потребує очищення від пилу і технічного обслуговування.
- робота MPPT-алгоритмів – правильна робота MPPT (Maximum Power Point Tracking) забезпечує максимальне вироблення енергії. У складних умовах освітлення (часткове затінення, різні орієнтації модулів) ефективність трекінгу знижується.

3.3. Дослідження умов експлуатації, технічного обслуговування та моніторингу ефективності роботи інверторного обладнання

Хоча сучасні інвертори здебільшого є автономними, регулярне технічне обслуговування дозволяє підтримувати їх працездатність на оптимальному рівні. Основними заходами обслуговування та перевірки стану інверторів для забезпечення їх нормальної роботи є наступні:

- перевірка стану контактів та з'єднань;
- очищення вентиляційних отворів і корпусу від пилу;
- огляд на наявність ознак перегріву або пошкоджень;
- оновлення прошивки.

Моніторинг роботи інвертора здійснюється за допомогою вбудованих систем та спеціальних додатків. Інтерфейс керування дозволяє отримувати дані про:

- поточну потужність генерації;
- загальну вироблену енергію;
- ефективність роботи (ККД, втрати);
- стан помилок та тривоги.

Завдяки цьому користувач може оперативно реагувати на відхилення та запобігти потенційним збоям.

Умови експлуатації безпосередньо впливають на довговічність інвертора та його здатність стабільно генерувати енергію протягом усього терміну служби. Несприятливі фактори, такі як висока температура, волога, пил, нестабільна напруга в мережі, можуть призвести до:

- зменшення ефективності перетворення енергії;
- частіших збоїв і автоматичних вимкнень;
- передчасного виходу з ладу компонентів;
- зниження загального обсягу виробленої електроенергії.

Дотримання рекомендацій виробника щодо монтажу, регулярного обслуговування, а також використання обладнання згідно з його технічними

характеристиками дозволяє мінімізувати вплив зовнішніх факторів і забезпечити надійну роботу інвертора протягом десятиліть.

Для забезпечення стабільної експлуатації інвертора необхідна постійна діагностика та віддалений моніторинг. Вбудовані Wi-Fi або Internet модулі дозволяють переглядати:

- миттєву потужність;
- напругу та струм;
- температуру інвертора;
- історію помилок;
- добовий та сумарний виробіток.

Платформи моніторингу від таких компаній-виробників як - Huawei FusionSolar, SMA Sunny Portal, Fronius Solar.web та інші - дозволяють:

- налаштовувати повідомлення про помилки;
- аналізувати ефективність за періодами;
- проводити технічне обслуговування за графіком.

3.4 Системи захисту та заходи для забезпечення надійної роботи інверторів

Інвертор повинен бути оснащений вбудованими системами захисту, що забезпечують його стабільну та безпечну роботу у складних умовах. Серед основних захисних функцій є наступні:

- захист від перенапруги та низької напруги;
- захист від зворотного струму;
- Захист від короткого замикання;
- захист від перевантаження;
- захист від перегріву (термозахист);
- автоматичне вимкнення у разі зникнення напруги в мережі (для мережевих моделей).

Надійність інвертора залежить не лише від наявності захистів, а й від

якості електронних компонентів, способу охолодження, стабільності прошивки та репутації виробника. Зазвичай інвертори від відомих брендів мають гарантію 5–10 років та середній строк служби понад 15 років.

Також, для підвищення надійності роботи інверторного обладнання застосовують такі заходи:

1. Правильне проектування системи - вибір інвертора відповідно до потужності і конфігурації панелей).
2. Встановлення у відповідних умовах: уникають прямого сонця, встановлюють у провітрюваних місцях або шафах.
3. Регулярне технічне обслуговування, яке передбачає:
 - очищення вентиляційних отворів;
 - перевірка контактів та клем;
 - оновлення прошивки.
4. Застосування захисних елементів:
 - DC-роз'єднувачі;
 - запобіжники;
 - варистори (для захисту від перенапруги);
 - автомати відключення при короткому замиканні.
5. Резервування або модульне масштабування (для великих систем) з метою зменшення ризиків при виході одного з пристроїв з ладу.

4 АНАЛІЗ УМОВ ВИБОРУ ІНВЕРТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

4.1 Неохідні умови для вибору інверторного обладнання при проектуванні СЕС

Інвертор – ключовий компонент сонячної електростанції. Інвертор є невід’ємною частиною будь-якої фотоелектричної системи. Саме він відповідає за коректну роботу станції, адже кожен вольт, що виробляється сонячними панелями, обов’язково проходить через інвертор.

