

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Проект системи резервного живлення лабораторій
кафедри Електричної інженерії ТНТУ імені Івана Пулюя
на основі фотоелектричної електростанції (комплексна тема).**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи ЕТ-42
спеціальності 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Галайчук О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Лузяк Н.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Сисак І.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мовчан Л.Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Галайчук Олександр Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект системи резервного живлення лабораторій кафедри Електричної інженерії ТНТУ імені Івана Пулюя на основі фотоелектричної електростанції (комплексна тема)

Керівник роботи Сисак Іван Михайлович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від «31» грудня 2025 року № 4/7-1163

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Відомості про електричні навантаження лабораторій

План приміщень

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

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

1. Презентація

2.

3.

4.

5.

6.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик О.Я., к.т.н., доцент кафедри МТ		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Аналітичний розділ		
3	Проектно-конструкторський розділ		
4	Розрахунковий розділ		
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці		
6	Загальні висновки		
7	Оформлення пояснювальної записки		
8	Оформлення графічної частини		

Студент _____
(підпис)

Галайчук О.П.
_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Сисак І.М.
_____ (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Лузяк Назар Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект системи резервного живлення лабораторій кафедри Електричної інженерії ТНТУ імені Івана Пулюя на основі фотоелектричної електростанції (комплексна тема)

Керівник роботи Сисак Іван Михайлович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від «31» грудня 2025 року № 4/7-1163

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Відомості про електричні навантаження лабораторій

План приміщень

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

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

1. Презентація

2.

3.

4.

5.

6.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик О.Я., к.т.н., доцент кафедри МТ		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Аналітичний розділ		
3	Проектно-конструкторський розділ		
4	Розрахунковий розділ		
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці		
6	Загальні висновки		
7	Оформлення пояснювальної записки		
8	Оформлення графічної частини		

Студент _____
(підпис)

Лузяк Н.А. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Сисак І.М. _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТ–42. - Т. : ТНТУ, 2026.

Стор. 101; рис. 44; табл. 12; креслень -; джерел 30; додатків 0.

Робота бакалавра виконана згідно завдання на тему: «Проект системи резервного живлення лабораторій кафедри Електричної інженерії ТНТУ імені Івана Пулюя на основі фотоелектричної електростанції (комплексна тема)».

Метою кваліфікаційної роботи є проектування системи резервного живлення лабораторій кафедри електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя на основі фотоелектричної електростанції з метою підвищення надійності електропостачання, забезпечення безперебійної роботи лабораторного обладнання та зниження залежності від централізованої електромережі.

Налаштовано систему резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ, яка підтримує дистанційний моніторинг та керування через веб-платформу Deye Cloud і мобільний додаток. Це дозволяє контролювати параметри роботи інвертора, стан акумуляторних батарей та генерацію сонячної електростанції в режимі реального часу.

Проведено дослідження впливу затемнення на роботу сонячних панелей та їхню вихідну потужність. За допомогою приладів UNI-T UT673PV та Vici LX107 було визначено, що зі збільшенням ступеня затемнення потужність фотомодулів значно зменшується, а при сильному затіненні генерація електроенергії практично припиняється. Встановлено, що сонячна панель Trina Solar TSM-445NEG9RC.27 завдяки двосторонній конструкції та сучасним технологіям демонструє кращу роботу при частковому затіненні порівняно з панеллю Risen RSM40-8-410MB.

Ключові слова: резервне живлення, лабораторія, фотоелектрична станція.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТ-42. - Т. : ТНТУ, 2026.

Стор. 101; рис. 44; табл. 12; креслень -; джерел 30; додатків 0.

Робота бакалавра виконана згідно завдання на тему: «Проект системи резервного живлення лабораторій кафедри Електричної інженерії ТНТУ імені Івана Пулюя на основі фотоелектричної електростанції (комплексна тема)».

Метою кваліфікаційної роботи є проектування системи резервного живлення лабораторій кафедри електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя на основі фотоелектричної електростанції з метою підвищення надійності електропостачання, забезпечення безперебійної роботи лабораторного обладнання та зниження залежності від централізованої електромережі.

Запропонована система захисту інвертора, що є важливою складовою надійної та безпечної роботи гібридної сонячної електростанції. Використання ПЗП, запобіжників та автоматичних вимикачів забезпечує захист обладнання від імпульсних перенапруг, коротких замикань і перевантажень, що дозволяє знизити ризик пошкодження інвертора, акумуляторних батарей та іншого електрообладнання.

Забезпечено постійне та раціональне навантаження на сонячну електростанцію, що є важливим для ефективної роботи акумуляторних батарей та всієї системи електроживлення. Використання навантаження у вигляді лабораторного обладнання та кондиціонера дозволяє підтримувати оптимальний режим розрядження акумуляторів, зменшувати деградацію батарей та підвищувати стабільність роботи гібридної сонячної електростанції.

Ключові слова: резервне живлення, лабораторія, фотоелектрична станція.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Сонячні електростанції.....	10
1.1.1 Принцип роботи СЕС.....	10
1.1.2 Основні типи сонячних електростанцій.....	11
1.1.3 Переваги використання сонячних електростанцій.....	17
1.1.4 Недоліки використання сонячних електростанцій.....	19
1.1.5 Інтеграція сонячних електростанцій в систему електропостачання.....	23
1.2 Гібридні сонячні електростанції.....	25
1.2.1 Основна ідея гібридної СЕС.....	25
1.2.2 Основні компоненти гібридної СЕС.....	26
1.2.3 Принцип роботи гібридної СЕС.....	30
1.2.4 Переваги використання гібридних СЕС.....	31
1.2.5 Недоліки використання гібридних СЕС.....	32
1.3. Постановка задач.....	35
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	36
2.1 Гібридний інвертор Deye.....	36
2.2 Акумуляторна батарея.....	44
2.3 Сонячна панель АІКО.....	50
2.4 Інверторний генератор Konner&Sohnen.....	55
2.5 Висновки до Розділу 2.....	59
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	60
3.1 Загальний вигляд системи резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ.....	60
3.2 Сонячні панелі.....	61
3.3 Дистанційний доступ до системи резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ.....	61

3.4 Прилади для дослідження.....	64
3.4.1 Цифровий тестер потужності фотоелектричних модулів UNI-T UT673PV.....	64
3.4.2 Сонячний вимірювач потужності Vici LX107.....	66
3.4.3 Тестер сонячних панелей ELEJOY PMA1800.....	68
3.5 Сонячні панелі для дослідження.....	70
3.5.1 Risen RSM40-8-400MB.....	70
3.5.2 Risen RSM40-8-410MB.....	71
3.5.3 Trina Solar TSM-445NEG9RC.27.....	72
3.5.4 Вплив затемнення на роботу сонячних панелей.....	73
3.6 Система захисту інвертора.....	79
3.7 Навантаження на сонячну електростанцію.....	83
3.8 Висновки до Розділу 3.....	84
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	86
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час експлуатації фотоелектричної електростанції.....	86
4.2 Вимоги електробезпеки при роботі з системами резервного електроживлення та сонячними панелями.....	87
4.3 Вимоги до монтажу та експлуатації акумуляторних систем накопичення енергії.....	89
4.4 Пожежна безпека під час експлуатації фотоелектричних систем та акумуляторних батарей.....	91
4.5 Організація безпечного проведення робіт під час технічного обслуговування системи резервного живлення.....	92
4.6 Заходи безпеки під час аварійних режимів роботи фотоелектричної електростанції.....	94
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	96
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	98

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність теми полягає у необхідності забезпечення надійного та безперебійного електропостачання лабораторій кафедри електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя в умовах зростання навантаження на енергосистему України та частих перебоїв електропостачання. Для сучасного навчального процесу стабільне електроживлення є необхідною умовою функціонування лабораторного обладнання, проведення практичних занять, наукових досліджень та роботи комп'ютерної техніки.

Особливої актуальності набуває використання відновлюваних джерел енергії, зокрема фотоелектричних електростанцій, які дозволяють підвищити енергетичну незалежність об'єкта, зменшити витрати на електроенергію та забезпечити резервне живлення у разі аварійних або пікових режимів роботи мережі. Поєднання сонячної генерації з акумуляторними системами накопичення енергії створює можливість підтримання роботи критично важливих споживачів навіть при повному зникненні зовнішнього електроживлення.

Крім того, впровадження систем резервного живлення на основі фотоелектричних електростанцій відповідає сучасним тенденціям розвитку енергетики, спрямованим на підвищення енергоефективності, скорочення використання традиційних джерел енергії та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Реалізація такого проєкту в навчальному закладі також має практичне значення для підготовки майбутніх фахівців у сфері електричної інженерії та відновлюваної енергетики.

Тому, розробка проєкту системи резервного живлення лабораторій кафедри Електричної інженерії ТНТУ імені Івана Пулюя на основі фотоелектричної електростанції є актуальною задачею.

Метою кваліфікаційної роботи є проєктування системи резервного живлення лабораторій кафедри електричної інженерії Тернопільського

національного технічного університету імені Івана Пулюя на основі фотоелектричної електростанції з метою підвищення надійності електропостачання, забезпечення безперебійної роботи лабораторного обладнання та зниження залежності від централізованої електромережі.

Завдання:

1. Дослідити технічні характеристики гібридного інвертора, акумуляторних батарей, сонячних панелей та резервного генератора;
2. Налаштувати можливості дистанційного моніторингу та керування системою;
3. Провести експериментальні дослідження впливу затемнення на роботу сонячних панелей;
4. Запропонувати систему захисту інвертора від перенапруг, коротких замикань та перевантажень;
5. Проаналізувати вплив навантаження на роботу акумуляторних батарей та гібридної сонячної електростанції.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Сонячні електростанції

1.1.1 Принцип роботи СЕС.

Сонячна електростанція — це енергетична система, призначена для перетворення сонячного випромінювання у електроенергію. Принцип роботи ґрунтується на фотоелектричному ефекті, що виникає в напівпровідникових матеріалах під дією сонячного світла. Основним елементом такої станції є сонячні панелі, які складаються із великої кількості фотоелементів, переважно виготовлених із кремнію.

Під час потрапляння сонячних променів на поверхню фотоелементів фотони світла передають свою енергію електронам напівпровідника, унаслідок чого виникає електричний струм. Сонячні панелі виробляють постійний струм DC, що не може безпосередньо використовуватися більшістю електроприладів, тому він подається до інвертора. Інвертор виконує перетворення постійного струму DC у змінний струм з параметрами, необхідними для живлення електричних споживачів та роботи в електромережі [12].

Вироблена електроенергія може використовуватись безпосередньо для живлення навантаження, передаватися в централізовану електромережу або накопичуватися в акумуляторних батареях [23-26]. У мережевих сонячних електростанціях надлишок електроенергії подається до мережі, а при недостатній генерації електроенергія автоматично надходить із зовнішньої системи електропостачання. В автономних та гібридних системах застосовуються акумуляторні батареї, що забезпечують накопичення енергії для використання у вечірній час або при відсутності сонячного випромінювання.

До складу сучасної сонячної електростанції входять сонячні модулі, інвертор, контролер заряду, система кріплення, захисна комутаційна апаратура, кабельні мережі та система моніторингу. Контролер заряду регулює процес

заряджання акумуляторних батарей і запобігає їх перевантаженню чи глибокому розряду. Система моніторингу дозволяє контролювати параметри роботи станції, обсяги генерації та споживання електроенергії.

Найбільша продуктивність досягається за умови правильної орієнтації панелей на південь та оптимального кута нахилу [17, 18, 22]. Для підвищення ефективності інколи застосовують системи автоматичного стеження за сонцем — трекери.

Сонячні електростанції мають низку переваг, серед яких екологічність, використання відновлюваного джерела енергії, зменшення витрат на електроенергію, низькі експлуатаційні витрати і можливість забезпечення резервного електроживлення. Водночас їх робота залежить від погодних умов та часу доби, а для автономної роботи необхідне використання акумуляторних систем накопичення енергії.

У сучасних умовах сонячні електростанції є одним з найбільш перспективних напрямків розвитку альтернативної енергетики та широко застосовуються як у побутових, так і у промислових системах електропостачання [19, 20].

1.1.2 Основні типи сонячних електростанцій

Основні типи сонячних електростанцій класифікують за принципом роботи, способом підключення до мережі та особливостями використання. Найпоширенішими є мережеві, автономні та гібридні сонячні електростанції.

Мережеві СЕС працюють паралельно із централізованою електричною мережею. Вони складаються із сонячних панелей, мережевого інвертора, системи захисту та комутації. Вироблена електроенергія використовується для живлення споживачів, надлишок може передаватися до загальної електричної мережі.

На рисунку 1.1 показана мережева СЕС [1].



Рисунок 1.1 - Мережева СЕС

Перевагою мережевих станцій є висока економічна ефективність та відносно невелика вартість у порівнянні з іншими типами СЕС. Такі системи не потребують акумуляторних батарей, що спрощує конструкцію та зменшує витрати на обслуговування. Недоліком є залежність від зовнішньої мережі: у разі зникнення напруги станція автоматично вимикається з міркувань безпеки.

Мережеві СЕС широко застосовуються для електропостачання житлових будинків, підприємств, офісів та промислових об'єктів.

Автономні СЕС працюють незалежно від централізованої електромережі. Вони використовуються у місцях, де відсутнє підключення до електромережі або воно є ненадійним. До складу таких систем входять сонячні панелі, акумуляторні батареї, контролер заряду та автономний інвертор.

На рисунку 1.2 показано автономну сонячну електростанцію [2].

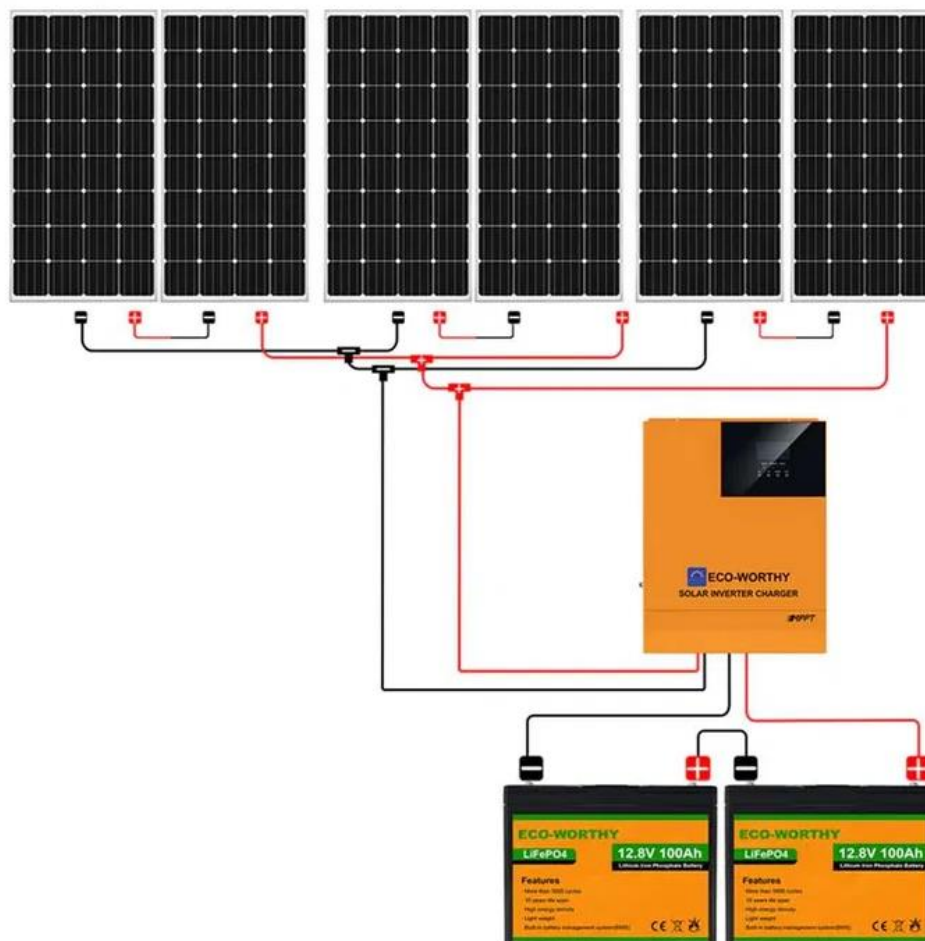


Рисунок 1.2 – Автономна СЕС.

Принцип роботи полягає у накопиченні виробленої електроенергії у акумуляторах для подальшого використання в нічний час чи під час несприятливих погодних умов. Перевага автономних СЕС - повна енергетична незалежність. Недоліки: висока вартість акумуляторних батарей, необхідність їх періодичної заміни та обмежений запас накопиченої енергії.

Автономні системи застосовуються для живлення приватних будинків, дач, фермерських господарств, телекомунікаційного обладнання та віддалених об'єктів.

Гібридні СЕС поєднують переваги мережевих та автономних систем. Вони можуть працювати як із зовнішньою мережею, так і з акумуляторними батареями. У нормальному режимі електроенергія від сонячних панелей використовується для живлення навантаження та заряджання акумуляторів, а при нестачі енергії система автоматично використовує електромережу або резервний генератор.

На рисунку 1.3 показано гібридну сонячну електростанцію [3].



Рисунок 1.3 – Гібридна СЕС.

Перевагою гібридних СЕС є забезпечення безперервного електропостачання навіть під час аварійних відключень електроенергії. Такі системи дають змогу ефективно використовувати сонячну енергію і підвищують енергетичну незалежність споживача. Недоліком є складніша конструкція та вища вартість обладнання.

Гібридні станції особливо актуальні для житлових будинків, підприємств, лікарень, закладів громадського харчування та інших об'єктів, де важливе резервне живлення.

Промислові та комерційні сонячні електростанції. Такі СЕС мають значну встановлену потужність і призначені для виробництва великих обсягів електроенергії. Вони можуть бути наземними або даховими. Промислові електростанції використовуються енергетичними компаніями або великими підприємствами для покриття власних потреб та продажу електроенергії [13].

На рисунку 1.4 показано промислову сонячну електростанцію [4].



Рисунок 1.4 – Промислова сонячна електростанція.

Для таких станцій характерне застосування високопродуктивних фотоелектричних модулів, систем моніторингу та автоматизованого керування. Їх перевагами є значне скорочення витрат на електричну енергію і зменшення впливу на навколишнє середовище.

Концентраційні СЕС використовують дзеркала чи лінзи для фокусування сонячного випромінювання на спеціальному приймачі. Отримане тепло використовується для нагрівання робочого тіла та виробництва електроенергії за допомогою турбін.

На рисунку 1.5 показано концентраційну сонячну електростанцію [5].



Рисунок 1.5 – Концентраційна сонячна електростанція.

Такі станції характеризуються високою ефективністю у регіонах із сильним сонячним випромінюванням, однак мають складну конструкцію та високу вартість будівництва. Найчастіше вони застосовуються у великих енергетичних проєктах.

1.1.3 Переваги використання сонячних електростанцій

1.1 Використання відновлюваного джерела енергії – сонячні електростанції працюють за рахунок енергії сонячного випромінювання, яке є природним та практично невичерпним ресурсом. На відміну від традиційних джерел електроенергії, сонячна енергетика не потребує використання вугілля, газу чи нафти, запаси яких постійно зменшуються.

1.2 Екологічність – у процесі виробництва електроенергії сонячні електростанції не створюють шкідливих викидів у атмосферу, не забруднюють повітря та не спричиняють утворення парникових газів. Завдяки цьому їх використання сприяє покращенню екологічного стану навколишнього середовища та зменшенню негативного впливу на клімат.

1.3 Зменшення витрат на електроенергію – після встановлення сонячної електростанції споживач отримує можливість самостійно виробляти електричну енергію для власних потреб.

1.4 Енергетична незалежність – використання сонячної електростанції дозволяє зменшити залежність від централізованих електромереж та перебоїв у постачанні електричної енергії. Особливо актуально для приватних будинків, підприємств та об'єктів критичної інфраструктури.

1.5 Можливість резервного живлення – у поєднанні з акумуляторними батареями сонячна електростанція може забезпечувати резервне живлення під час аварійних або планових відключень електроенергії. Накопичена енергія використовується для живлення важливих електроприймачів та підтримання безперервної роботи обладнання.

1.6 Тривалий термін служби обладнання – сучасні фотоелектричні модулі мають тривалий термін експлуатації, який у середньому перевищує 25 років. При цьому ефективність сонячних панелей знижується дуже повільно, що забезпечує стабільне виробництво електроенергії протягом багатьох років.

1.7 Мінімальне технічне обслуговування – сонячні панелі не мають складних рухомих механізмів, тому потребують мінімального обслуговування.

Основні роботи полягають у періодичному очищенні поверхні панелей та перевірці стану електричних з'єднань і обладнання.

1.8 Безшумна робота – під час експлуатації сонячні електростанції практично не створюють шуму, що дозволяє встановлювати їх у житлових районах, поблизу громадських будівель та підприємств без негативного впливу на людей.

1.9 Модульність системи – конструкція сонячної електростанції дозволяє поступово збільшувати її потужність шляхом додавання нових сонячних панелей, інверторів та акумуляторних систем. Це забезпечує гнучкість під час проектування та модернізації системи електропостачання.

1.10 Можливість встановлення у віддалених районах – сонячні електростанції можуть ефективно використовуватись у місцях, де відсутні централізовані електромережі або їх підключення є складним та дорогим. Це особливо важливо для фермерських господарств, приватних будинків та віддалених об'єктів.

1.11 Зниження навантаження на електромережу – використання сонячної генерації дозволяє зменшити споживання електроенергії з централізованої мережі, особливо у денний час, коли виробництво сонячної енергії є найбільшим. Це сприяє підвищенню стабільності роботи енергосистеми.

1.12 Підвищення енергетичної безпеки держави – розвиток сонячної енергетики сприяє диверсифікації джерел електроенергії та зменшенню залежності від імпорتنих енергоносіїв. Використання ВДЕ являється важливим напрямком розвитку сучасної енергетики та забезпечення енергетичної незалежності країни.

На рисунку 1.6 показано переваги використання сонячних електростанцій.

1.1.4 Недоліки використання сонячних електростанцій

1. Залежність від погодних умов і часу доби. Ефективність роботи сонячної електростанції значно залежить від інтенсивності сонячного випромінювання. У похмурі дні, під час дощу, снігу або туману виробництво електроенергії суттєво зменшується. У нічний час генерація електроенергії взагалі відсутня.

2. Висока початкова вартість обладнання. Для встановлення сонячної електростанції необхідні значні фінансові вкладення. Вартість сонячних панелей, інверторів, акумуляторних батарей, систем кріплення та монтажних робіт є досить високою, особливо для потужних систем.

3. Необхідність використання акумуляторів. Для забезпечення електропостачання у вечірній час або при аварійному відключенні мережі потрібні системи накопичення енергії. Акумуляторні батареї мають високу ціну, обмежений термін служби та потребують спеціальних умов експлуатації [27].

4. Потреба у великій площі. Для отримання значної кількості електроенергії необхідно встановлювати велику кількість сонячних панелей. Це потребує значної площі дахів або земельних ділянок.

5. Зниження ефективності з часом. Сонячні панелі поступово деградують у процесі експлуатації. Зазвичай їхня продуктивність зменшується приблизно на 0,5–1 % щороку.

6. Складність утилізації обладнання. Після завершення терміну служби сонячні панелі та акумулятори потребують спеціальної утилізації чи переробки, оскільки можуть містити шкідливі речовини.

7. Нестабільність генерації електроенергії. Виробництво електроенергії є нерівномірним через зміну освітленості протягом дня та сезонів року. Це створює додаткове навантаження на електричну мережу та потребує використання резервних джерел живлення.

8. Чутливість до забруднення та температури. Пил, сніг, листя та інші забруднення знижують ефективність сонячних панелей. Крім того, при високих температурах їхній коефіцієнт корисної дії зменшується.

9. Потреба у технічному обслуговуванні. Хоча сонячні електростанції мають відносно просту конструкцію, вони потребують регулярного очищення панелей, перевірки інверторів, кабельних ліній та систем захисту.

10. Тривалий термін окупності. Залежно від вартості обладнання, тарифів на електроенергію та умов експлуатації, окупність сонячної електростанції може становити від кількох до 10 та більше років.

На рисунку 1.7 показано недоліки використання сонячних електростанцій.



Рисунок 1.6 - Переваги використання сонячних електростанцій

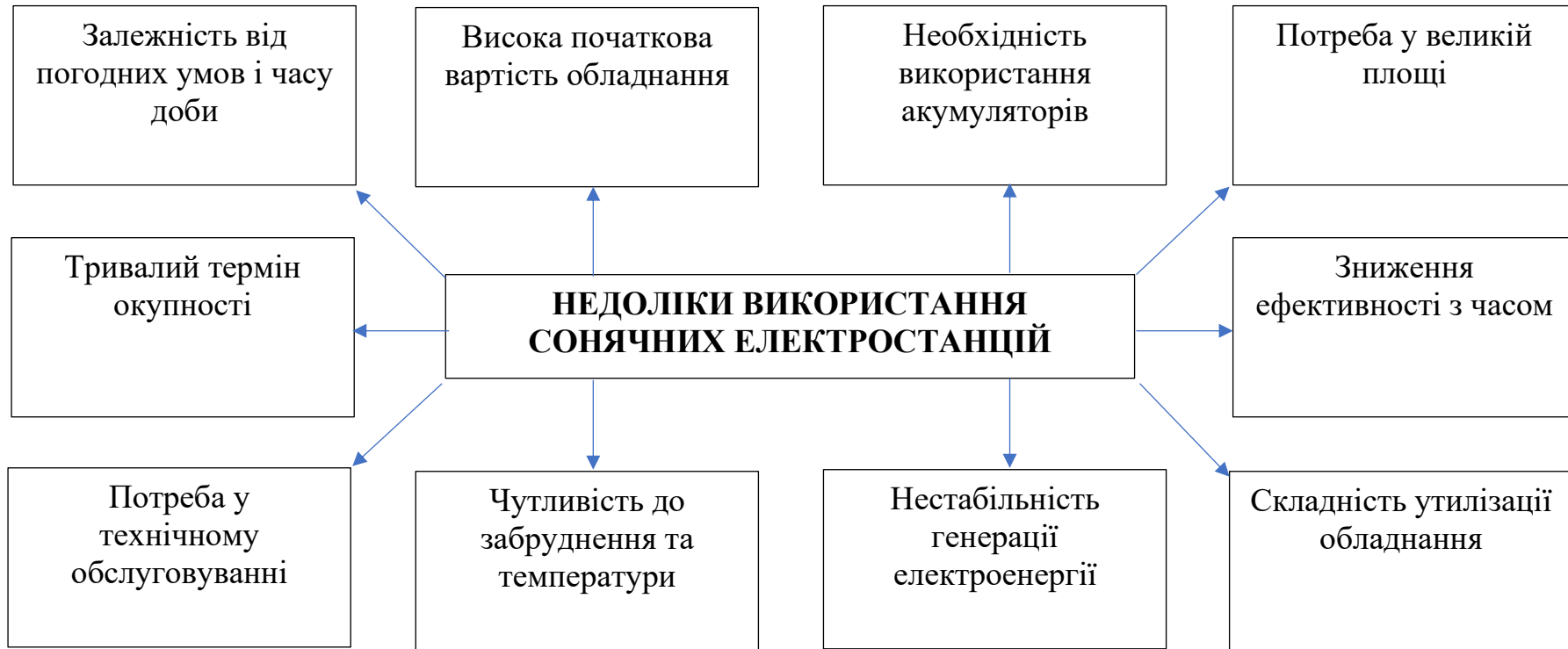


Рисунок 1.7 - Недоліки використання сонячних електростанцій

1.1.5 Інтеграція сонячних електростанцій в систему електропостачання

Інтеграція сонячних електростанцій у систему електропостачання є одним із найважливіших напрямків розвитку сучасної енергетики. Використання сонячної енергії дає змогу зменшити споживання електроенергії з централізованої мережі, підвищити енергоефективність об'єктів та забезпечити часткову або повну енергетичну незалежність споживачів. Особливо актуальним це є для житлових будинків, підприємств, кафе, ресторанів, офісів та промислових об'єктів [14].

Інтеграція сонячної електростанції (СЕС) у систему електропостачання передбачає підключення фотоелектричних модулів до внутрішньої електромережі об'єкта через спеціальне обладнання. Основними елементами такої системи є сонячні панелі, інвертор, система захисту, кабельні лінії, акумуляторні батареї (за потреби) та вузол підключення до електромережі.

Принцип роботи інтегрованої СЕС полягає в тому, що сонячні панелі перетворюють сонячне випромінювання в постійний електричний струм. Далі інвертор перетворює постійний струм у змінний струм напругою 220/380 В та частотою 50 Гц, який може використовуватись для живлення електроприймачів об'єкта. Надлишок виробленої електроенергії може передаватися у загальну електромережу або накопичуватись в акумуляторних батареях.

Залежно від способу інтеграції розрізняють кілька типів систем:

- мережеві СЕС;
- автономні СЕС;
- гібридні СЕС.

Мережеві СЕС працюють паралельно із зовнішньою електромережею [15]. У денний час вони забезпечують живлення споживачів та зменшують навантаження на мережу. Якщо виробництво електроенергії перевищує споживання, надлишок енергії передається до мережі.

Автономні СЕС використовуються на об'єктах, що не мають доступу до централізованого електропостачання. Такі системи обов'язково оснащуються

аккумуляторними батареями для накопичення електроенергії та забезпечення живлення в нічний час чи під час несприятливих погодних умов.

Гібридні СЕС поєднують можливості мережевих та автономних систем. Вони можуть одночасно працювати із зовнішньою мережею, сонячними панелями та аккумуляторними батареями. Це дозволяє забезпечити резервне живлення споживачів під час аварійних відключень електроенергії.

Під час інтеграції сонячної електростанції в систему електропостачання важливе значення мають:

- правильний вибір потужності СЕС;
- узгодження параметрів інвертора з параметрами мережі;
- забезпечення електробезпеки;
- встановлення систем автоматичного захисту;
- дотримання вимог пожежної безпеки;
- контроль якості електроенергії.

Для безпечної роботи системи застосовують автоматичні вимикачі, запобіжники, пристрої захисту від перенапруги, заземлення та системи моніторингу. Також необхідно враховувати можливі перевантаження мережі, коливання напруги та вплив погодних умов на ефективність роботи сонячних панелей.

Інтеграція СЕС у систему електропостачання забезпечує низку переваг:

- зменшення витрат на електричну енергію;
- підвищення енергетичної незалежності;
- зменшення навантаження на електромережу;
- можливість резервного живлення;
- екологічність та зменшення викидів шкідливих речовин;
- підвищення надійності електропостачання.

1.2 Гібридні сонячні електростанції

1.2.1 Основна ідея гібридної СЕС

Основна ідея гібридної сонячної електростанції полягає у поєднанні декількох джерел електроенергії та систем накопичення електричної енергії для забезпечення надійного, безперервного та ефективного електропостачання споживачів. Така система об'єднує фотоелектричні панелі, акумуляторні батареї, мережеве живлення та, за необхідності, резервний генератор в єдиний енергетичний комплекс [28].

У процесі роботи сонячні панелі перетворюють енергію сонячного випромінювання в електричну енергію, яка використовується для живлення електроприймачів об'єкта. Якщо вироблена електроенергія перевищує поточне споживання, надлишок спрямовується на заряджання акумуляторних батарей. У періоди недостатньої сонячної генерації, наприклад в нічний час чи під час похмурої погоди, електропостачання здійснюється за рахунок накопиченої енергії або зовнішньої електромережі.

Основною перевагою гібридної СЕС є можливість забезпечення стабільного електропостачання навіть в випадках перебоїв у централізованій мережі. Використання акумуляторних систем накопичення дозволяє підвищити рівень енергетичної автономності об'єкта, зменшити споживання електроенергії з мережі та оптимізувати витрати на електропостачання.

Гібридні сонячні електростанції широко застосовуються для житлових будинків, підприємств, кафе, ресторанів та інших об'єктів, де важливо забезпечити безперервну роботу електрообладнання. Впровадження таких систем допомагає підвищенню енергоефективності, зменшенню навантаження на електричні мережі та використанню ВДЕ.

1.2.2 Основні компоненти гібридної СЕС

Основні компоненти гібридної сонячної електростанції (гібридної СЕС) формують єдину систему, яка забезпечує генерацію, накопичення та розподіл електроенергії. До них належать:

1. Фотоелектричні модулі (сонячні панелі). Це основний елемент генерації, який перетворює енергію сонячного випромінювання в постійний електричний струм. Саме вони є джерелом електроенергії в системі, що базується на використанні сонячної енергії.

На рисунку 1.8 показана сонячна панель [6].



Рисунок 1.8 – Сонячна панель

2. Інвертор (гібридний інвертор). Перетворює постійний струм (DC) від сонячних панелей та акумуляторів у змінний струм, який використовується побутовими та промисловими споживачами. Також керує потоками енергії між джерелами [16].

На рисунку 1.9 показано гібридний інвертор [7].

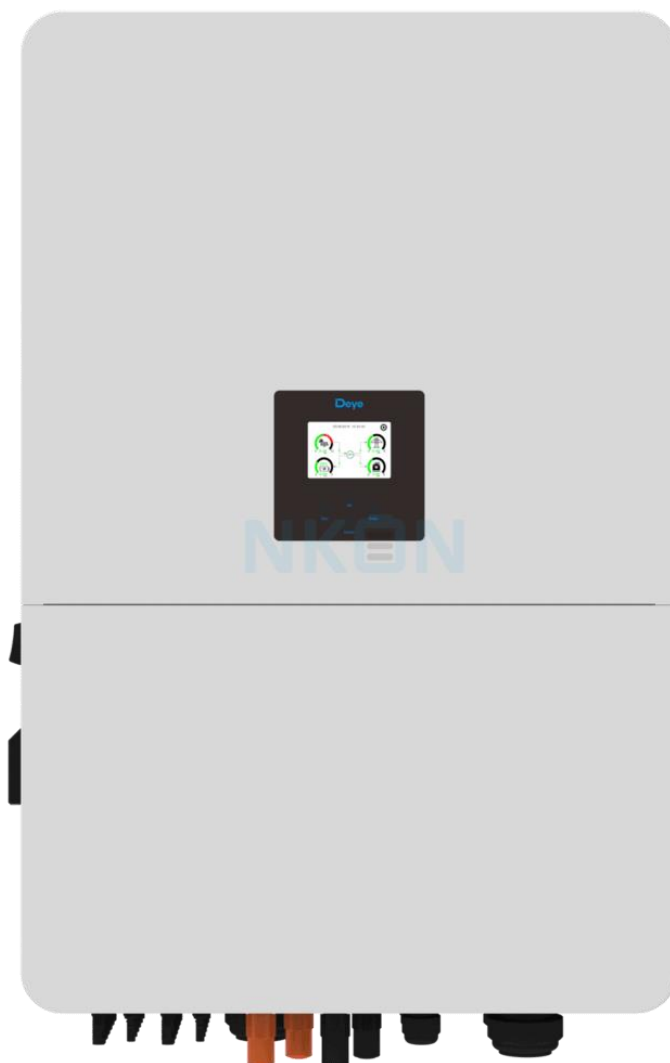


Рисунок 1.9 – Гібридний інвертор.

3. Акумуляторні батареї. Забезпечують зберігання надлишкової електричної енергії для подальшого використання у періоди відсутності сонця або

пікових навантажень. Це ключовий елемент автономності системи, що реалізує принцип накопичення енергії.

На рисунку 1.10 показано акумуляторну батарею [8].

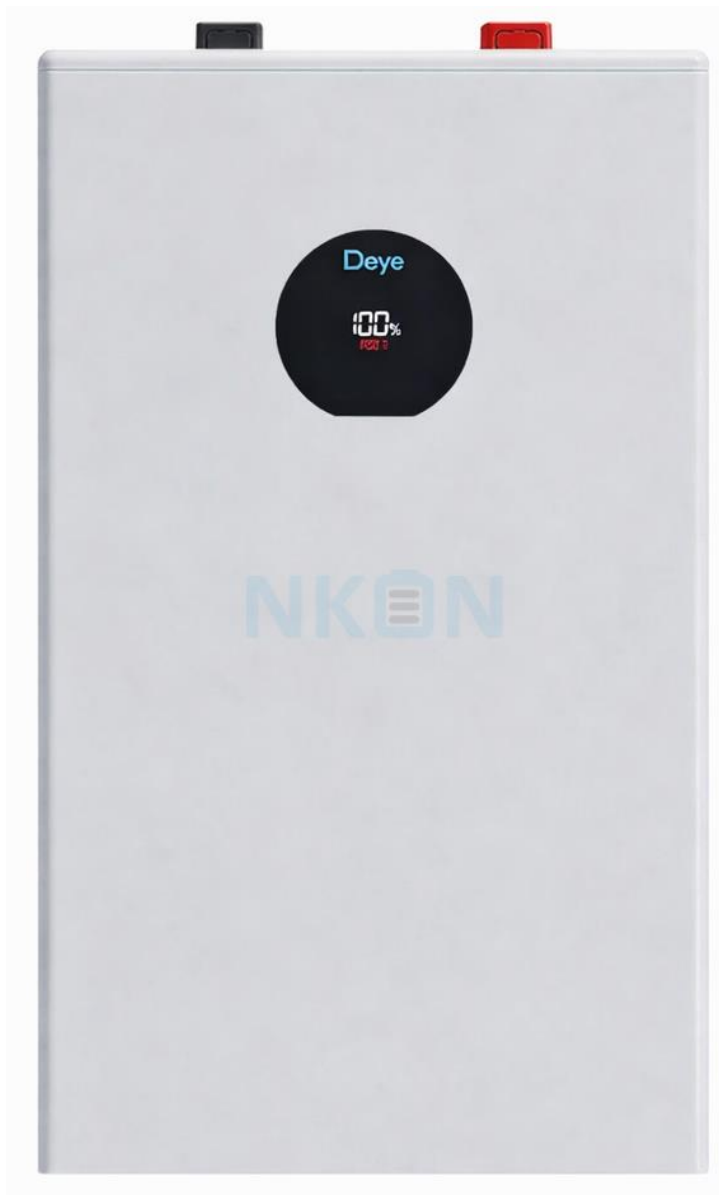


Рисунок 1.10 – Акумуляторна батарея.

4. Контролер заряду (MPPT-контролер). Регулює процес заряджання акумуляторів, оптимізуючи роботу сонячних панелей і захищаючи батареї від перевантаження або глибокого розряду.

5. Електрична мережа (зовнішня мережа). Використовується як додаткове або резервне джерело живлення, а також для передачі надлишкової енергії (в разі мережевої роботи).

6. Резервний генератор (за потреби). Дизельний або бензиновий генератор застосовується як додаткове джерело енергії при тривалому дефіциті сонячної генерації та розрядженні акумуляторів.

На рисунку 1.11 показано інверторний генератор [9].