Підбір інвертора здійснюється з урахуванням технічних параметрів конкретної сонячної установки. Відповідно до типу системи, обирають інвертор: автономний, мережевий або гібридний [23, 25].

Найважливішим фактором при виборі інвертора є його потужність – вона повинна відповідати потребам об’єкта. Після визначення необхідної потужності можна переходити до вибору конкретної моделі.

Не менш важливою характеристикою інвертора є набір додаткових функцій, які можуть суттєво відрізнитися навіть у пристроїв з однаковою потужністю від різних виробників. До таких функцій належать:

- моніторинг стану системи,
- статистика вироблення електроенергії,
- контроль та управління споживанням,
- вбудовані електрозахисти,
- можливість дистанційного керування енергоспоживанням тощо.

Більшість сучасних інверторів мають схожі технічні параметри, серед яких основними є:

1. Потужність включає три значення:

- номінальна (основна робоча потужність),
- в режимі очікування,
- пікова (максимальна допустима навантаження на короткий час).

Номинальна потужність повинна відповідати сумарному енергоспоживанню всіх підключених приладів. Проте, зазвичай враховується не середнє, а максимально можливе навантаження. Потужність у режимі очікування, як правило, становить близько 1% від номінального значення.

2. Коефіцієнт корисної дії (ККД) – відображає ефективність інвертора при перетворенні енергії. Чим вищий ККД, тим менші втрати під час роботи пристрою. Для сучасних моделей інверторів середній показник ККД становить близько 90%.

Додатковими технічними характеристиками інвертора є:

1. Вхідна та вихідна напруги, які повинні відповідати потужності інвертора. Орієнтовний розподіл виглядає так:

- для навантаження до 600 Вт – рекомендована напруга 12 В;
- для навантаження від 600 Вт до 1,5 кВт – 24 В;
- для навантаження понад 1,5 кВт – 48 В.
- Вихідна напруга може мати різну форму, однак найбільш

універсальною вважається чиста синусоїда.

2. Система охолодження – якщо інвертор обладнаний активним охолодженням із вентилятором, важливо з'ясувати режими його роботи. У якісних пристроях вентилятор автоматично вимикається при частковому навантаженні, що зменшує шум і споживання енергії – це особливо актуально для використання в житлових приміщеннях.

3. Системи захисту – надійний інвертор повинен мати захист від:

- перенапруги та зниженого рівня напруги;
- коротких замикань;
- перевантажень;
- перегріву.

4. Режим очікування (черговий режим). Наявність цього режиму дозволяє економити енергію акумуляторів. Водночас бажано, щоб користувач міг вимкнути його вручну, оскільки при низькому навантаженні

пристрій може не вийти з режиму очікування автоматично.

5. Вага пристрою – маса інвертора часто слугує непрямим показником якості. Легкі, дешеві моделі зазвичай побудовані за безтрансформаторною схемою, яка схильна до збоїв при пуску через високі перехідні струми. Якісний інвертор має вбудований вихідний трансформатор, що додає ваги. У середньому, на кожні 100 Вт потужності має припадати приблизно 1 кг ваги.

6. Системи захисту – надійний інвертор повинен бути оснащений:

- захистом від короткого замикання;
- захистом від перевантаження та перегріву;
- захистом від відхилень напруги (занадто висока або занадто низька).

7. Температурний режим – робочий температурний діапазон інвертора повинен відповідати умовам експлуатації, зокрема температурі в приміщенні або середовищі, де буде встановлено пристрій. Якщо інвертор працюватиме в неопалюваному приміщенні взимку, це обов'язково слід враховувати при виборі моделі. Також важливо звернути увагу на систему охолодження: наявність активного кулера може бути необхідною умовою для стабільної роботи. Чим ширший робочий температурний діапазон, тим надійніше функціонуватиме пристрій у різних кліматичних умовах.

8. Режим очікування (споживання в холостому режимі) – цей режим дає змогу зменшити енергоспоживання інвертора у моменти відсутності навантаження, що дозволяє заощадити заряд акумуляторів. Один із ключових показників – споживання енергії без навантаження. Якщо не планується вимикати інвертор під час простою, цей параметр має становити приблизно 1% від номінальної потужності пристрою.

Отже, проаналізуємо основні умови (критерії) вибору інвертора при проектуванні сонячної електростанції. Необхідними умовами вибору інвертора є наступні:

1. Визначення необхідної потужності – потужність інвертора має

відповідати сумарній потужності сонячних панелей та загальному піковому споживанню електроприладів, які будуть до нього підключені. Особливу увагу слід приділяти пусковому навантаженню деяких пристроїв, яке може перевищувати їхню номінальну потужність у 5–7 разів.