Рисунок 1.11 - Генератор інверторний однофазний

7. Система моніторингу та керування. Забезпечує контроль параметрів роботи всієї СЕС, відстеження виробництва та споживання енергії, а також автоматичне перемикання режимів роботи.

1.2.3 Принцип роботи гібридної СЕС

Працює на основі поєднання фотоелектричної генерації, акумулювання електроенергії та взаємодії із зовнішньою електричною мережею. Її принцип роботи полягає в тому, що система автоматично розподіляє потоки електроенергії між джерелами живлення залежно від поточного балансу виробництва та споживання.

У денний час сонячні панелі перетворюють енергію сонячного випромінювання в електроенергію в вигляді постійного струму DC. В подальшому цей струм надходить до гібридного інвертора, який перетворює його у змінний струм для живлення електроприймачів. Якщо виробленої енергії достатньо, вона безпосередньо використовується споживачами, а надлишок спрямовується на заряд акумуляторних батарей. У разі повного заряду батарей надлишкова енергія може передаватися в зовнішню електричну мережу (за наявності відповідної схеми підключення та дозволів).

У вечірній та нічний час, коли сонячна генерація відсутня або недостатня, живлення споживачів здійснюється за рахунок енергії, накопиченої в акумуляторних батареях. Це дозволяє забезпечити автономність системи та зменшити залежність від зовнішньої мережі.

У випадку, коли рівень заряду акумуляторів знижується до критичного значення або виникає недостатність генерації, система автоматично підключається до зовнішньої електричної мережі, яка виконує функцію резервного джерела живлення.

Отже, гібридна СЕС працює як інтелектуальна система керування енергопотоками, що забезпечує пріоритет використання відновлюваної енергії, накопичення надлишків та безперервність електропостачання споживачів незалежно від погодних умов та часу доби.

1.2.4 Переваги використання гібридних СЕС

Гібридні сонячні електростанції мають низку переваг порівняно із автономними або мережевими системами, оскільки поєднують у собі можливості генерації, накопичення та резервного живлення.

Однією з головних переваг є забезпечення безперебійного електропостачання. Завдяки акумуляторним батареям система може працювати навіть в разі відсутності сонячної генерації або аварій у зовнішній мережі, що значно підвищує надійність електропостачання.

Важливою перевагою є ефективне використання сонячної енергії [21]. Всі надлишки електроенергії, які виробляються вдень, не втрачаються, а накопичуються в акумуляторах для подальшого використання у вечірній та нічний час. Це дозволяє максимально підвищити рівень самозабезпечення об'єкта.

Гібридні СЕС також забезпечують зменшення витрат на електричну енергію. За рахунок використання власної генерації знижується споживання електроенергії з мережі, а у окремих випадках можливий продаж надлишків у мережу, що додатково підвищує економічну ефективність системи.

Ще однією перевагою є енергетична незалежність. Споживач менше залежить від перебоїв у роботі централізованих електромереж, коливань тарифів та аварійних відключень.

Також варто відзначити гнучкість і масштабованість системи. Гібридну СЕС можна легко адаптувати під різні об'єкти — від приватних будинків до підприємств, збільшуючи потужність панелей або ємність акумуляторів у разі потреби.

Окремою перевагою є екологічність, оскільки система використовує відновлюване джерело енергії, що дозволяє зменшити викиди вуглекислого газу і знизити негативний вплив на довкілля.

На рисунку 1.12 показано переваги використання гібридних СЕС.

1.2.5 Недоліки використання гібридних СЕС

Попри значні переваги, гібридні сонячні електростанції мають та ряд недоліків, що необхідно враховувати при проектуванні і експлуатації системи.

Одним із основних недоліків є висока початкова вартість. Гібридна СЕС включає не лише сонячні панелі та інвертор, а й акумуляторні батареї, системи керування та додаткове обладнання, що суттєво збільшує загальні капітальні витрати порівняно з мережевими системами.

Іншим суттєвим недоліком є обмежений термін служби акумуляторів. Батареї поступово втрачають свою ємність у процесі циклів заряд-розряд, що потребує їх періодичної заміни. Це підвищує експлуатаційні витрати системи в довгостроковій перспективі.

Також слід враховувати складність конструкції та керування системою. Гібридна СЕС потребує більш складного налаштування, контролю енергетичних потоків та якісної системи автоматизації, що ускладнює обслуговування та підвищує вимоги до кваліфікації персоналу.

До недоліків можна віднести і втрати енергії під час перетворення та накопичення. Енергія проходить кілька етапів (панелі → інвертор → акумулятор → інвертор → споживач), що супроводжується певними втратами ефективності.

Ще одним фактором є залежність від стану акумуляторних систем. У разі виходу з ладу батарей значно знижується автономність системи, навіть якщо сонячні панелі працюють нормально.

Також важливим недоліком є потреба у додатковому просторі для розміщення акумуляторних батарей та обладнання, особливо при системах середньої та великої потужності.

Крім того, гібридні СЕС можуть мати довший термін окупності, оскільки значні початкові інвестиції повертаються поступово за рахунок економії на електроенергії.

На рисунку 1.13 показано недоліки використання гібридних СЕС.



Рисунок 1.12 - Переваги використання гібридних СЕС

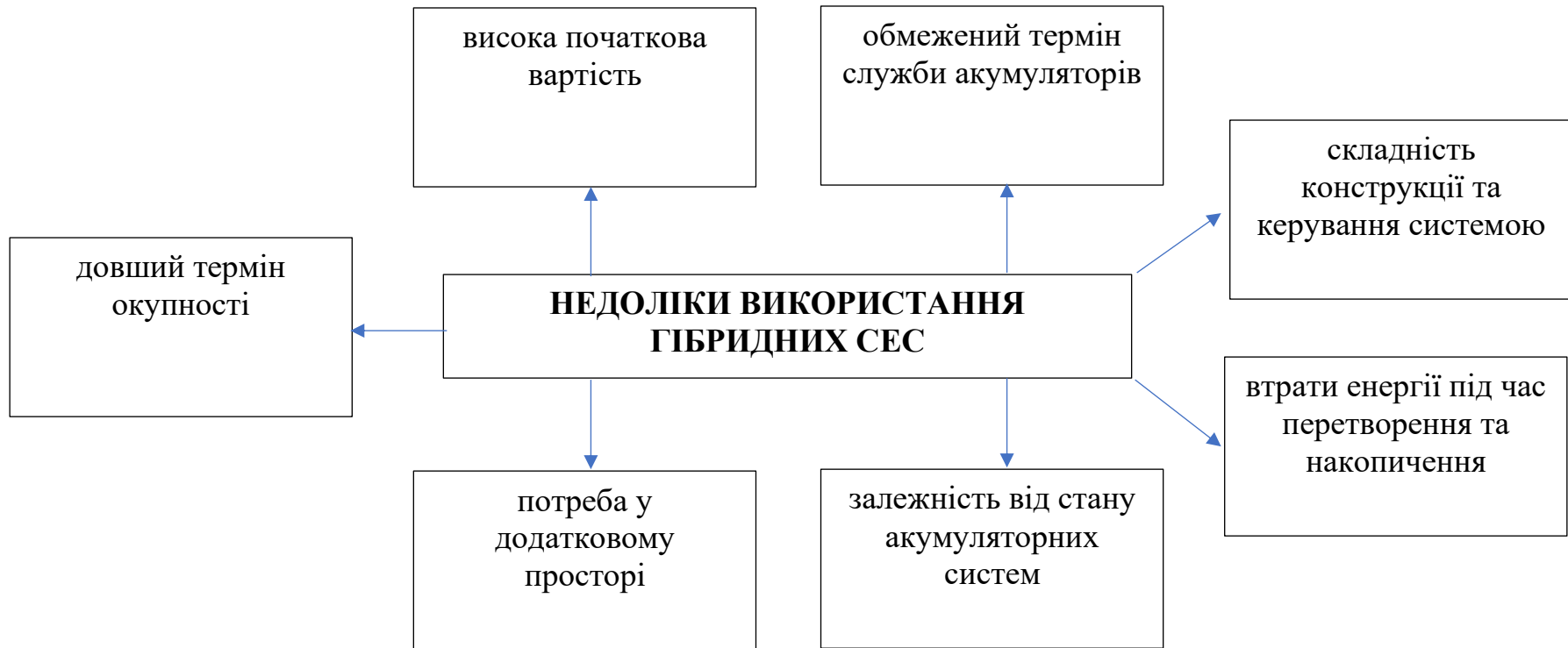


Рисунок 1.13 – Недоліки використання гібридних СЕС

1.3 Постановка завдань

1. Дослідити технічні характеристики гібридного інвертора, акумуляторних батарей, сонячних панелей та резервного генератора;
2. Налаштувати можливості дистанційного моніторингу та керування системою;
3. Провести експериментальні дослідження впливу затемнення на роботу сонячних панелей;
4. Запропонувати систему захисту інвертора від перенапруг, коротких замикань та перевантажень;
5. Проаналізувати вплив навантаження на роботу акумуляторних батарей та гібридної сонячної електростанції.

2 РОЗРАХУНОК РОЗДІЛ

В підпункті 1.2.2 розглянуто основні компоненти гібридної СЕС.

Розглянемо кожен компонент детально.

2.1 Гібридний інвертор Deye

Для проекту системи резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ на основі фотоелектричної електростанції використано однофазний гібридний інвертор Deye. Модель - SUN-8K-SG01LP1-EU.

Основні функції гібридного інвертора Deye:

- заряджання акумуляторних батарей;
- живлення навантаження від сонячної енергії;
- автоматичне перемикання між мережею, АКБ та сонячними панелями;
- резервне живлення при відключенні електроенергії;
- можливість роботи в on-grid та off-grid режимах.

На рисунку 2.1 показано загальний вигляд гібридного інвертора Deye, однофазного [10].



Рисунок 2.1 – Гібридний інвертор Deye однофазний.

Наведемо технічні характеристики гібридного інвертора. Дані представимо в таблицях.

В таблиці 2.1 представлено вхідні дані батареї.

Таблиця 2.1 - Дані батарей

Тип	свинцево-кислотний або літій-іонний
Максимальний струм розряду, А	190,0 А
Діапазон напруги батарей, В	40,0-60,0 В
Максимальний зарядний струм, А	190,0 А
Кількість вхідних батарей	1,0

В таблиці 2.2 представлено дані рядка PV

Таблиця 2.2 - Дані рядка PV

Максимальна PV потужність, Вт	10400,0 Вт
Номінальна напруга PV, В	370,0 В
Максимальна PV напруга, В	500,0 В
Максимальний вхідний робочий PV струм, А	26,0+26,0 А
Початкова напруга, В	125,0 В
Максимальний вхідний струм КЗ, А	34,0+34,0 А
Діапазон напруг МРРТ, В	150,0-425,0 В
Кількість трекерів МРР	2,0 / 2,0+2,0

В таблиці 2.3 представлено дані змінного струму.

Таблиця 2.3 - Дані змінного струму

Активна потужність, Вт, номінальна	8000,0 Вт
Діапазон регулювання для коефіцієнту потужності	0.8 веде до 0.8 відстає
Максимальна потужність, ВА, повна	8800,0 ВА
Номінальна напруга/діапазон, В	220,0/230,0 0.85Un-1.1Un В
Номінальний струм, А	36.4 / 34.8 А
Номінальна частота/діапазон, Гц	50,0/45,0-55,0, 60,0/55,0-65,0 Гц
Максимальний струм, А	40,0/38.3 А
Форма приєднання до мережі	L + N + PE
Максимальне безперервне проходження АСР, А	50,0 А
Загальний струм гармонійних спотворень THDi	<3,0%
Пікова потужність, Вт	2 рази від номінальної потужності, 10.0 с

В таблиці 2.4 представлено ефективність.

Таблиця 2.4 – Ефективність

Максимальна ефективність	97.6%
Ефективність МРРТ	>99,0%
Євро Ефективність	96.5%

В таблиці 2.5 представлено інтерфейс.

Таблиця 2.5 – Інтерфейс.

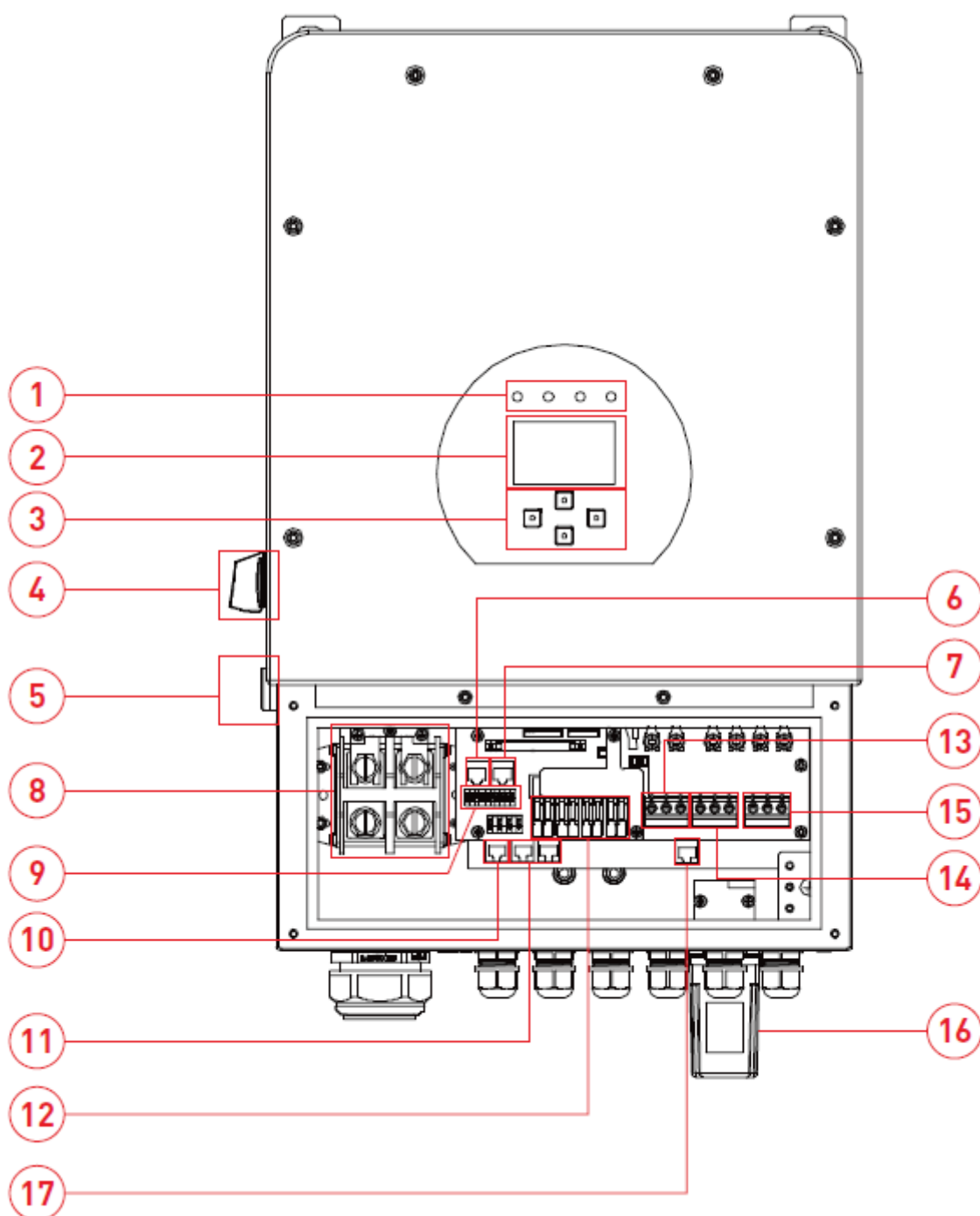
Режим монітора	GPRS/WIFI/Bluetooth/4G/LAN
Інтерфейс зв'язку	RS485/RS232/CAN

В таблиці 2.6 представлено інформаційні дані.

Таблиця 2.6 – Інформаційні дані.

Діапазон температур, °С	-40,0 до +60,0 °С, >45,0 °С
Розмір шафи (ШхВхГ, мм)	420,0×670,0×233,0
Допустима вологість	0,0-100,0%
Вага, кг	30
Допустима висота	2000 м
Тип охолодження	Інтелектуальне повітряне
Шум, дБ	<30,0 дБ
Гарантія	5,0 р./10,0 р.
Топологія інвертору	Неізолюваний
Категорія перенапруги	OVC III (AC), OVC II (DC)

На рисунку 2.2 показано огляд продукту.



1 - Індикатори інвертору; 2 - ЖК-дисплей; 3 - Функціональні кнопки; 4 - Перемикач постійного струму; 5 - Кнопка Ввімкнути/Вимкнути; 6 - RS 485-порт; 7 - CAN-порт; 8 - Вхідні роз'єми батареї; 9 - Функціональний порт; 10 - Meter CON-порт; 11 - Паралельний порт; 12 - PV вхід з двома MPPT; 13 – Мережа; 14 - Вхід генератора; 15 – Завантаження; 16 - Інтерфейс WiFi; 17 - DRM-порт.

Рисунок 2.2 – Огляд продукту.

На рисунку 2.3 представлено розміри продукту.

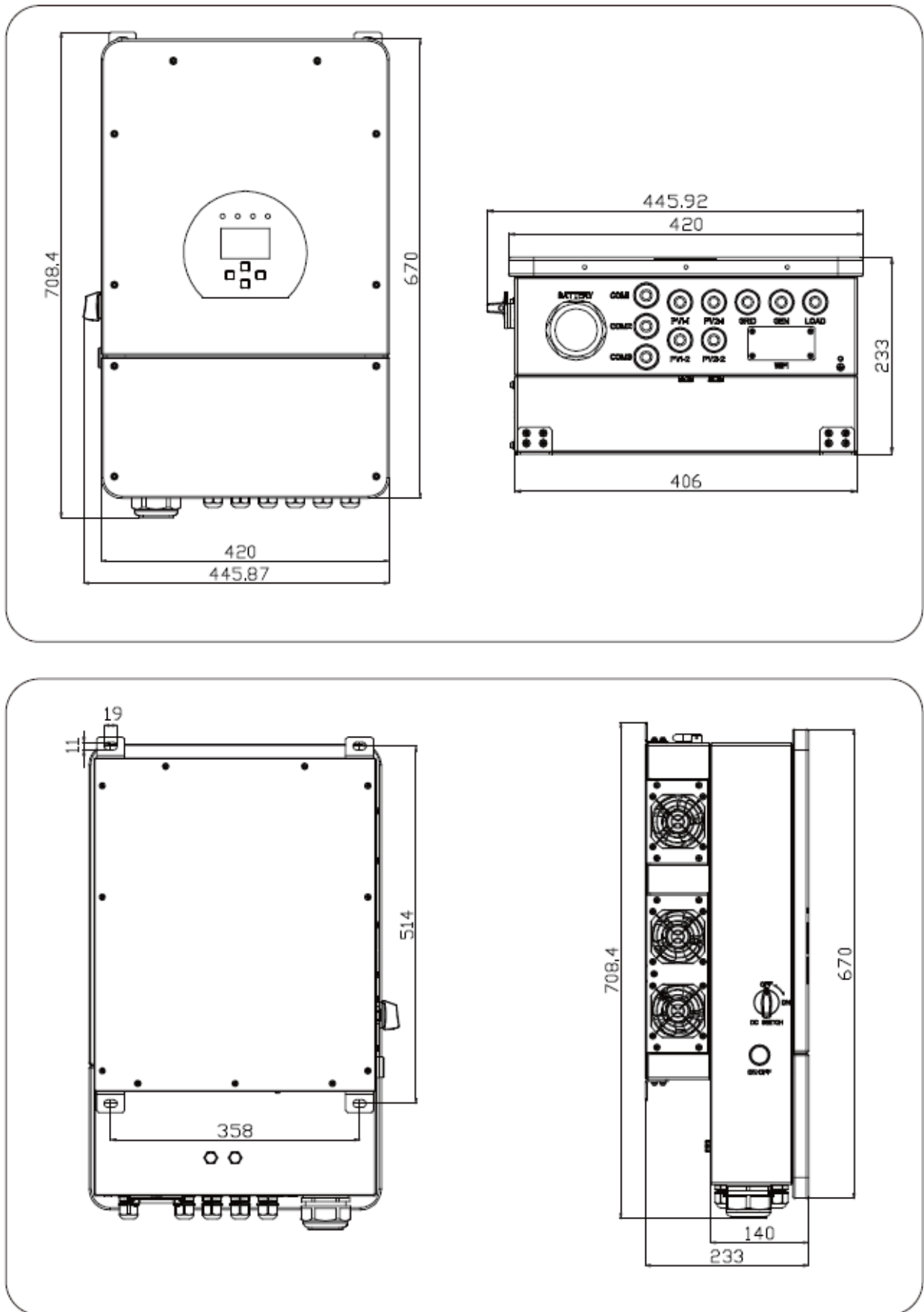


Рисунок 2.3 – Розміри продукту.