2. Вхідна напруга – цей параметр має істотний вплив на ефективність усієї фотоелектричної системи. Рекомендовані рівні вхідної напруги залежать від потужності установки:

- до 600 Вт – 12 В;
- від 600 до 1500 Вт – 24 В;
- понад 1500 Вт – 48 В.

3. Тип підключення: однофазний чи трифазний. Для приватних будинків можна використовувати як однофазні, так і трифазні інвертори. Натомість для підприємств, виробничих чи комерційних об'єктів, доцільним вибором буде виключно трифазне обладнання.

4. Коефіцієнт корисної дії (ККД) – ККД інвертора напряму впливає на ефективність усієї системи. Рекомендується обирати пристрої з ККД не нижче 90%, оскільки при меншому значенні зростають енергетичні втрати. Споживання власної енергії інвертором у стані роботи не повинно перевищувати 5–10% загальної виробленої енергії.

4.2 Розрахунок та обґрунтування вибору інвертора для домогосподарської сонячної електростанції потужністю 10 кВт

1. Вхідні дані та вимоги до вибору інвертора. Для вибору інвертора необхідно враховувати технічні характеристики системи та умови експлуатації. Для практичного прикладу розглянемо домогосподарство, яке планує встановити мережеву сонячну електростанцію (СЕС) потужністю 10 кВт з можливістю підключення до "зеленого тарифу". Основні вхідні параметри:

- потужність СЕС: 10 кВт (сумарна потужність сонячних панелей);

- кількість фаз у мережі: 3 фази (стандарт для домогосподарств з великою потужністю);
- тип системи: мережева, без накопичувачів енергії;
- розташування станції: на даху житлового будинку, з відкритим доступом до сонця;
- місцевий клімат: помірний, з середніми літніми температурами до +30 °С;

Виходячи з цього, інвертор повинен бути трифазним, мати високий ККД, підтримку моніторингу, відповідність вимогам НКРЕКП та сертифікацію для "зеленого тарифу" в Україні.

2. Обґрунтування вибору конкретної моделі інвертора. Серед доступних на українському ринку моделей було проаналізовано інвертори від брендів Huawei, Solis, Growatt, SMA, Fronius. Після порівняння технічних характеристик та вартості було обрано модель:

Huawei SUN2000-10KTL-M1 – трифазний мережевий інвертор потужністю 10 кВт. Переваги даної моделі:

- високий ККД – до 98,6%;
- два MPPT-трекери – зручно при розташуванні панелей у різних площинах;
- захист IP65 – підходить для зовнішнього встановлення;
- вбудований модуль Wi-Fi – зручно для моніторингу;
- сертифікований в Україні – дозволяє працювати за "зеленим тарифом";
- безшумна робота — відсутність активного охолодження (вентиляторів);
- гарантія – 10 років.

Враховуючи співвідношення "ціна/якість", наявність сервісної підтримки в Україні та відповідність технічним вимогам, дана модель є оптимальним вибором для СЕС потужністю 10 кВт.

3. Аналіз роботи інвертора в процесі експлуатації.

Після встановлення системи було проведено моніторинг роботи інвертора протягом 3 місяців в умовах типової весняно-літньої погоди. Основні результати:

- середньодобова генерація: 35–60 кВт·год (залежно від погоди);
- максимальна зареєстрована потужність: 9,82 кВт (в умовах ясного неба);
- втрати енергії на перетворення: <2% (згідно з моніторингом);
- жодного аварійного відключення або перегріву не зафіксовано;
- температура інвертора під навантаженням не перевищувала 60 °C завдяки якісному пасивному охолодженню.

Система стабільно передавала надлишкову енергію до мережі та забезпечувала коректне функціонування без втручання користувача.

4. Розрахунок економічної ефективності та окупності.

Оцінка економічної ефективності базується на фактичному виробленні електроенергії та тарифах:

- середня щомісячна генерація: ~1300 кВт·год;
- споживання домогосподарства: ~500 кВт·год;
- надлишок для продажу: ~800 кВт·год;
- тариф "зеленого" продажу (2025 р.): $\approx 0,16$ євро/кВт·год;

Місячний дохід від продажу:

$$800 \text{ кВт·год} \times 0,16 \text{ €} = 128 \text{ €} \approx 5600 \text{ (грн.)}$$

Вартість системи (панелі + інвертор + монтаж): $\approx 250\,000$ (грн.)