Характеристики продукту:

- Самоспоживання і подача у мережу;
- Підтримка моніторингу через Wi-Fi і вбудовані два рядки MPP-трекерів;
- Кілька програмованих режимів роботи: в мережі, поза мережею і резервне живлення;
- Інтелектуальне триступеневе заряджання МРРТ для оптимізації продуктивності;
- Налаштування струму (напруги) зарядки акумулятора на основі додатків з допомогою РК-дисплею;
- Функція Час використання;
- Налаштування пріоритету зарядного пристрою мережі (сонячної енергії / генератора), за допомогою РК-дисплею;
- Функція Smart Load;
- Сумісний із напругою у мережі чи генератором;
- Захист від перевантаження (перегріву / КЗ).

На рисунку 2.4 представлено базове застосування інвертора.

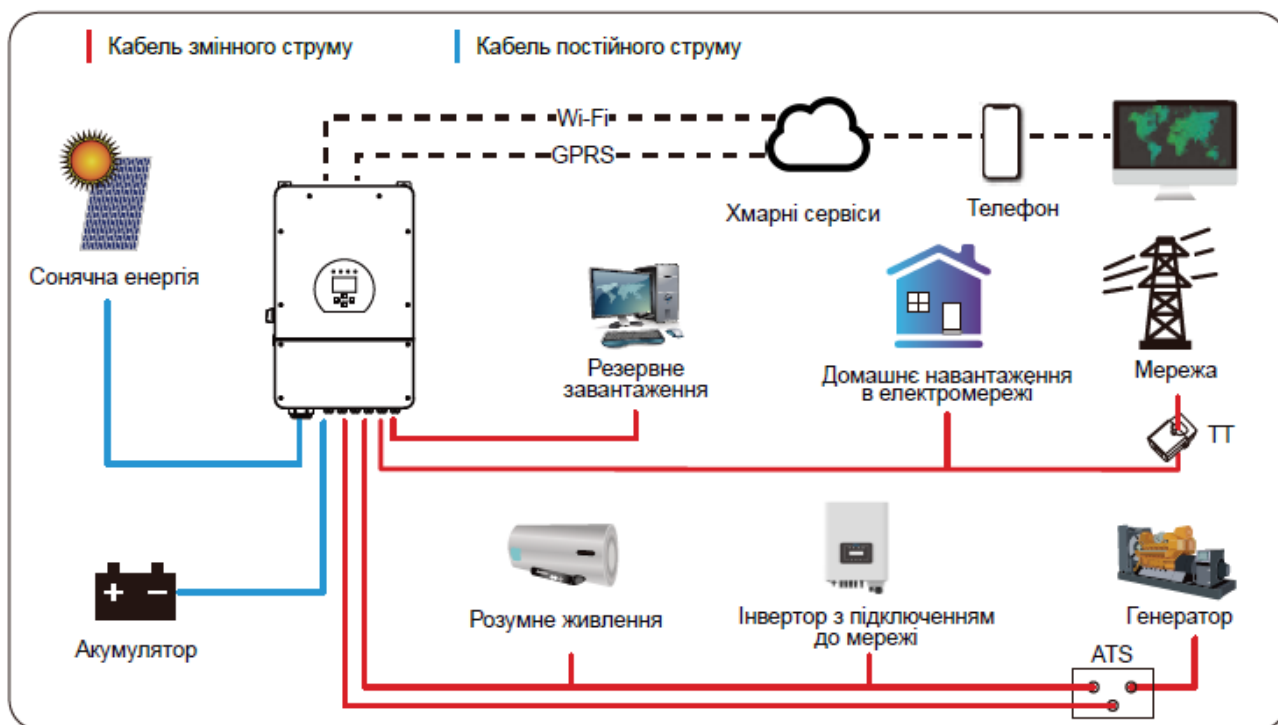


Рисунок 2.4 - Базове застосування інвертора.

2.2 Акумуляторна батарея

Модель: SE-G5.1 Pro-B.

На рисунку 2.5 показано акумуляторну батарею Deye.



Рисунок 2.5 – Батарея Deye.

Акумулятори характеризують:

Безпека. Безкобальтова літій-залізо-фосфатна батарея являється безпечною та довговічною, має високу ефективність та високу щільність потужності. Має BMS, який забезпечує повний захист;

Зручність. Автоматичне підключення до мережі, просте обслуговування, автоматична IP-адресація, підтримка USB-накопичувача для оновлення прошивки, віддалений моніторинг і оновлення;

Надійність. Підтримує високу потужність розряду. Природне охолодження, IP20, широкий діапазон температур: від $-20,0^{\circ}\text{C}$ до $55,0^{\circ}\text{C}$;

Екологічність. Використовує матеріали, які захищають навколишнє середовище, весь модуль є нетоксичним, без шкідливих речовин;

Гнучкість. Модульна конструкція, легко розширюється, максимально 64 одиниці паралельно, максимальна потужність 327,0 кВт·год. Підходить для житлових та комерційних застосувань для збільшення коефіцієнту власного споживання.

В таблиці 2.7 представлено основні параметри.

Таблиця 2.7 – Основні параметри.

Склад акумуляторів хімічний	LiFePO ₄
Напруга, В, робоча	43.2 ≈ 57.6 В
Ємність, А·год	100,0 А·год
Електронергія, кВт·год	5.12 кВт·год
Енергія, кВт·год, корисна	4.6 кВт·год
Напруга, В, номінальна	51.2 В
Струм заряду / розряду, А, Рекомендований	50,0 А
Струм заряду / розряду, А, Максимальний	100,0 А
Струм заряду / розряду, А, Піковий (2 хв., 25,0°C)	150,0 А

На рисунку 2.6 показано приклади встановлення.



а)



б)



в)

Рисунок 2.6 – Приклади встановлення

а) встановлення на підлогу; б) встановлення на стіну; в) встановлення на стійку.

На рисунку 2.7 показано функції передньої панелі.

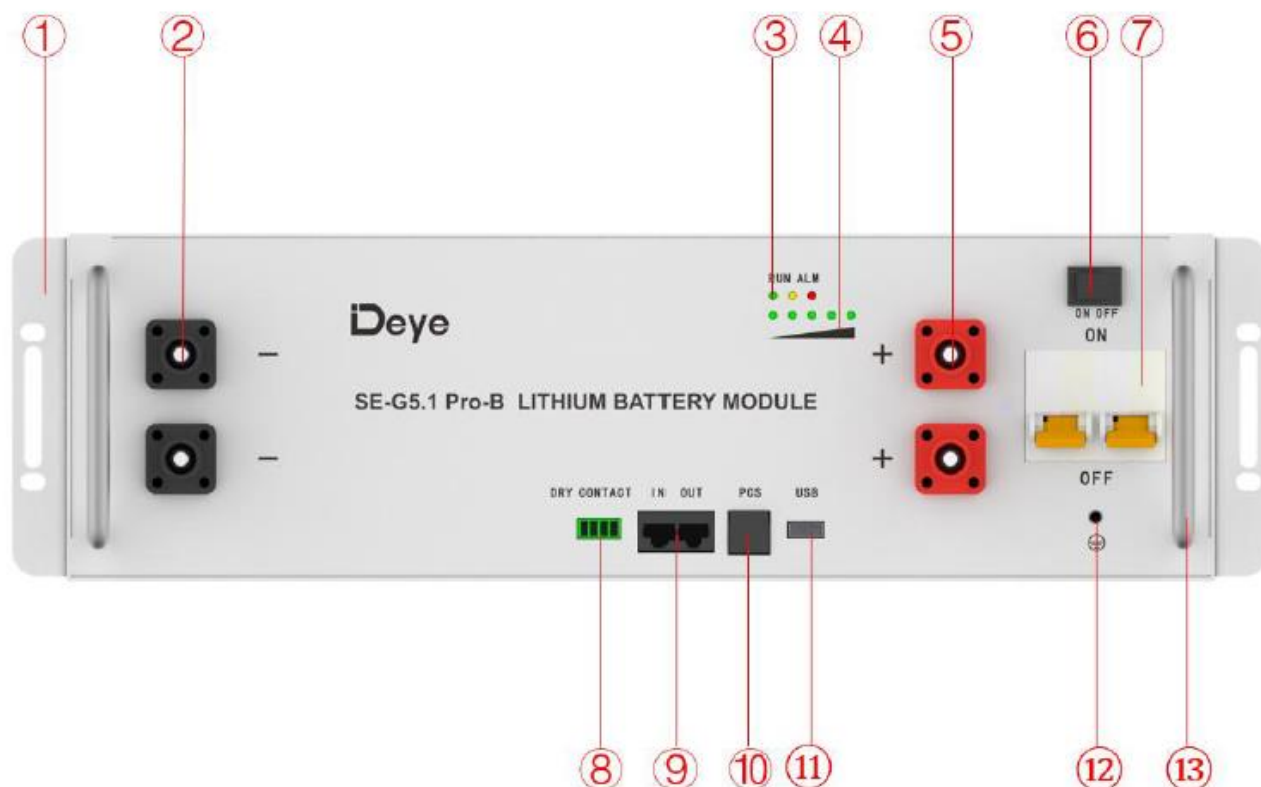


Рисунок 2.7 – Функції передньої панелі

1 - Використовується для кріплення до корпусу; 2 - Негативна вихідна клемма; 3 - Індикатор роботи; 4 – SOC; 5 - Позитивна вихідна клемма; 6 - Кнопка живлення; 7 - Маленький автоматичний вимикач; 8 - Вихід сухого контакту; 9 – IN, OUT; 10 – PCS; 11 – USB; 12 - Болт заземлення; 13 – Ручка.

На рисунку 2.8 показано вимоги до розмірів.

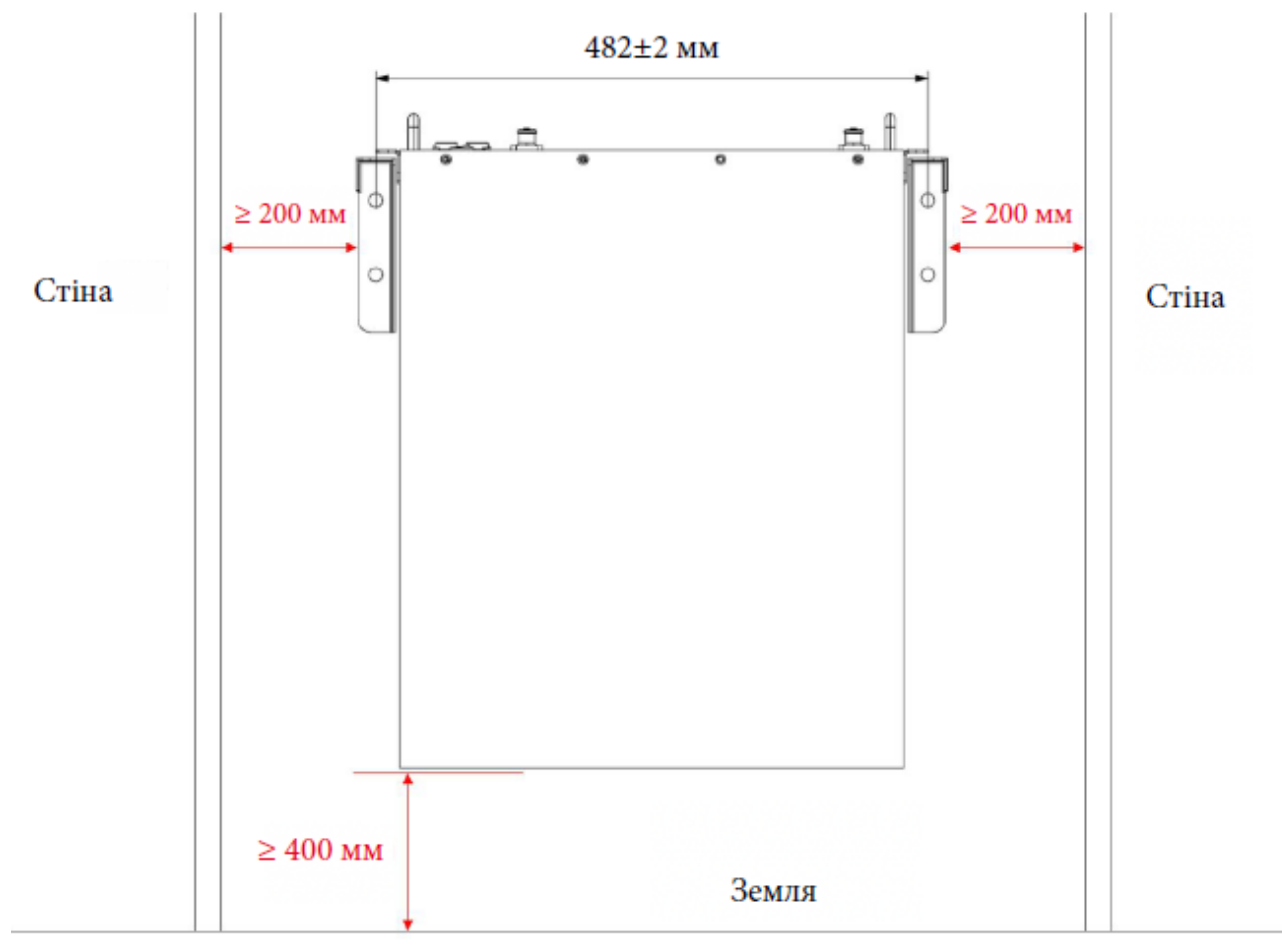


Рисунок 2.8 – Вимоги до розмірів.

Паралельне з'єднання кабелів декількох кабелів.

Паралельний режим 1 показано на рисунку 2.9.

Паралельний режим 2 показано на рисунку 2.10-2.11.

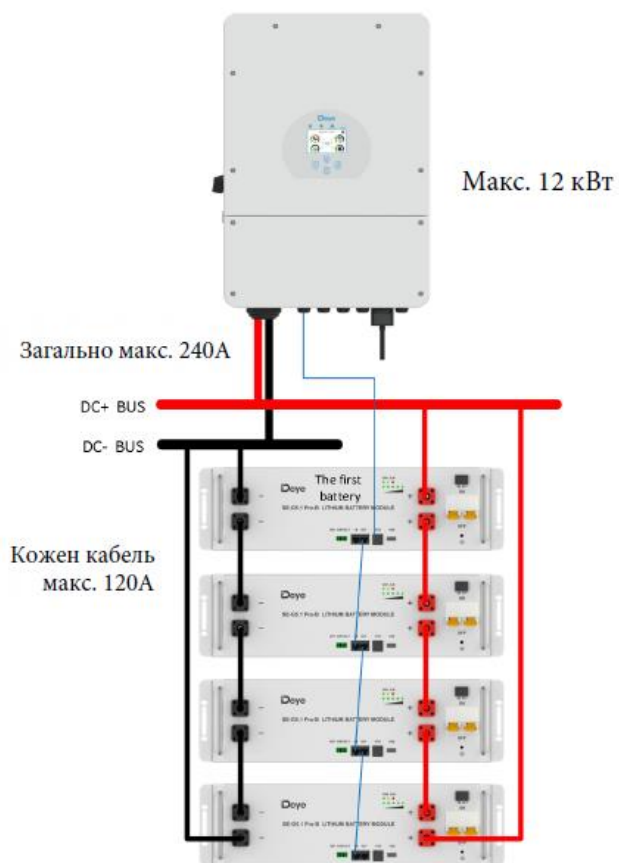


Рисунок 2.9 - Паралельний режим 1

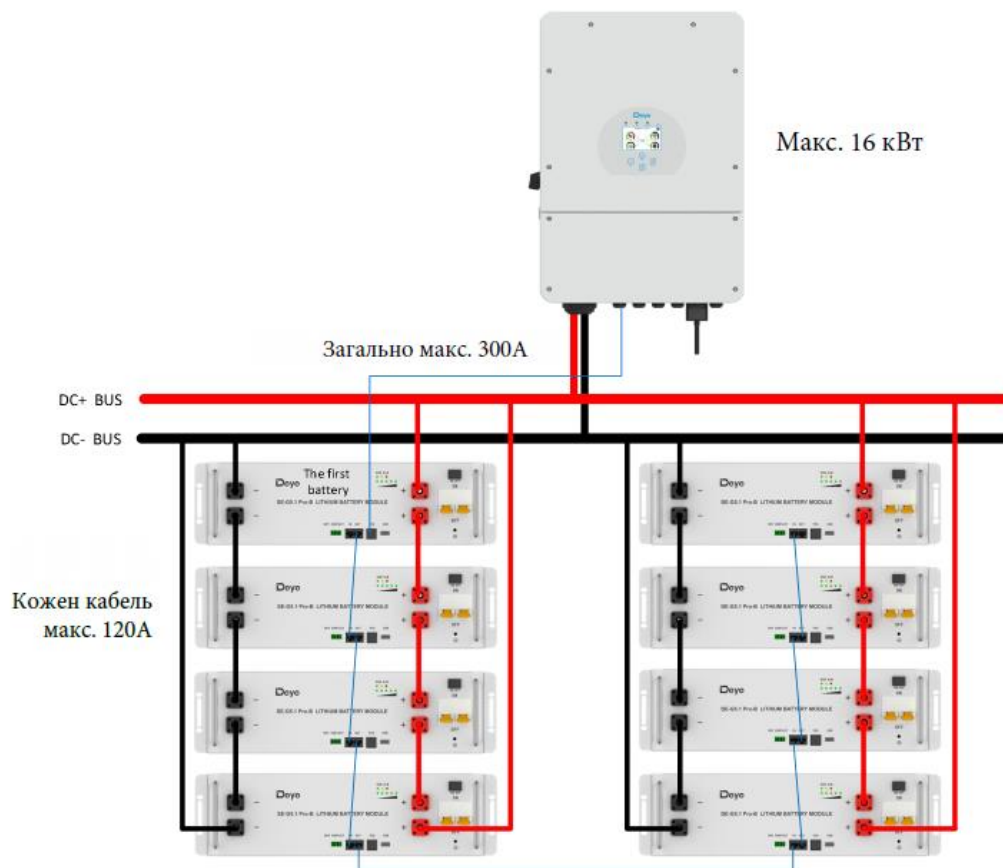


Рисунок 2.10 - Паралельний режим 2



Рисунок 2.11 - Паралельний режим 2. Система більшої потужності.

2.3 Сонячна панель АІКО

Сонячні панелі АІКО — це сучасні високоефективні фотоелектричні модулі, які використовують технологію ABC (All Back Contact) та N-type елементи. Компанія АІКО Solar є одним із лідерів у виробництві високоефективних сонячних модулів для приватних і комерційних СЕС.

Основні переваги панелей АІКО:

- високий ККД — до 24–25%;
- краща робота при частковому затіненні;
- низький температурний коефіцієнт;
- менша деградація з часом;
- сучасний Full Black дизайн;
- тривалий термін служби та гарантія до 30 років.

На рисунку 2.12 показано загальний вигляд сонячної панелі.

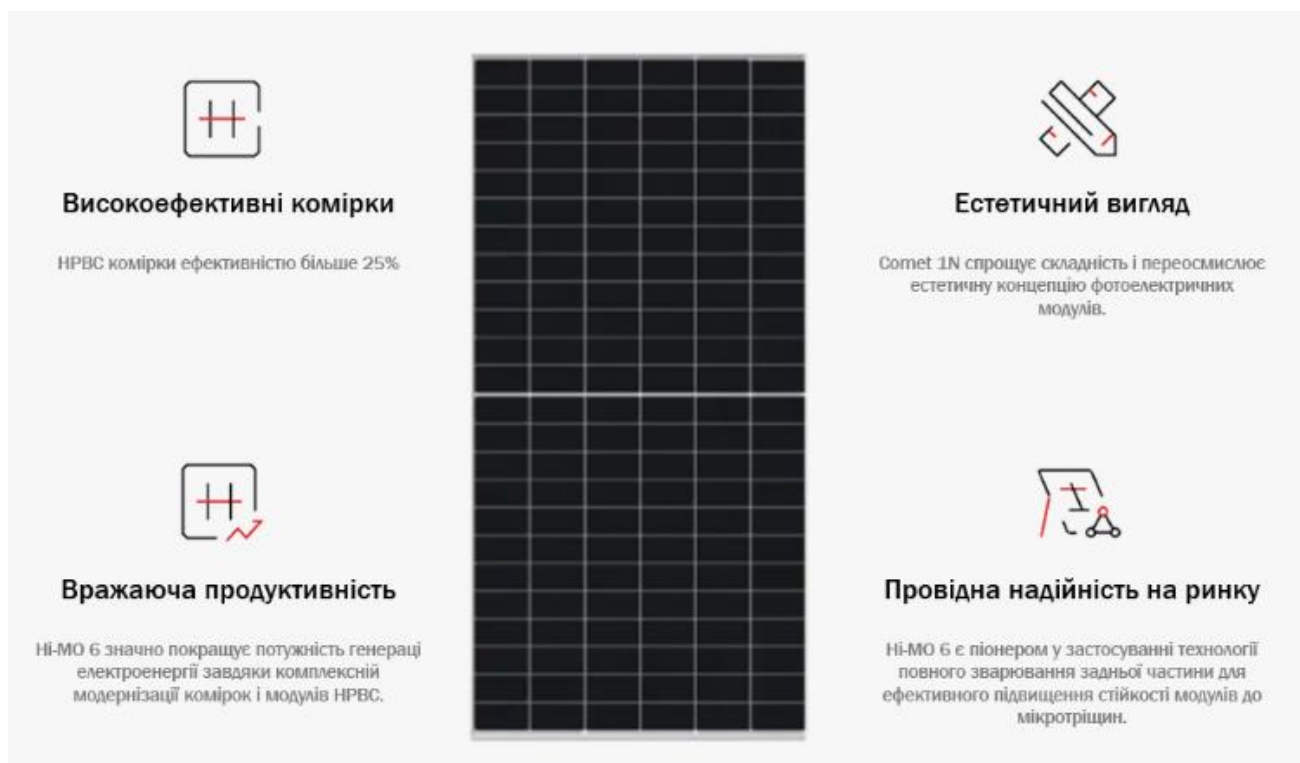


Рисунок 2.12 – Загальний вигляд сонячної панелі.

Такі панелі добре підходять для:

- домашніх сонячних електростанцій;
- резервного живлення;
- роботи з гібридними інверторами, зокрема Deue;
- дахів з обмеженою площею.

Панелі серій COMET та Neostar використовуються для:

- великих дахових СЕС;
- бізнес-об'єктів;
- комерційних електростанцій;
- систем із високою генерацією енергії.

В таблиці 2.8 показано порівняння популярних моделей.

Таблиця 2.8 – Порівняння популярних моделей

	AIKO A440- MAN54Mь 440W	AIKO Neostar 2S 510W	AIKO COMET 1N 600W	AIKO 610W N-Type
Потужність	440 Вт	510 Вт	600 Вт	610 Вт
Тип комірок	N-Type ABC	N-Type ABC	TOPCon / ABC	N-Type ABC
ККД	до 23%	до 23,5%	до 24%	до 24%
Призначення	будинок	будинок/бізнес	комерційна СЕС	велика СЕС
Дизайн	Full Black	Full Black	срібляста рама	Моно
Гарантія	до 30 років	до 30 років	до 30 років	до 30 років

Технологія ABC дозволяє розмістити всі контакти на задній частині елементів, що зменшує втрати та підвищує ефективність панелі. Це особливо помітно при частковому затіненні та високих температурах.

Користувачі часто відзначають:

- високу реальну генерацію;
- хорошу продуктивність при затіненні;
- сучасну технологію порівняно з класичними TOPCon або PERC панелями.

Для систем із гібридними інверторами Deue панелі AIKO є хорошим вибором завдяки високому ККД та стабільній роботі з акумуляторними системами.

На рисунку 2.13 показано гарантовану продуктивність модуля [11].

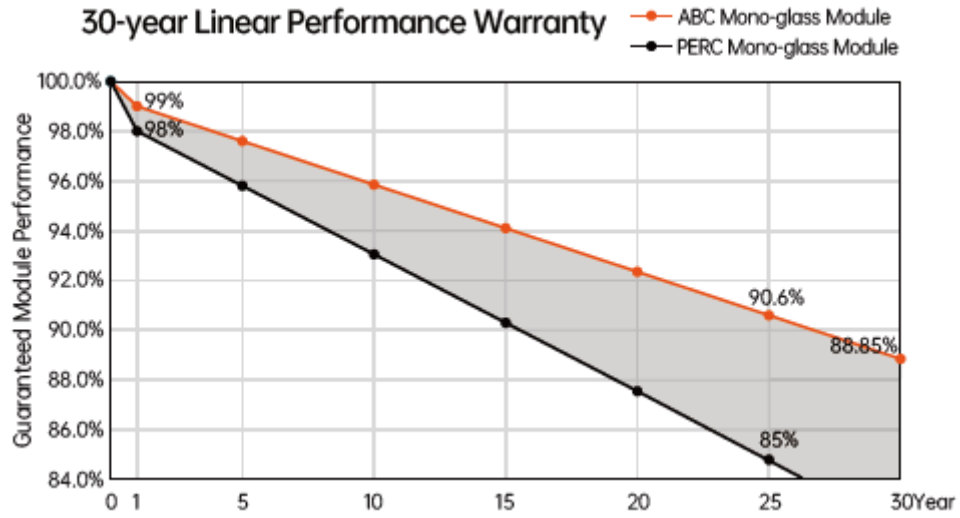


Рисунок 2.13 – Гарантована продуктивність модуля

На рисунку 2.14 показано габарити батареї [11].

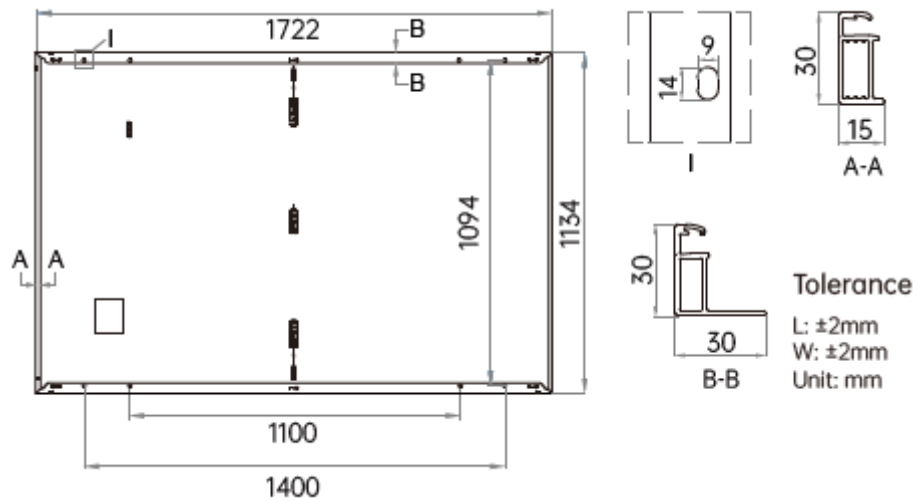


Рисунок 2.14 – Габарити батарей

В таблиці 2.9 подано електричні характеристики

Таблиця 2.9 – Електричні характеристики

Модель	АІКО-А430-МАН54Мб		АІКО-А435-МАН54Мб		АІКО-А440-МАН54Мб	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Умови тестування						
P _{max} , Вт	430	324	435	327	440	331
V _{oc} , В	40.29	38.05	40.39	38.14	40.49	38.24
V _{mp} , В	33.30	31.45	33.40	31.55	33.50	31.64
I _{sc} , А	13.69	11.07	13.80	11.16	13.91	11.25
I _{mp} , А	12.92	10.31	13.03	10.40	13.14	10.49
Ефективність модуля	22.0%		22.3%		22.5%	

Продовження таблиці 2.9

Модель	АІКО-А445-МАН54Мб		АІКО-А450-МАН54Мб	
	STC	NOCT	STC	NOCT
Умови тестування				
P _{max} , Вт	445	335	450	339
V _{oc} , В	40.59	38.33	40.69	38.43
V _{mp} , В	33.60	31.73	33.70	31.83
I _{sc} , А	14.02	11.33	14.12	11.42
I _{mp} , А	13.25	10.57	13.36	10.66
Ефективність модуля	22.8%		23.0%	

2.4 Інверторний генератор Konner&Sohnen

Інверторний генератор Konner&Sohnen KS 4000iE S — це сучасне резервне джерело електроживлення, призначене для забезпечення електричною енергією житлових будинків, квартир, офісів та невеликих комерційних об'єктів під час аварійного або планового відключення електропостачання. Дана модель працює на бензині і використовує інверторну технологію, що дозволяє отримувати стабільну напругу з правильною синусоїдою, необхідною для живлення чутливої електроніки, комп'ютерної техніки, котлів опалення, холодильників, телевізорів та гібридних інверторів сонячних електростанцій.

На рисунку 2.15 показано загальний вигляд генератора.



Рисунок 2.15 – Загальний вигляд генератора.

Генератор має номінальну потужність 4 кВт та максимальну потужність до 4,4 кВт. Цього достатньо для резервного живлення побутових приладів в будинку або квартирі. Завдяки інверторній системі керування двигун автоматично регулює оберти залежно від навантаження, що знижує витрати пального, рівень шуму та підвищує ефективність роботи установки.

Модель оснащена електричним та ручним запуском, що забезпечує зручність експлуатації. Також генератор підтримує підключення системи АВР (ATS), завдяки чому запуск може відбуватися автоматично при зникненні напруги в мережі. Це особливо важливо для систем резервного електричного живлення будинку або об'єктів, де необхідна безперервна подача електроенергії.

Генератор виконаний у шумозахисному корпусі, який значно зменшує рівень шуму під час роботи порівняно зі звичайними відкритими бензиновими генераторами. Крім того, компактні габарити та наявність транспортувальних елементів полегшують його переміщення та встановлення.

Однією з важливих переваг цієї моделі є можливість використання разом із гібридними інверторами Deue та акумуляторними системами накопичення енергії. Генератор може працювати як резервне джерело для заряджання акумуляторів та підтримки роботи системи електропостачання під час тривалих відключень електроенергії.

До основних переваг генератора належать:

- стабільна чиста синусоїда;
- економна витрата пального;
- знижений рівень шуму;
- підтримка ATS;
- безпечна робота з чутливою електронікою;
- можливість паралельного підключення.

Недоліками є вища вартість у порівнянні зі звичайними генераторами та необхідність регулярного технічного обслуговування бензинового двигуна.

На рисунку 2.16 показано загальний вигляд генератора з позначеннями.

МОДЕЛІ KS 4000iE S, KS 4000iEG S, KS 4000iE S ATS

1. Кришка паливного баку
2. Транспортувальна ручка
3. Панель керування
4. Ручний стартер-ручка
5. Транспортувальні колеса
6. Кришка технічного обслуговування
7. Вмикач двигуна (багатофункційний вмикач двигуна для моделі KS 4000iEG S)

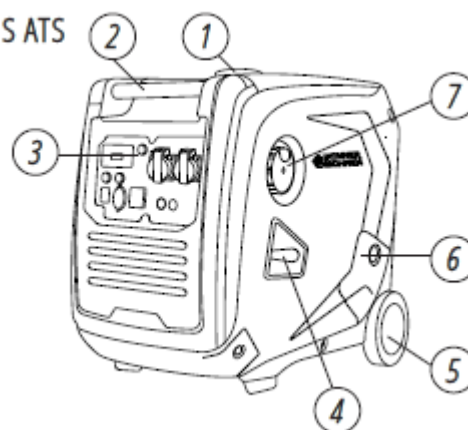


Рисунок 2.16 – Загальний вигляд генератора з позначеннями.

В таблиці 2.10 наведено технічні характеристики генератора.

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики генератора.

Модель	KS 4000iE S	KS 4000iEG S	KS 4000iE S ATS
Напруга, В	230		
Максимальна потужність, кВт	4.0	4.0*	4.0
Номинальна потужність, кВт	3.5	3.5*	3.5
Частота, Гц	50		
Сила струму, А (max)	17.4	17.4	17.4
Розетки	2*16А	2*16А	2*16А
Тип запуску	ручний/електро	ручний/електро	ручний/електро/авто
Об'єм паливного баку, л	12	12	12
Час роботи при навантаженні 50%** год	7.8	7.8	7.8
LED-дисплей	багатофункційний***	лічильник мотогодин, частота, вольтаж	
Рівень шуму Lpa(7м)/Lwa, дБ	66/91	66/91	66/91
Вихід 12В, А	12В/8.3А	12В/8.3А	-
USB-Вихід	-	5В/1А, 5В/2.1А	-
Модель двигуна	KS 240i	KS 240i	KS 240i
Об'єм двигуна, см ³	223	223	223
Тип двигуна	бензиновий 4-тактний	газ/бензин 4-тактний	бензиновий 4-тактний
Потужність двигуна, к. с.	7.5	7.5	7.5
Можливість паралельного підключення генераторів	+	+	-
Об'єм картера, л	0.6	0.6	0.6
Коефіцієнт потужності, cosφ	1	1	1
Вихід АВР	+	-	вбудована АВР
Розміри (ДхВхШ), мм	630x475x570	775x475x570	630x475x570
Акумулятор літій-іонний, А·год	1.6	1.6	1.6
Вага нетто, кг	40	40	40
Клас захисту	IP23M		
Допустиме відхилення від номінальної напруги – не більше ніж 5%			

2.5 Висновки до Розділу 2

Виконано аналіз та розгляд основних компонентів гібридної сонячної електростанції для системи резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ. Проведено дослідження технічних характеристик гібридного інвертора Deye SUN-8K-SG01LP1-EU, акумуляторної батареї Deye SE-G5.1 Pro-B, сонячних панелей АІКО та інверторного генератора Konner&Sohnen KS 4000iE S. Встановлено, що обране обладнання забезпечує ефективну, стабільну та безпечну роботу системи резервного електроживлення в різних режимах роботи. Гібридний інвертор забезпечує автоматичне керування потоками енергії між мережею, сонячними панелями та акумуляторною батареєю, а літій-залізо-фосфатний акумулятор дозволяє накопичувати електроенергію з високим рівнем безпеки та довговічності. Сонячні панелі АІКО характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії та низькою деградацією, що підвищує ефективність фотоелектричної системи. Використання інверторного генератора забезпечує додаткове резервне джерело живлення під час тривалих аварійних відключень електроенергії. Отже, вибрані компоненти є технічно сумісними між собою та придатними для побудови сучасної гібридної системи електроживлення.

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Загальний вигляд системи резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ

Загальний вигляд системи резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ на основі фотоелектричної електростанції показано на рисунку 3.1



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд системи резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ на основі фотоелектричної електростанції.

Гібридна сонячна електростанція складається з гібридного інвертора на 8 кВт, 10 сонячних панелей по 440 Вт, загальною потужністю 4400 Вт, двох акумуляторів, загальною ємністю 10200 Вт·год.

3.2 Сонячні панелі

Загальний вигляд змонтованих сонячних панелей зображено на рисунку 3.2



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд змонтованих сонячних панелей.

В якості панелей, використані панелі АІКО А440-МАН54Мб 440W, описані в другому розділі.

3.3 Дистанційний доступ до системи резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ.

Доступ до системи резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ можна налаштувати через мережу Інтернет за покликанням <https://www.deyecloud.com/business/maintain/plant> або за допомогою мобільного додатку Deye Cloud.

На рисунку 3.3 показано доступ за допомогою покликання <https://www.deyecloud.com/business/maintain/plant>.

На рисунку 3.4 показано доступ за допомогою мобільного додатку Deye Cloud.