Визначаємо термін окупності:

$$250\,000 \text{ грн.} / 5600 \text{ грн.} \approx 45 \text{ місяців, тобто } 3,75 \text{ роки.}$$

Після цього станція почне приносити чистий прибуток. З урахуванням терміну служби 20+ років – інвестиція є фінансово доцільною.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

В даному розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розробляються заходи з охорони праці щодо безпечної експлуатації інверторного обладнання сонячних електростанцій.

Аналіз потенційних небезпек для електротехнічного оперативного персоналу, який розробляє та реалізує заходи та експлуатує діагностичний комплекс визначення пошкоджень, проведемо за [27, 28]. Отже, під час експлуатації діагностичного комплексу визначення пошкоджень ізоляції силових трансформаторів необхідно передбачати заходи із запобігання впливу на працівників таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, переважно аерозолі фіброгенної дії (металевий і будівельний пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні та емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

У цьому розділі будуть досліджені такі питання як технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць, електробезпека, мікроклімат, склад повітря робочої зони, виробниче освітлення, виробничий шум, виробничі вібрації, безпеки в надзвичайних ситуаціях для працівників в

цілому та для об'єкта проектування під час його експлуатації.

5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

5.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць

Підготовка робочого місця і допуск до виконання робіт з монтажу діагностичного комплексу визначення пошкоджень здійснюється оперативно-ремонтним персоналом електричних станцій і підстанцій [30-31].

Підготовка робочих місць і допуск можуть провадитись тільки з дозволу оперативних працівників, а на підприємствах, де таких працівників немає – з дозволу особи, яка видала наряд чи розпорядження за узгодженням з особою, відповідальною за електрогосподарство. Забороняється змінювати передбачені нарядом (розпорядженням) заходи по підготовці робочих місць. В разі виникнення сумніву в достатності і правильності заходів з підготовки робочого місця і можливості безпечного виконання роботи, ця підготовка має бути припинена.

Підготовку робочих місць, як правило, виконують два працівники, які мають право на оперативні перемикання в даній електроустановці. Дозволяється виконувати підготовку робочого місця керівнику робіт з одним із членів бригади, якщо вони мають права на оперативні перемикання в даній електроустановці. Підготовку робочого місця може виконувати один працівник, крім встановлення переносних заземлень в електроустановках понад 1000 В і виконання перемикань, що здійснюються на двох і більше приєднаннях в електроустановках понад 1000 В, що не мають діючих пристроїв блокування роз'єднувачів від неправильних дій.

Той, хто дає дозвіл разом з керівником робіт повинні перевірити виконання технічних заходів з підготовки робочого місця. Якщо керівник робіт суміщає обов'язки допускача, то таку перевірку він виконує з одним із членів бригади, який має групу III.

Допуск до роботи за нарядами та розпорядженнями слід провадити безпосередньо на робочому місці. Допуск провадиться після перевірки технічних заходів з підготовки робочого місця. В цьому разі допускатч має:

- перевірити, чи відповідає склад бригади зазначеному у наряді або розпорядженні, та наявність у членів бригади посвідчень про перевірку знань;

- провести інструктаж: ознайомити бригаду зі змістом наряду, розпорядження; зазначити межі робочого місця і підходи до нього; показати найближче до робочого місця устаткування та струмопровідні частини приєднань, що ремонтуються, та суміжних, до яких забороняється наближатися незалежно від того, перебувають вони під напругою чи ні;

- довести бригаді, що напруга відсутня, показом встановлених заземлень та перевіркою відсутності напруги, якщо заземлення не видно з робочого місця, а в електроустановках 35 кВ і нижче (де дозволяє конструктивне виконання) з наступним дотиком рукою до струмопровідних частин, після перевірки відсутності напруги.

Після інструктажу допускатча бригаду повинен проінструктувати керівник робіт щодо безпечного виконання робіт, використання інструменту, пристосувань, механізмів і вантажопідіймальних машин. Без проведення інструктажу допуск бригади забороняється. Проведення інструктажу і допуску оформляються підписами допускатча і керівника робіт (наглядача) в таблиці 3 наряду із зазначенням дати і часу. Допуск оформлюється в обох примірниках наряду, з яких один залишається у керівника робіт (наглядача), а другий – у допускатча. Коли керівник робіт суміщає обов'язки допускатча, допуск оформлюють в одному примірнику наряду.

Під час роботи за розпорядженням час допуску реєструють в журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями.

5.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця,
- 2) застосування під час обслуговування електроустановок електрозахисних засобів.

Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмопровідні частини слід огороджувати;
- приєднати до "землі" переносні заземлення;
- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмопровідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;
- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмопровідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;
- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом, від впливу електричного поля, а також засоби індивідуального та колективного

захисту. Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові.

До основних ізолювальних електрозахисних засобів, які повинні застосовуватись в електроустановках напругою понад 1000 В, відносяться: ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.); до додаткових – діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення та вирівнювання потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення, плакати та знаки безпеки та інші засоби захисту.

Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри і щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [27], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов.

У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

За безпечність конструкції, правильність вибору матеріалів, якість виготовлення, а також за відповідність засобів захисту чинним в Україні нормативним документам повинні нести відповідальність керівники підприємств, установ, організацій (незалежно від форми власності), що

виготовляють ці засоби захисту, орган, який видав сертифікат на виробництво та на реалізацію захисних засобів, в тому числі і засобів захисту зарубіжного виробництва.

Керівники підприємств, установ, організацій та інші посадові особи несуть персональну відповідальність за виконання вимог цих Правил у межах покладених на них завдань та функціональних обов'язків згідно з чинним законодавством. Працівників, які обслуговують електроустановки, необхідно забезпечити усіма необхідними засобами захисту, навчити правилам користування цими засобами і зобов'язати застосовувати їх для створення безпечних умов праці.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні [32], де встановлена лінія, наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°C	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

Для забезпечення потрібних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [32]:

- Утеплення фасаду будівлі;
- Встановлено вентиляцію приміщень.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

В умовах, що розглядаються в роботі, можливим забруднювачем повітря може бути пил нетоксичний [32].

Характерні забруднюючі речовини для виробничого приміщення наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Характерні забруднюючі речовини для виробничого приміщення

Найменування речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони в роботі передбачені такі рішення [32]:

- Робочі місця, де можливе виділення пилу та, обладнані вентиляційними пристроями, які повинні бути постійно готовими до роботи.
- Будь-які порушення у системі вентиляції відображаються попереджувальними сигнальними пристроями.
- Установки для кондиціонування повітря або механічні вентиляційні установки під час їх роботи не створюють для працівників протягів.

5.2.3 Виробниче освітлення

Штучне освітлення в будівлі запроектоване загальне, освітлення, за якого світильники розміщуються рівномірно у верхній зоні приміщення (загальне рівномірне освітлення).

Нормовані значення виробничого освітлення наведені в таблиці 6.3. Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [33] розряд зорової роботи IV, підрозряд «Г».

Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характеристика зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	Г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

Для забезпечення нормованого значення освітлення передбачено:

- використання природного та штучного освітлення;
- штучне освітлення повинне бути рівномірне та достатньо інтенсивне;
- світло не повинне створює різких тіней на місцях роботи, значних контрастів між освітленим робочим місцем і навколишньою обстановкою;
- штучне світло не створює зайвих відблисків у полі зору працівника.

5.2.4 Виробничий шум

Джерелами шуму, що розглядаються в роботі, для працівників є шум будівельних машин і механізмів. Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму наведено в таблиці 5.4.

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового клімату) в приміщенні проектом передбачено:

- раціональне розташування робочих місць;
- постійний контроль режиму праці і відпочинку працівників;
- обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам.

Таблиця 5.4 Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньогометричними частотами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Основні виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сидниці). Допустимі рівні загальної вібрації на постійних місцях у виробничих приміщеннях наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньогометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	<u>1,3</u> 108	<u>0,45</u> 99	<u>0,22</u> 93	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів устатков і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

5.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [33]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019, за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [31].

Приміщення п/ст за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д (зниженопожежонебезпечна) – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-ІІІ (місця, за межами приміщень, де зберігаються тверді горючі речовини).

Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Будівля п/ст, в якій розташовані ці приміщення, характеризується II ступенем вогнестійкості.

До II ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [33] наведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки марші сходових кліток	перекриття між по-верхові (у т.ч. горищні та над підвалами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настилки, прогон	балки, ферми, ларки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [31] наведено в таблиці 5.7.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 6.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 5.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих,

складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 5.9 (знаменник) [30].

Таблиця 5.8 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості і протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Таблиця 5.9 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
I, II	6/9	8/9	10/12

На території підстанції встановлено 11 вогнегасників ВВП-8 (ВП-5).

ВИСНОВКИ

Отже, в результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було проаналізовано технічні особливості та умови застосування інверторного обладнання сонячних електростанцій. Також, було виконано усі поставлені задачі роботи.