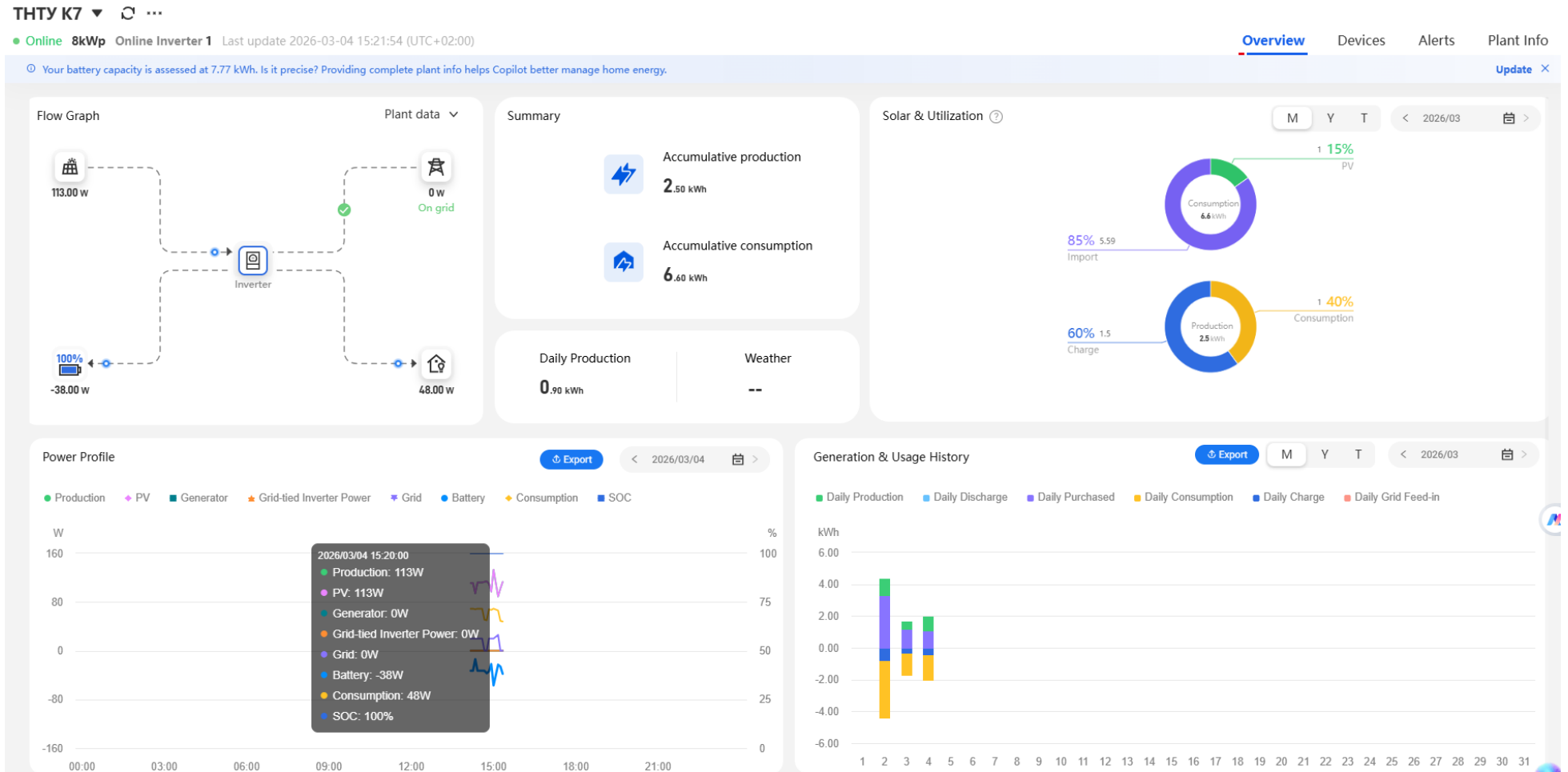


Рисунок 3.3 - Доступ за допомогою покликання

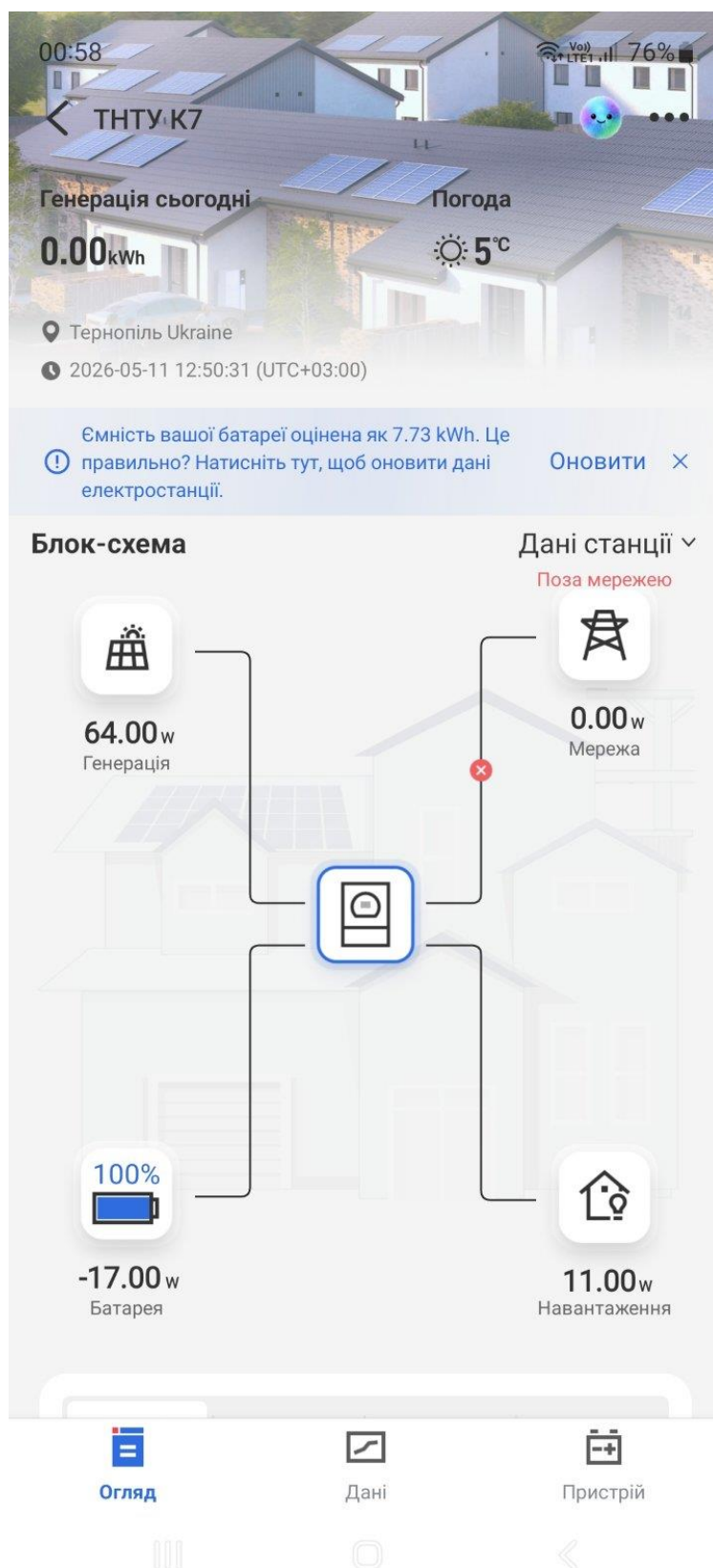


Рисунок 3.4 - Доступ за допомогою мобільного додатку Deye Cloud.

Потрібно відмітити, що для того, щоб дані з Інвертора передавалися в мережу Інтернет повинен бути включений роутер на кафедрі ЕІ.

3.4 Прилади для дослідження

3.4.1 Цифровий тестер потужності фотоелектричних модулів UNI-T UT673PV

Цифровий тестер потужності фотоелектричних модулів UNI-T UT673PV призначений для швидкої перевірки та діагностики сонячних панелей безпосередньо під час монтажу або експлуатації фотоелектричних систем. Прилад використовується для вимірювання основних електричних параметрів фотомодулів, зокрема напруги холостого ходу, струму короткого замикання, робочої напруги, струму та максимальної вихідної потужності панелі.

Особливістю даного тестера є можливість автоматичного визначення точки максимальної потужності MPPT, що дозволяє оцінити реальну ефективність роботи сонячного модуля в поточних умовах освітлення та температури. Отримані результати допомагають виявити деградацію фотомодулів, пошкодження елементів, неправильне підключення або зниження продуктивності системи.

Прилад підтримує роботу із сонячними панелями потужністю до 800 Вт та забезпечує вимірювання в діапазоні напруг до 60 В і струму до 35 А. Живлення тестера здійснюється безпосередньо від сонячної панелі, тому він не потребує окремих батарей або акумуляторів. Підключення виконується через стандартні конектори MC4, що значно спрощує проведення вимірювань у польових умовах.

Тестер має компактні розміри, невелику масу та зручний LCD-дисплей, на якому одночасно відображаються основні параметри роботи фотомодуля. Пристрій оснащений системами захисту від перенапруги, переполюсовки, перевантаження та перегріву, що підвищує безпеку експлуатації.

Цифровий тестер UNI-T UT673PV широко застосовується під час монтажу, налагодження та технічного обслуговування автономних, мережевих і гібридних

сонячних електростанцій. Він дає змогу оперативно оцінити технічний стан фотоелектричних модулів та забезпечити ефективну роботу сонячної енергосистеми.

Загальний вигляд тестеру показано на рисунку 3.5.

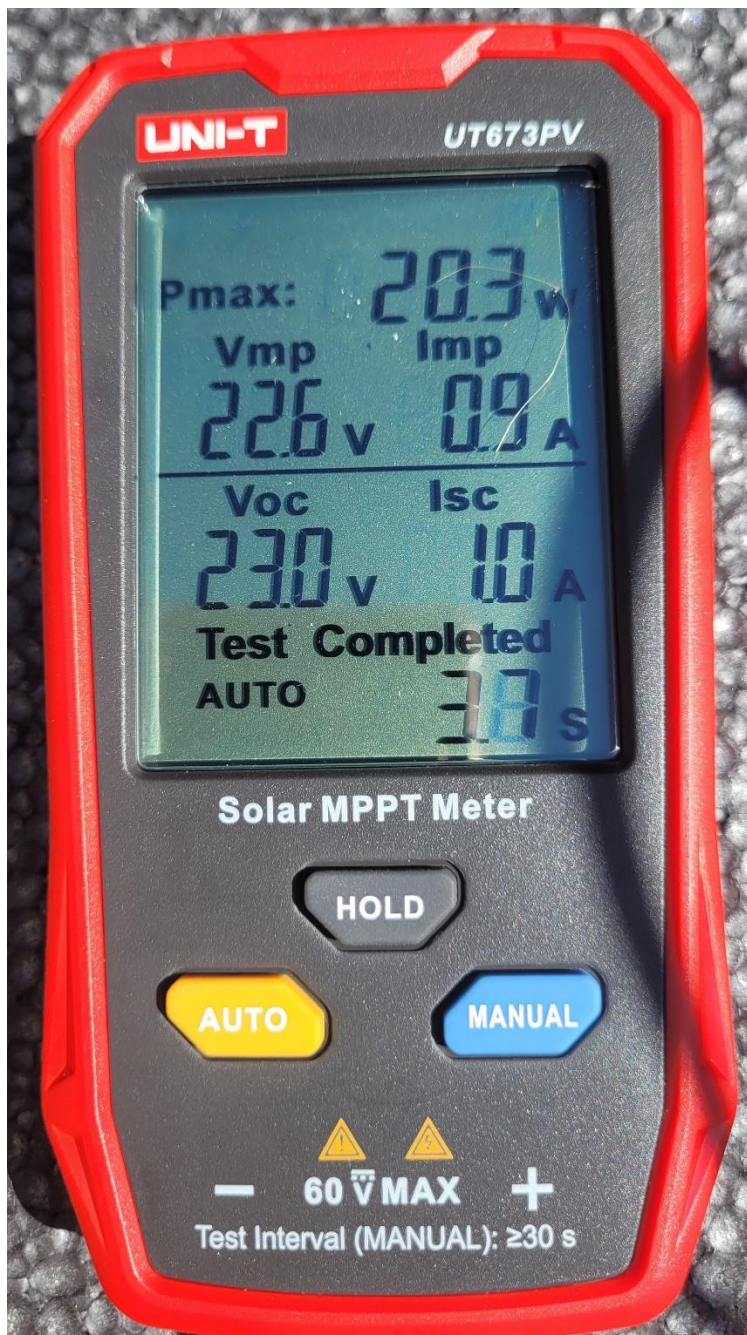


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд тестеру UNI-T UT673PV

3.4.2 Сонячний вимірювач потужності Vici LX107

Сонячний вимірювач потужності Vici LX107 — це портативний цифровий прилад, призначений для вимірювання інтенсивності сонячного випромінювання. Його використовують під час монтажу та обслуговування сонячних електростанцій для оцінки рівня інсоляції, перевірки умов роботи фотомодулів та визначення ефективності розташування сонячних панелей. Прилад дозволяє швидко визначити кількість сонячної енергії, яка потрапляє на поверхню, у одиницях Вт/м².

Vici LX107 оснащений рідкокристалічним дисплеєм та забезпечує вимірювання сонячної радіації в діапазоні до 1999 Вт/м². Прилад має компактні розміри, простий інтерфейс та зручний для використання в польових умовах. Основними функціями є фіксація максимального значення, утримання результатів вимірювання на дисплеї та автоматичне вимкнення електроживлення для економії заряду батареї.

Цей вимірювач застосовується для оцінки ефективності роботи сонячних панелей, вибору оптимального кута нахилу фотомодулів та аналізу впливу погодних умов на продуктивність сонячної електростанції. Також його використовують для перевірки прозорості скла, сонцезахисних покриттів та інших матеріалів, що впливають на проходження сонячного випромінювання.

Перевагами Vici LX107 є простота експлуатації, невелика вага, доступна вартість та можливість швидкого проведення вимірювань без складного налаштування. Прилад є корисним інструментом для монтажників, сервісних інженерів та фахівців у сфері сонячної енергетики.

Недоліком пристрою є те, що він не вимірює електричні параметри сонячних панелей, такі як напруга, струм або максимальна потужність фотомодуля. Тому Vici LX107 використовується переважно для оцінки рівня сонячного випромінювання, а для повної діагностики фотоелектричних модулів необхідно застосовувати спеціалізовані PV-тестери.

На рисунку 3.6 показано загальний вигляд вимірювача потужності Vici LX107.

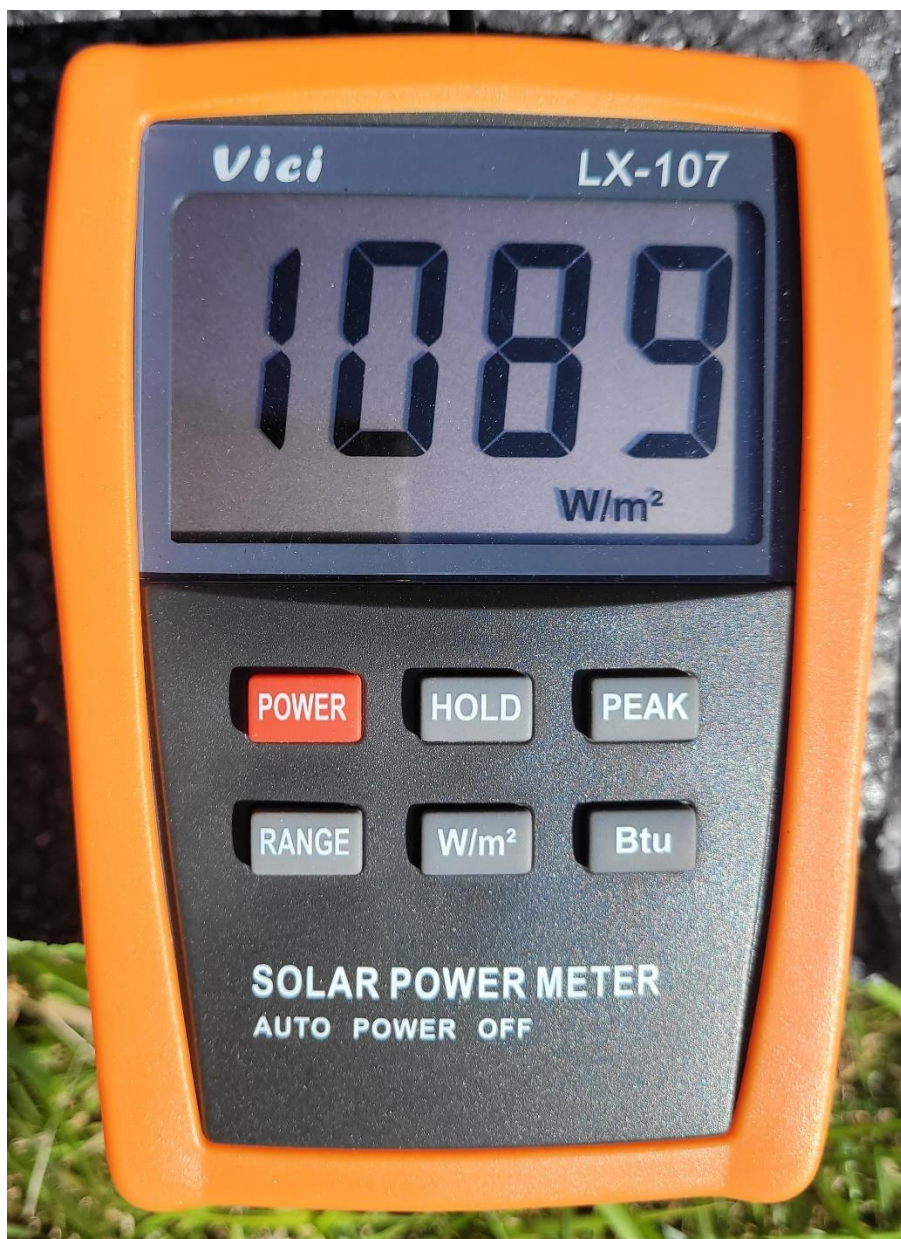


Рисунок 3.6 - Загальний вигляд вимірювача потужності Vici LX107.

3.4.3 Тестер сонячних панелей ELEJOY PMA1800

Тестер сонячних панелей ELEJOY PMA1800 — це портативний цифровий прилад, призначений для вимірювання електричних параметрів фотоелектричних модулів та оцінки їхньої фактичної потужності. Прилад використовується під час монтажу, обслуговування та діагностики сонячних електростанцій, а також для перевірки окремих сонячних панелей у побутових і професійних умовах. Основною особливістю тестера є можливість автоматичного визначення точки максимальної потужності (MPPT), що дає змогу швидко оцінити ефективність роботи фотоелектричного модуля.

ELEJOY PMA1800 підтримує тестування сонячних панелей потужністю до 1800 Вт, працює в діапазоні напруг приблизно від 20 до 120 В та дозволяє вимірювати струм до 60 А. Пристрій оснащений цифровим LCD-дисплеєм, на якому відображаються основні параметри роботи панелі. Живлення тестера здійснюється безпосередньо від сонячного модуля, тому він не потребує окремого джерела енергії або акумуляторів.

Отримані результати дозволяють оцінити технічний стан фотоелектричного модуля, виявити деградацію елементів, вплив затінення, забруднення поверхні або неправильне підключення.

Принцип роботи ELEJOY PMA1800 базується на аналізі вольт-амперної характеристики сонячної панелі. Під час тестування прилад автоматично змінює навантаження та визначає режим, у якому панель виробляє максимальну потужність. Це дозволяє отримати більш точні результати порівняно зі звичайним вимірюванням напруги або струму мультиметром.

Основними перевагами тестера є компактність, простота використання, швидке проведення вимірювань і можливість роботи без додаткового живлення. Прилад значно спрощує перевірку сонячних модулів у польових умовах та дозволяє оперативно оцінити продуктивність фотоелектричних систем. Також тестер має вбудований захист від перевищення напруги, струму та перегріву, що підвищує безпеку його експлуатації.

До недоліків можна віднести обмежений діапазон напруги, залежність результатів вимірювання від рівня сонячного випромінювання і температури навколишнього середовища, а також нижчу точність в порівнянні із професійними лабораторними аналізаторами вольт-амперних характеристик. Незважаючи на це, ELEJOY PMA1800 є ефективним і доступним засобом для контролю стану та оцінки роботи сонячних панелей в побутових і невеликих комерційних фотоелектричних системах.

На рисунку 3.7 показано загальний вигляд тестеру.



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд тестеру сонячних панелей ELEJOY PMA1800

3.5 Сонячні панелі для дослідження.

3.5.1 Risen RSM40-8-400MB

Сонячна панель Risen Energy RSM40-8-400MB 400W Full Black — це монокристалічний модуль потужністю 400 Вт із технологіями PERC та Half-Cell, призначений для побутових і комерційних СЕС.

Основні характеристики:

1. Потужність: 400 Вт
2. Тип: монокристалічна (Mono PERC)
3. ККД: 20.8%
4. Кількість комірок: 120 Half-Cell
5. Напруга V_{mp} : 34.39 В
6. Струм I_{mp} : 11.64 А
7. Напруга V_{oc} : 41.3 В
8. Струм короткого замикання (I_{sc}): 12.34 А
9. Максимальна системна напруга (DC): 1500 В;
10. Розміри: 1754 × 1096 × 30 мм
11. Вага: близько 21–22 кг
12. Ступінь захисту: IP68
13. Температурний діапазон: від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$

Переваги панелі:

1. Висока ефективність для класу 400 Вт
2. Full Black дизайн — добре виглядає на темних дахах
3. Half-Cell технологія зменшує втрати при затіненні
4. PID-захист і стійкість до деградації
5. Витримує снігове навантаження до 5400 Па
6. Підходить для домашніх гібридних та автономних СЕС

Ця панель добре підходить для:

1. приватних будинків;
2. гібридних СЕС;

3. резервного живлення;
4. невеликих комерційних об'єктів;
5. дахових станцій до ~30 кВт.

3.5.2 Risen RSM40-8-410MB

Сонячна панель Risen RSM40-8-410MB — це монокристалічний фотоелектричний модуль потужністю 410 Вт, призначений для побутових та комерційних сонячних електростанцій.

Основними характеристиками модуля є номінальна потужність 410 Вт, коефіцієнт корисної дії близько 21,3 %, напруга холостого ходу V_{oc} 41,9 В, робоча напруга V_{mp} 34,89 В, струм короткого замикання I_{sc} 12,47 А та робочий струм I_{mp} 11,76 А. Панель містить 120 монокристалічних напівкомірок та підтримує максимальну системну напругу 1500 В.

Конструкція панелі виконана із загартованого скла та анодованої алюмінієвої рами товщиною 30 мм. Габарити модуля становлять приблизно 1754 × 1096 × 30 мм, а маса — близько 21 кг. Панель витримує снігове навантаження до 5400 Па та вітрове навантаження до 2400 Па, що дозволяє використовувати її в різних кліматичних умовах.

Технологія Half-Cell забезпечує менші втрати потужності та кращу роботу при частковому затіненні, а PERC-елементи підвищують ефективність перетворення сонячного випромінювання у електричну енергію. Завдяки низькому температурному коефіцієнту приблизно $-0,34 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ панель демонструє стабільну продуктивність навіть при підвищених температурах.

Перевагами Risen RSM40-8-410MB є високий ККД, компактні розміри для своєї потужності, надійність конструкції, стійкість до PID-деградації та хороша ефективність при слабкому освітленні. Панель добре підходить для дахових сонячних електростанцій приватних будинків, автономних систем живлення та невеликих комерційних СЕС.

3.5.3 Trina Solar TSM-445NEG9RC.27

Сонячна панель Trina Solar TSM-445NEG9RC.27 є сучасним монокристалічним фотоелектричним модулем, призначеним для використання у побутових та комерційних сонячних електростанціях.

Номінальна потужність панелі становить 445 Вт, а коефіцієнт корисної дії досягає приблизно 22 %. Фотоелектричний модуль побудований за технологією Half-Cell і містить 144 напівкомірки, що дозволяє зменшити внутрішні електричні втрати, покращити роботу при частковому затіненні та підвищити ефективність перетворення сонячної енергії у електричну. Панель має робочу напругу близько 44,3 В, струм у точці максимальної потужності приблизно 10 А, а напруга холостого ходу становить 52,6 В.

Особливістю Trina Solar TSM-445NEG9RC.27 є двостороння біфасціальна конструкція, яка дозволяє генерувати електроенергію як з фронтальної, так і з тильної сторони панелі. Завдяки цьому модуль здатний додатково використовувати відбите від поверхні світло, що підвищує загальний виробіток електроенергії. Така конструкція є особливо ефективною при встановленні панелей на світлих поверхнях або спеціальних конструкціях із високою відбивною здатністю.

Конструкція модуля виконана за технологією «скло-скло», де для захисту фотоелементів використовується загартоване скло з обох сторін. Це забезпечує високу механічну міцність, стійкість до впливу вологи, ультрафіолетового випромінювання, перепадів температур та мікротріщин. Панель характеризується підвищеною довговічністю та може експлуатуватися в складних кліматичних умовах. Вона витримує значні снігові та вітрові навантаження, що є важливим для надійної роботи сонячної електростанції.

До основних переваг модуля належать високий ККД, низький температурний коефіцієнт, мінімальна деградація потужності з часом, висока надійність та збільшений ресурс роботи. Крім того, панель демонструє хорошу ефективність навіть при слабкому освітленні та підвищених температурах.

Сонячна панель Trina Solar TSM-445NEG9RC.27 може використовуватися у дахових сонячних електростанціях приватних будинків, автономних системах живлення, комерційних СЕС та системах резервного електропостачання. Завдяки високій потужності та сучасним технологіям модуль забезпечує ефективне виробництво електричної енергії та сприяє підвищенню енергоефективності фотоелектричних систем.

3.5.4 Вплив затемнення на роботу сонячних панелей

На рис. 3.8 показано варіанти затемнення сонячної панелі Risen RSM40-8-410MB.

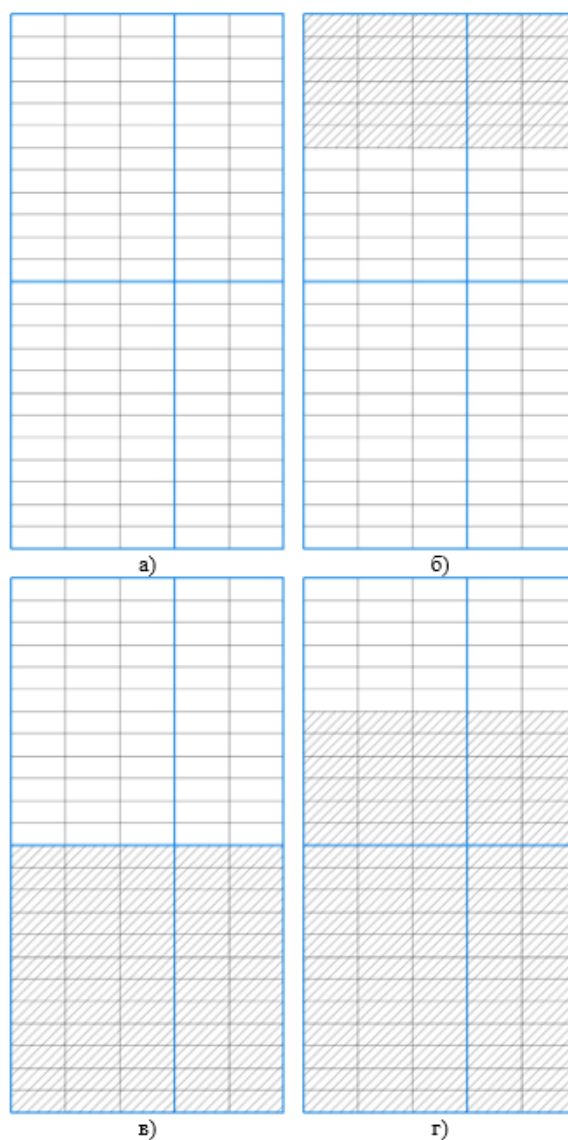


Рисунок 3.8 - Варіанти затемнення сонячної панелі Risen RSM40-8-410MB

а) 0%; б) 25%; в) 50%; г) 75%.

Дані отримані за допомогою вимірювача потужності Vici LX107 та цифрового тестеру потужності фотоелектричних модулів UNI-T UT673PV. На рис. 3.9 показано дані, отримані для варіанту без затемнення.



а)



б)

Рисунок 3.9 - Дані, отримані для варіанту без затемнення

а) вимірювач потужності Vici LX107; б) цифровий тестер потужності фотоелектричних модулів UNI-T UT673PV

В табл. 3.1 подано експериментальні дані для сонячної панелі Risen RSM40-8-410MB.

Таблиця 3.1 - Експериментальні дані для сонячної панелі Risen RSM40-8-410MB.

Відсоток	Інсоляція, Вт/м ²	P _{max} , Вт	U _{mp} , В	I _{mp} , А	V _{oc} , В	I _{sc} , А
Номінальні значення	1000	410	34,89	11,76	41,90	12,47
0%	1094	442,5	37,5	11,8	39,1	12,7
25%	1040	189,7	37,2	5,1	38,3	6,3
50%	1052	187,1	36,7	5,1	38,1	6,3
75%	1052	0	-	-	-	-

На рис. 3.10 показано графік зміни потужності сонячної панелі в залежності від ступеня затемнення.

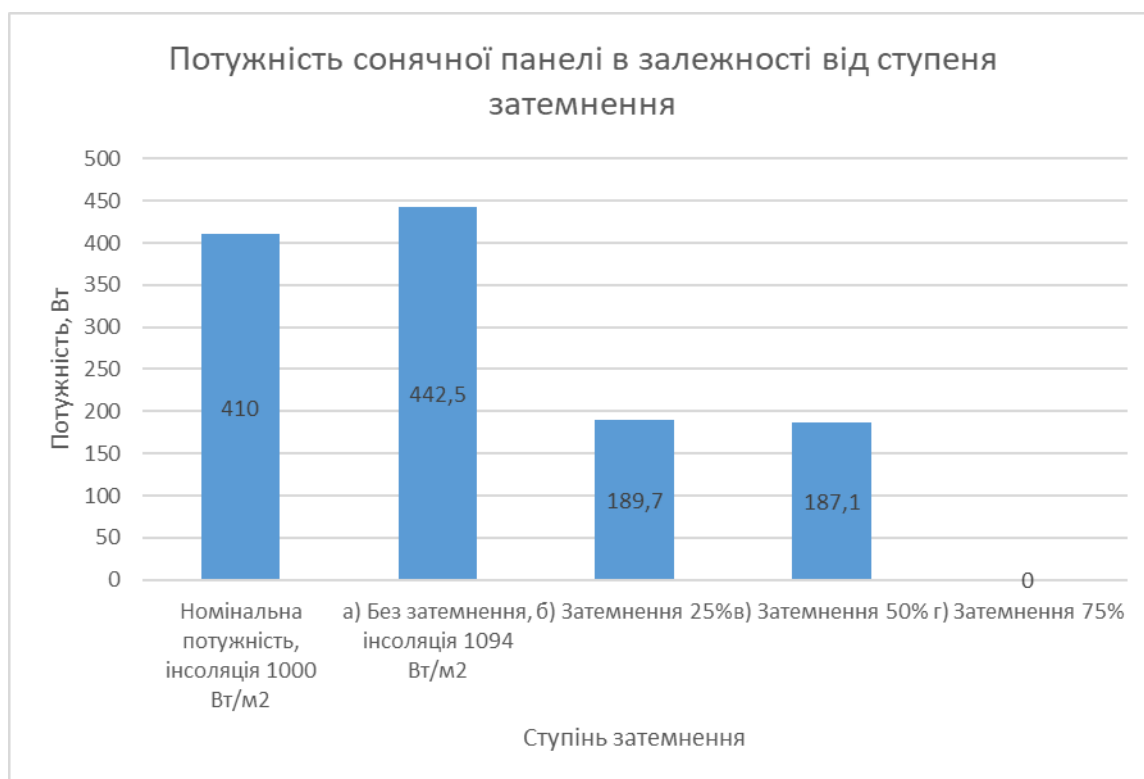
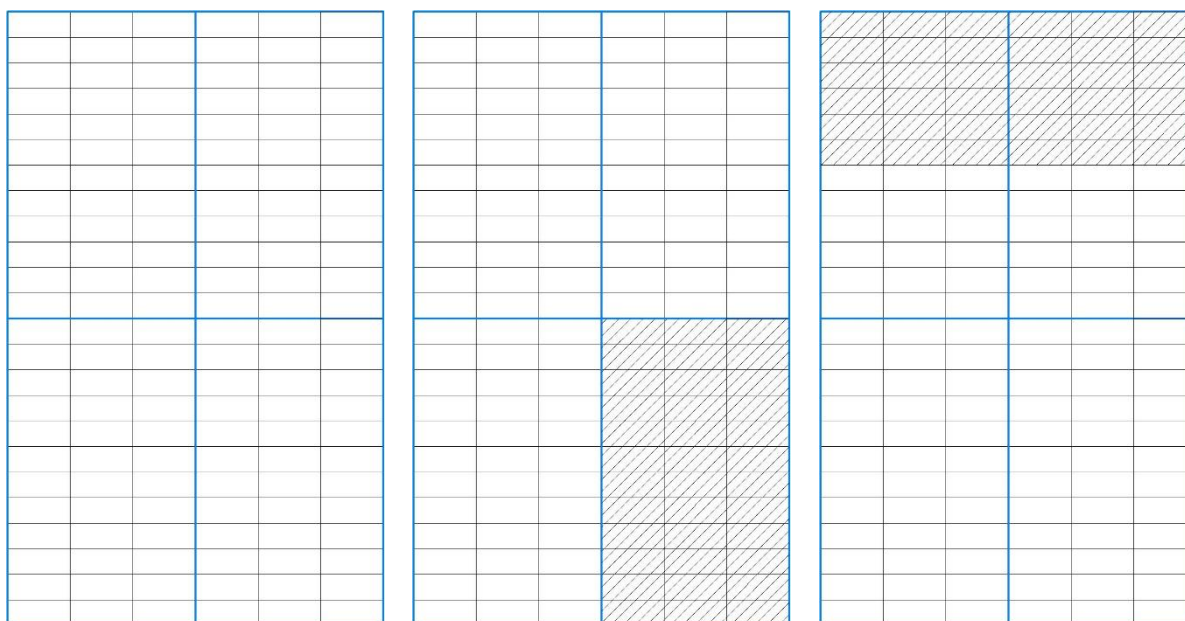


Рисунок 3.10 - Графік зміни потужності сонячної панелі в залежності від ступеня затемнення

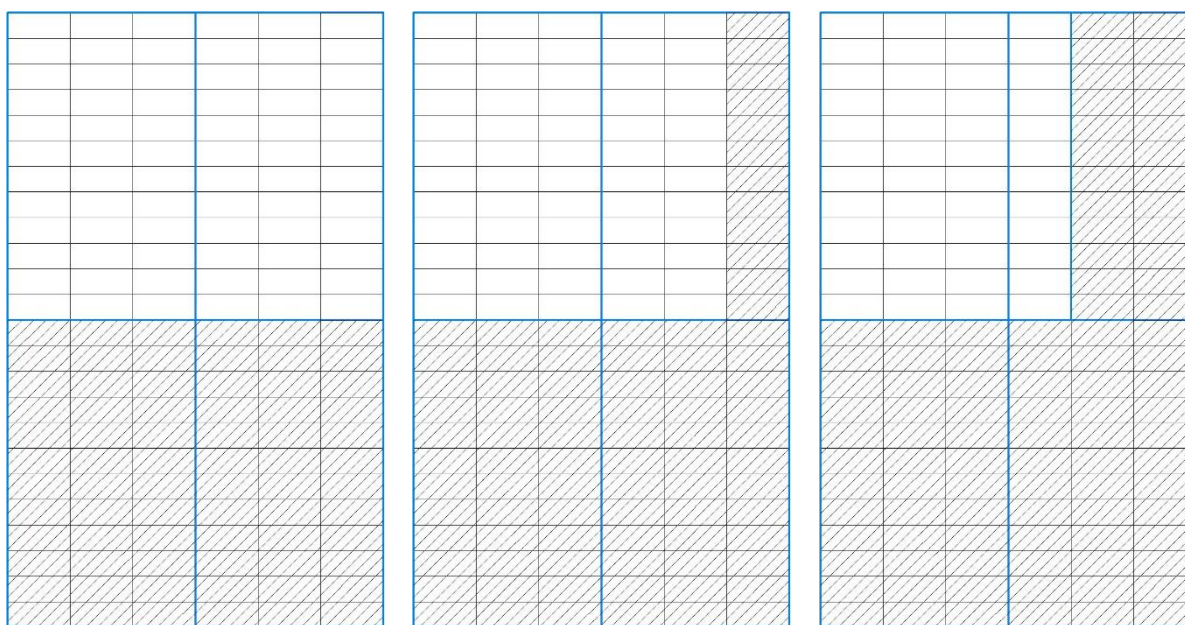
На рис. 3.11 показано варіанти затемнення сонячної панелі Trina Solar TSM-445NEG9RC.27.



а)

б)

в)

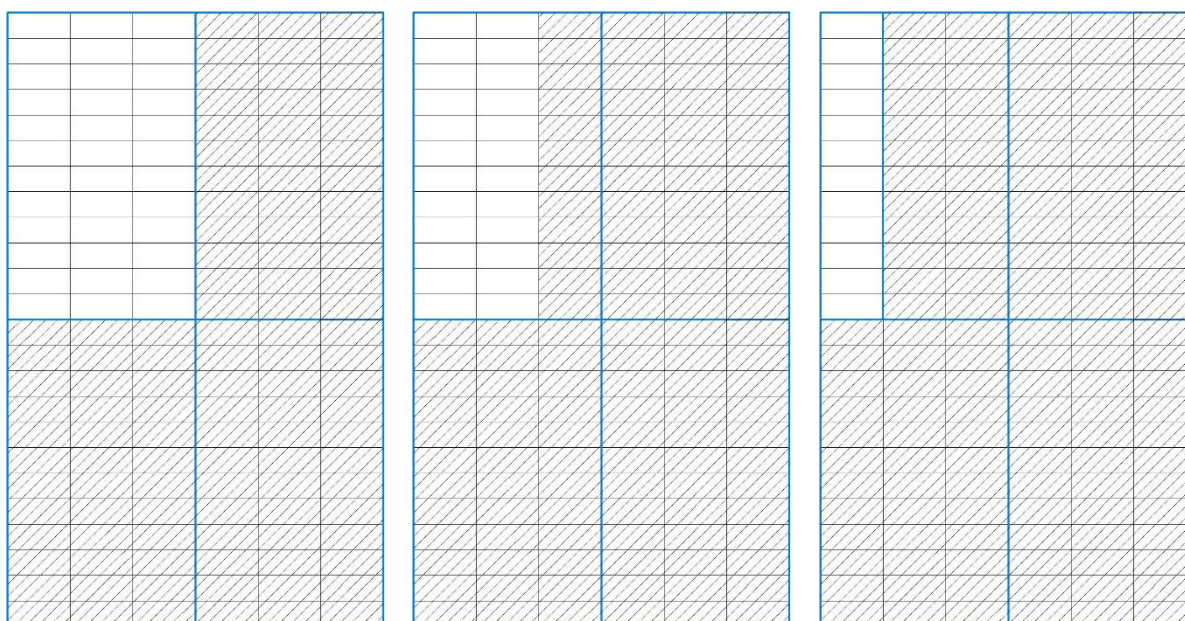


г)

д)

е)

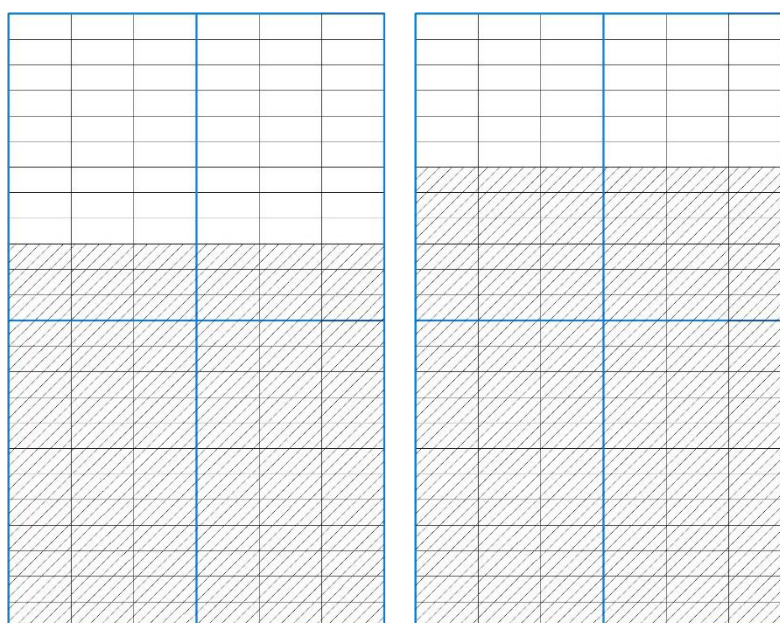
Продовження рисунку 3.11



є)

ж)

з)



и)

і)

Рисунок 3.11 - Варіанти затемнення сонячної панелі Trina Solar TSM-445NEG9RC.27

а) 0%; б) 25%; в) 25%; г) 50%; д) 58%; е) 67%; є) 75%; ж) 83%; з) 92%; и) 63%; і) 75%.