В першому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було досліджено перспективи розвитку та особливості роботи сонячних електростанцій. Також було проаналізовано основне обладнання сонячних електростанцій, особливості функціонування СЕС та основні функції інверторного обладнання.

В другому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було проаналізовано технічні параметри, класифікацію та особливості будови інверторного обладнання. Було проведено аналіз різних типів інверторного обладнання. Дослідження показало, що на світовому ринку існує значна кількість компаній-виробників інверторного обладнання, які спеціалізуються на виробництві інверторів. Тому в роботі було показано порівняння конструктивних рішень та технічних характеристик продукції провідних виробників.

Серед постачальників інверторного обладнання на українському ринку можна виокремити такі компанії, як: ABB, Victron Energy B.V., Fronius, Huawei, Sungrow, Solis, Kaco, Kostal, Imeon, AlphaESS. Усі ці виробники мають багаторічний досвід у сфері проєктування та виробництва високоякісних інверторів.

В третьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було проаналізовано умови експлуатації та особливості застосування інверторного обладнання, зокрема: розглянуті зовнішні (природні) та внутрішні (технічні) фактори, які впливають на роботу інвертора. Окрім цього, в роботі було проаналізовано умови експлуатації, технічне обслуговування та моніторинг ефективності роботи інверторного

обладнання.

В четвертому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було проаналізовано особливості вибору інверторного обладнання при проектуванні сонячних електростанцій. Тобто, було детально розглянуто основні критерії вибору інверторного обладнання, та які параметри потрібно враховувати при цьому. Також, було виконано розрахунок та обґрунтування вибору оптимальної моделі інвертора для домогосподарської сонячної електростанції потужністю 10 кВт.

В розділі «Охорона праці» було розглянуто основні питання щодо охорони праці та забезпечення безпечних умов праці для працівників СЕС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.ecotech.ua/sonyachni-elektrostantsiiyi-v-ukrayini-suchasnyj-stan-perspektyvy-ta-tehnologiyi/>;
2. https://odnb.odessa.ua/view_post.php?id=4131;
3. «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”» Енергетична стратегія України на період до 2035 року, Офіційний портал Верховної Ради Укаїни. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>;
4. Офіційна web-сторінка фірми Solarssk. Проектування сонячних електростанцій. [Електронний ресурс]. URL: <https://solarssk.com/proektuvannya-sonyachnix-elektrostantsii/>;
5. Офіційна web-сторінка фірми Solarmarket. Обладнання сонячної електростанції, критерії якості. [Електронний ресурс]. URL: <https://solarmarket.com.ua/articles/vidy-solnechnyh-elektrostantsij-v-ukraine>;
6. Журнал UA-energy. Перспективи розвитку сонячної енергетики. [Електронний ресурс]. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/yakymy-ie-perspektyvy-rozvytku-soniachnoi-enerhii-v-ukraini>;
7. Офіційна web-сторінка фірми EcoEnerhiia. Обладнання сонячної електростанції, критерії якості. [Електронний ресурс]. URL: <https://ecoenerhiia.ua/news/pidbir-obladnannja-dlja-sonjachnoi-elektrostantsii-dlja-domu-kriterii-jakosti.html>;
8. Дудюк Д.Л., Мазепа С.С., Гнатишин Я.М. Нетрадиційна енергетика: Навч. посібник.— Львів: “Магнолія плюс”.— 2007. — 262с.
9. Офіційна web-сторінка фірми Reneco.com. Вибір інверторів. [Електронний ресурс]. URL: <https://reneco.com.ua/stati-ua-novini/vibiraemo-invertor-dlya-sonyachnoi-stantsii/>;
10. Офіційна web-сторінка фірми Generacia.energy. Вибір інверторів, принцип роботи та характеристики. [Електронний ресурс]. URL:

<https://generacia.energy/zelenyj-tarif/ua-invertor/>;

11. Офіційна web-сторінка фірми Solarssk. Проектування сонячних електростанцій. [Електронний ресурс]. URL: <https://solarssk.com/proektuvannya-sonyachnix-elektrostantsii/>;

12. Офіційна web-сторінка фірми Solarmarket. Обладнання сонячної електростанції, критерії якості. [Електронний ресурс]. URL: <https://solarmarket.com.ua/articles/vidy-solnechnyh-elektrostantsij-v-ukraine>.

13. Офіційна web-сторінка фірми Sun-energy. Мережева, автономна та гібридна електростанція. [Електронний ресурс]. URL: <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-power-plants/medium-8kwt>.

14. Журнал my.rv.ua. Типи інверторів для сонячних батарей. [Електронний ресурс]. URL: <https://my.rv.ua/your-health/typy-invertoriv-dlya-sonyachnyh-batarej/>

15. Офіційна web-сторінка фірми Romstal. Особливості вибору інверторів. [Електронний ресурс]. URL: <https://romstal.ua/uk/info/179-cho-takoe-invertor-dlya-solnechnoy-paneli-i-kak-ego-pravilno-vybrat>.

16. Офіційна web-сторінка фірми Rel.prom. Особливості та характеристики інверторів. [Електронний ресурс]. URL: <https://prel.prom.ua/a316388-sonyachni-invertori-oglyad.html>.

17. Офіційна web-сторінка фірми Avenston. Сонячні інвертори. [Електронний ресурс]. URL: <https://avenston.com/solar-equipment/solar-inverters/>

18. Офіційна web-сторінка фірми Atmosfera.com. Фотоелектричні інвертори. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.atmosfera.ua/uk/produkcija-3/pv-invertori/>

19. Офіційна web-сторінка фірми Reneco.com. Вибір інверторів. [Електронний ресурс]. URL: <https://reneco.com.ua/stati-ua-novini/vibiraemo-invertor-dlya-sonyachnoi-stantsii/>.

20. Офіційна web-сторінка фірми Generacia.energy. Вибір інверторів, принцип роботи та характеристики. [Електронний ресурс]. URL:

<https://generacia.energy/zelenyj-tarif/ua-invertor/>.

21. https://racompany.com.ua/ua/g44798050-abb-shvejtsariya?srsId=AfmBOopsH0-SXeLlgypKWX9OsMZC54FUCo3DWIhm6Gs_d6rj6YjMsacC.
22. Fronius Symo Installation Guide, Fronius International GmbH, 2022.
23. SMA Solar Technology AG – Best Practices for Inverter Operation, 2023.
24. ДСТУ EN 50549-1:2022. Вимоги до генераторів, що працюють паралельно з мережею.
25. Кириченко О. І. Альтернативні джерела енергії: навчальний посібник. - Львів: ЛНУ, 2017.
26. International Journal of Renewable Energy Research, Vol. 12, No. 3, 2022.
27. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
28. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
29. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.
30. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
31. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

32. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

33. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

34. Бондаренко Є. А., Кутін В. М., Лежнюк П. Д. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник. Вінниця, ВНТУ, 2018. 46 с.

35. Положення про кваліфікаційні роботи на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21 / А. О. Семенов, Л. П. Громова, О. В. Сердюк, Т. В. Макарова. Вінниця: ВНТУ, 2021. 68 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ)
РОБОТИ

Назва роботи: «Аналіз технічних особливостей та умов застосування інверторного обладнання сонячних електростанцій»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕСС Остра Н.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism

Оригінальність	96,2
Загальна схожість	3,8

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор

(підпис)

Христюк Я.С.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Вишневський С.Я.

(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК Б

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ ІНВЕРТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем

Аналіз технічних особливостей та умов застосування інверторного обладнання сонячних електростанцій

Виконав:
Студент групи ЕС-216
Я.С. Христюк

Науковий керівник БКР:
к.т.н., доц. каф. ЕСС Н.В. Остра



Мета і задачі дослідження

Метою даної бакалаврської кваліфікаційної роботи є проаналізувати технічні особливості та умови застосування інверторного обладнання сонячних електростанцій.

У відповідності до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **основні задачі**:

- дослідити перспективи розвитку та особливості роботи сонячних електростанцій;
- проаналізувати технічні параметри, класифікацію та особливості будови інверторного обладнання;
- розглянути умови експлуатації та особливості застосування інверторного обладнання;
- проаналізувати особливості вибору інверторного обладнання при проектуванні сонячних електростанцій;
- розглянути основні питання щодо охорони праці обслуговуючого персоналу СЕС.

Класифікація сонячних електростанцій

Залежно від конструктивних особливостей та способу підключення до електромережі, СЕС поділяють на кілька типів:

- автономні СЕС
- мережеві СЕС
- гібридні СЕС



{ 3 }

Схема підключення автономного інвертора



{ 4 }

Схема підключення мережевого інвертора



{ 5 }

Схема підключення гібридного або комбінованого інвертора



{ 6 }

Аналіз популярних моделей інверторів різних компаній-виробників, що використовуються в Україні та світі

- На ринку України та світу представлено широкий асортимент інверторного обладнання від провідних виробників. Серед найпопулярніших моделей є наступне інверторне обладнання:
- Компанія ABB пропонує однофазні та трифазні мережеві фотоелектричні інвертори різної потужності, призначені як для побутового, так і для промислового використання.
- Компанія Huawei SUN2000 (Китай) випускає мережеві та гібридні інвертори з високим ККД (до 98,6%), кількома MPPT, зручним моніторингом через мобільний застосунок;
- Компанія SMA Sunny Boy (Німеччина) виробляє мережеві інвертори з високою надійністю, підтримкою широкого діапазону напруг та довгим терміном служби;
- Компанія-виробник Fronius Symo/Primo (Австрія) один із лідерів ринку у виробництві обладнання для сонячних електростанцій, зосереджений на впровадженні фотогальванічних технологій; виробляє відомі своєю гнучкістю, високою якістю збірки та активним охолодженням інверторне обладнання;
- Компанії-виробники такі як – Solax, Victron Energy, Growatt, Deye виробляють також широкий асортимент інверторів для різних умов застосування: від невеликих побутових до промислових видів.
- Victron Energy (Нідерланди) – розробляє і виготовляє високоякісні інвертори напруги.

(7)

Інвертори компанії Fronius



Fronius 6 кВт, мережевий сонячний інвертор, Symo M Light - Inverter Trifase 6000Wac 2MPPT+ComCard

Сонячний гібридний інвертор PROSOLAX X1-Lite-12.0-1V 48 V (12 кВт, 1 фаза, 3 MPPT)

Fronius 27 кВт, мережевий сонячний інвертор, Fronius ECO Light - Inverter Trifase 27 000Wac

Fronius 10 кВт, мережевий сонячний інвертор, Symo M Light - Inverter Trifase 10000Wac 2MPPT+ComCard

(8)

Мережевий інвертор
компанії Huawei



Однофазний мережевий
інвертор компанії ABB



(9)

Трифазні промислові інвертори компанії ABB



(10)

При виборі інвертора для сонячної електростанції потрібно врахувати кілька основних аспектів:

Відповідність потужності: Інвертор повинен бути правильно підібраний за номінальною потужністю – сумарну потужність панелей варто збільшувати на 20–30% для забезпечення запасу.

Моніторинг та комунікації: Сучасні моделі часто обладнані можливістю віддаленого моніторингу, що спрощує контроль за експлуатацією станції та дозволяє оперативно виявляти проблеми.

Тип системи: Для мережових систем використовують мережові інвертори, а для гібридних чи автономних проектів – гібридні чи автономні моделі, які забезпечують роботу навіть при відключенні мережі.

Ефективність і MPPT: Висока ефективність перетворення і наявність технології MPPT (Maximum Power Point Tracking) дозволяють оптимізувати виробництво електроенергії.

Моніторинг та комунікації: Сучасні моделі часто обладнані можливістю віддаленого моніторингу, що спрощує контроль за експлуатацією станції та дозволяє оперативно виявляти проблеми.



12

Висновки

- Отже, в результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було проаналізовано технічні особливості та умови застосування інверторного обладнання сонячних електростанцій. Також, було виконано усі поставлені задачі роботи.
- В першому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було досліджено перспективи розвитку та особливості роботи сонячних електростанцій. Також було проаналізовано основне обладнання сонячних електростанцій, особливості функціонування СЕС та основні функції інверторного обладнання.
- В другому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було проаналізовано технічні параметри, класифікацію та особливості будови інверторного обладнання. Було проведено аналіз різних типів інверторного обладнання. Дослідження показало, що на світовому ринку існує значна кількість компаній-виробників інверторного обладнання, які спеціалізуються на виробництві інверторів. Тому в роботі було показано порівняння конструктивних рішень та технічних характеристик продукції провідних виробників.
- Серед постачальників інверторного обладнання на українському ринку можна виокремити такі компанії, як: ABB, Victron Energy B.V., Fronius, Huawei, Sungrow, Solis, Kaco, Kostal, Imeon, AlphaESS. Усі ці виробники мають багаторічний досвід у сфері проектування та виробництва високоякісних інверторів.
- В третьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було проаналізовано умови експлуатації та особливості застосування інверторного обладнання. В четвертому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було проаналізовано особливості вибору інверторного обладнання при проектуванні сонячних електростанцій. Тобто, було детально розглянуто основні критерії вибору інверторного обладнання, та які параметри потрібно враховувати при цьому. Також, було виконано розрахунок та обґрунтування вибору оптимальної моделі інвертора для домогосподарської сонячної електростанції потужністю 10 кВт.
- В розділі «Охорона праці» було розглянуто основні питання щодо охорони праці та забезпечення безпечних умов праці для працівників СЕС.

13