В табл. 3.2 подано експериментальні дані для сонячної панелі Trina Solar TSM-445NEG9RC.27.

Таблиця 3.2 - Експериментальні дані для сонячної панелі Trina Solar TSM-445NEG9RC.27.

Відсоток	Інсоляція, Вт/м ²	P _{max} , Вт	U _{mp} , В	I _{mp} , А	V _{oc} , В	I _{sc} , А
Номінальні значення	1000	445	44,3	10,05	52,6	10,71
0%	1053	549,7	50,9	10,8	51,9	11,0
25%	1066	321,9	50,3	6,4	51,3	10,5
25%	1057	260,1	47,3	5,5	50,4	5,6
50%	1040	198,0	49,5	4,0	50,3	5,5
58%	1068	168,5	30,1	5,6	50,9	5,6
67%	1068	166,8	29,8	5,6	49,6	5,6
75%	1065	84,0	15,0	5,6	48,2	5,6
83%	1057	81,5	15,1	5,4	50,1	5,5
92%	1064	14,0	46,7	0,3	49,4	0,7
63%	1060	13,8	46,3	0,3	47,1	0,3
75%	1070	9,3	46,7	0,2	47,2	0,3

Значення потужності (табл. 3.2) для затемнення рис 3.11 з) 92%, и) 63% та і) 75% обумовлені двосторонньою будовою панелі.

На рис. 3.12 показано графік зміни потужності сонячної панелі в залежності від ступеня затемнення.

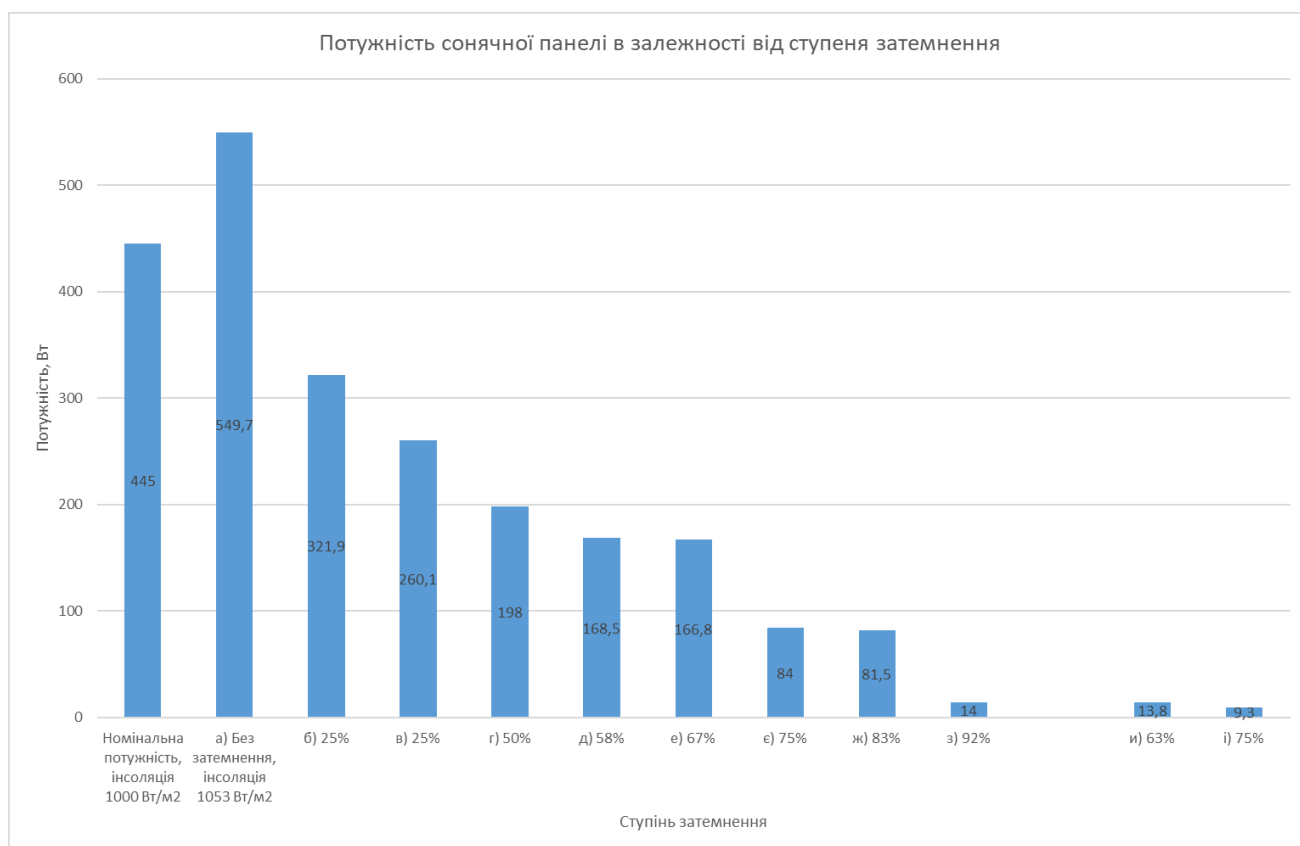


Рисунок 3.12 - Графік зміни потужності сонячної панелі в залежності від ступеня затемнення

3.6 Система захисту інвертора

Захист інвертора є важливою складовою безпечної роботи електроустановок, особливо в системах СЕС, резервного живлення та побутових електромереж.

Пристрій захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП) — це електротехнічний пристрій, призначений для захисту електрообладнання та електромережі від короточасних перенапруг, що виникають внаслідок ударів блискавки, комутаційних процесів в мережі чи аварійних режимів роботи електроустановок. Основним завданням ПЗІП є обмеження небезпечної напруги до безпечного рівня та відведення імпульсного струму в систему заземлення.

Імпульсні перенапруги можуть досягати кількох тисяч вольт і становлять значну небезпеку для побутової техніки, комп'ютерного обладнання, інверторів, систем автоматизації, сонячних електростанцій та інших чутливих електронних пристроїв. Без належного захисту навіть короткочасний імпульс здатний пошкодити ізоляцію, мікросхеми, блоки живлення або повністю вивести обладнання з ладу.

Принцип роботи ПЗІП полягає в тому, що при нормальній напрузі мережі пристрій практично не проводить струм. Коли ж виникає імпульсна перенапруга, внутрішні елементи ПЗІП (варистори, газорозрядники або комбіновані модулі) різко зменшують свій опір і відводять надлишкову енергію до контуру заземлення. Після зникнення перенапруги пристрій повертається у початковий режим роботи.

У сучасних системах електропостачання ПЗІП часто встановлюють разом із автоматичними вимикачами та запобіжниками. Особливо важливим є використання таких пристроїв у системах із сонячними електростанціями, гібридними інверторами та акумуляторними батареями, де електронні компоненти є чутливими до перенапруг.

Для ефективної роботи ПЗІП необхідне правильне підключення та наявність якісного заземлення, оскільки без контуру заземлення пристрій не зможе повноцінно відвести імпульсний струм. Також рекомендується періодично перевіряти стан ПЗІП, адже після багаторазових спрацювань його захисні властивості можуть погіршуватись.

Захист запобіжником. Запобіжник — це простий одноразовий захисний елемент, який розриває електричне коло при перевищенні допустимого струму.

Його основні функції: захист інвертора від короткого замикання; запобігання пошкодженню силових компонентів; захист кабелів від перегріву та займання.

Принцип роботи полягає в тому, що при перевищенні номінального струму плавка вставка всередині запобіжника перегрівається і перегорає, розриваючи коло.

Переваги: дуже швидка реакція на коротке замикання; висока відключаюча здатність; простота конструкції.

Недоліки: одноразова дія (після спрацювання потребує заміни); відсутність можливості повторного ввімкнення без обслуговування.

Захист автоматичним вимикачем. Автоматичний вимикач — це багаторазовий комутаційний апарат, який вимикає живлення при перевантаженні або короткому замиканні.

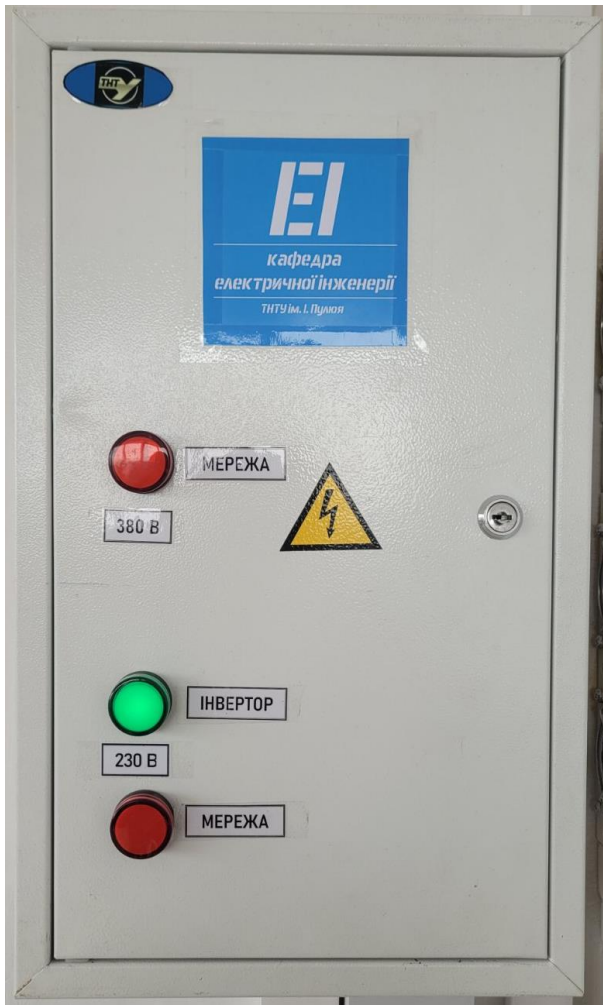
Він виконує: захист від перевантаження; захист від короткого замикання; можливість ручного відключення інвертора для обслуговування.

Принцип роботи базується на: тепловому розчеплювачі; електромагнітному розчеплювачі.

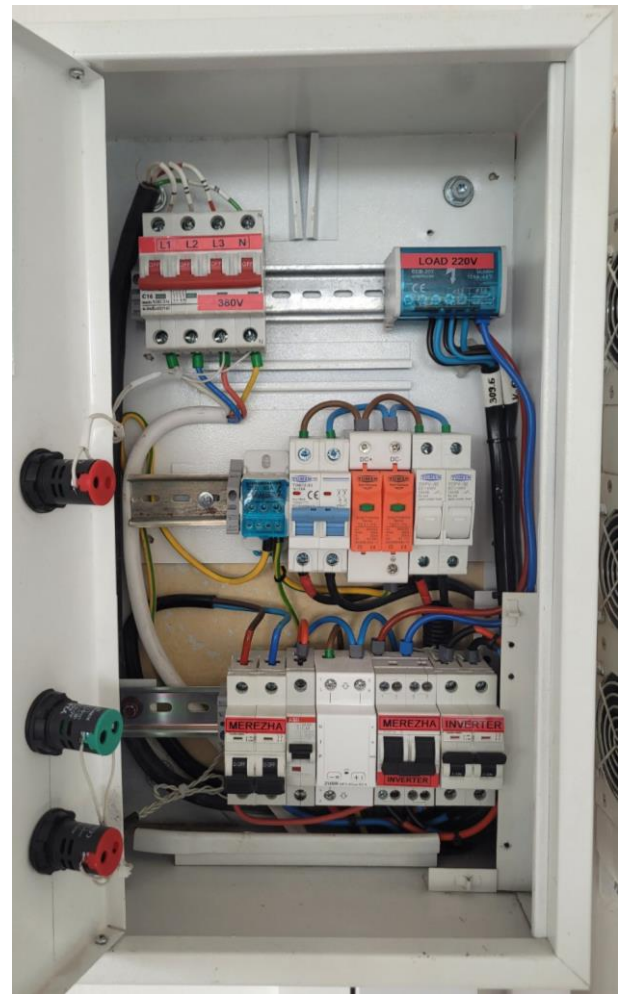
Переваги: багаторазове використання; зручність експлуатації; можливість швидкого відновлення живлення.

Недоліки: повільніша реакція порівняно із запобіжником при дуже високих струмах КЗ; складніша конструкція.

На рисунку 3.13 показано ящик захисту і комутації.



а)



б)

Рисунок 3.13 – Ящик захисту і комутації

а) вигляд спереду; б) вигляд зсередини.

На рисунку 3.14 показано схему захисту.

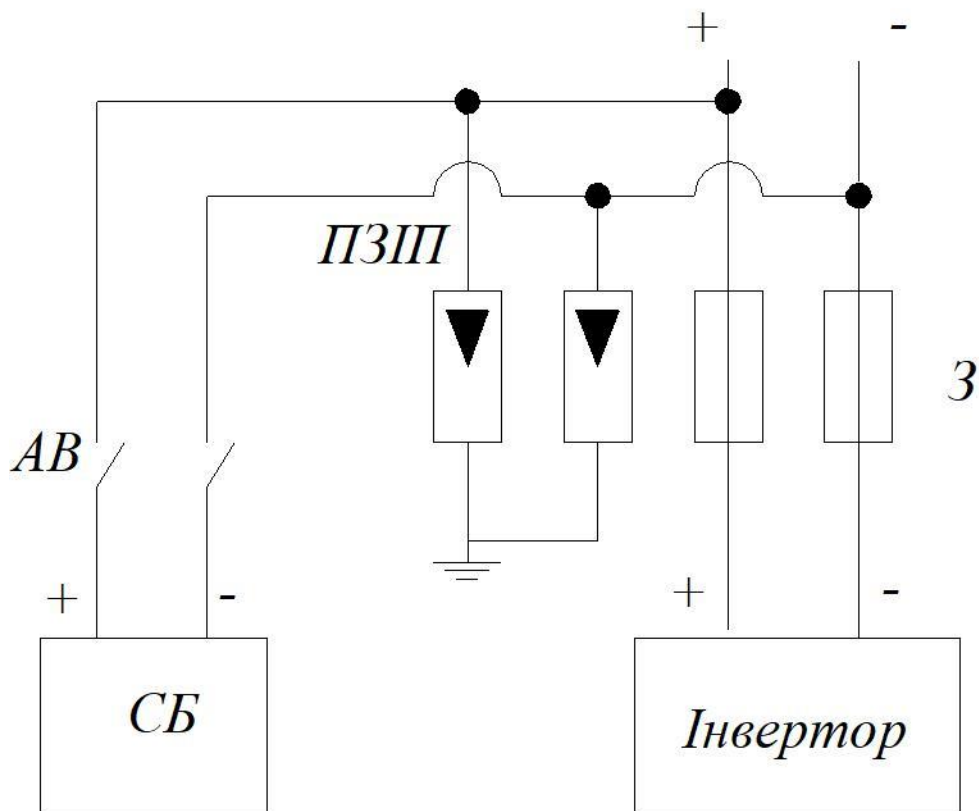


Рисунок 3.14 – Схема захисту

3.7 Навантаження на сонячну електростанцію

Правильно організоване навантаження сприяє оптимальному режиму зарядження та розрядження акумуляторів, запобігає тривалому перебуванню батарей у стані повного заряду або глибокого розряду, що позитивно впливає на термін їх служби та зменшує деградацію. Крім того, раціональний розподіл навантаження підвищує енергоефективність сонячної електростанції, знижує втрати електроенергії та забезпечує надійність автономного або резервного електроживлення.

До сонячної електростанції підключені декілька лабораторій кафедри ЕІ. Також для забезпечення стабільного навантаження для розрядки акумуляторних батарей до сонячної станції підключено кондиціонер (рис. 3.15).



Рисунок 3.15 – Навантаження на сонячну електростанцію для розрядки акумуляторних батарей.

3.8 Висновки до Розділу 3.

1. Система резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ на основі фотоелектричної електростанції забезпечує ефективне використання сонячної енергії для резервного електропостачання. Використання сонячних панелей АІКО у поєднанні з гібридним інвертором Deue та акумуляторними батареями Deue дозволяє підвищити енергонезалежність системи та забезпечити стабільне живлення електрообладнання під час відключень електроенергії.

2. Система резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ підтримує дистанційний моніторинг та керування через веб-платформу Deue Cloud і мобільний додаток. Це дозволяє контролювати параметри роботи інвертора, стан акумуляторних батарей та генерацію сонячної електростанції в режимі реального часу. Для коректної передачі даних у мережу Інтернет необхідною умовою є постійна робота роутера та наявність доступу до мережі Інтернет на кафедрі ЕІ.

3. Проведені дослідження показали суттєвий вплив затемнення на роботу сонячних панелей та їхню вихідну потужність. За допомогою приладів UNI-T UT673PV та Vici LX107 було визначено, що зі збільшенням ступеня затемнення потужність фотомодулів значно зменшується, а при сильному затіненні генерація електроенергії практично припиняється. Встановлено, що

сонячна панель Trina Solar TSM-445NEG9RC.27 завдяки двосторонній конструкції та сучасним технологіям демонструє кращу роботу при частковому затіненні порівняно з панеллю Risen RSM40-8-410MB. Отримані результати підтверджують важливість правильного розташування фотомодулів та мінімізації затінення для забезпечення максимальної ефективності роботи сонячної електростанції.

4. Система захисту інвертора є важливою складовою надійної та безпечної роботи гібридної сонячної електростанції. Використання ПЗП, запобіжників та автоматичних вимикачів забезпечує захист обладнання від імпульсних перенапруг, коротких замикань і перевантажень, що дозволяє знизити ризик пошкодження інвертора, акумуляторних батарей та іншого електрообладнання. Правильно організована система захисту підвищує довговічність електроустановки, безпеку експлуатації та стабільність роботи системи резервного живлення.

5. Забезпечення постійного та раціонального навантаження на сонячну електростанцію є важливим для ефективної роботи акумуляторних батарей та всієї системи електроживлення. Використання навантаження у вигляді лабораторного обладнання та кондиціонера дозволяє підтримувати оптимальний режим розрядження акумуляторів, зменшувати деградацію батарей та підвищувати стабільність роботи гібридної сонячної електростанції.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час експлуатації фотоелектричної електростанції

Експлуатація фотоелектричної електростанції супроводжується впливом ряду небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я персоналу, безпеку роботи обладнання та надійність системи електропостачання. Тому під час проектування та експлуатації системи резервного живлення лабораторій необхідно передбачити комплекс організаційних і технічних заходів з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Одним із найбільш небезпечних факторів є ураження електричним струмом. Фотоелектричні панелі, інвертори, акумуляторні батареї та кабельні лінії працюють під напругою постійного та змінного струму, що створює небезпеку при дотику до струмопровідних частин або пошкодженні ізоляції. Особливістю сонячних панелей є те, що вони генерують електроенергію навіть при відключенні зовнішньої мережі, тому існує ризик появи небезпечної напруги під час проведення ремонтних або монтажних робіт.

До шкідливих факторів також належить можливість виникнення коротких замикань, перевантажень та електричної дуги, що можуть призвести до пожежі або пошкодження обладнання. Особливу небезпеку становлять акумуляторні системи накопичення енергії, оскільки при неправильній експлуатації можливе перегрівання батарей, виділення газів або займання. Для запобігання таким ситуаціям необхідно використовувати автоматичні вимикачі, запобіжники, системи контролю температури та вентиляцію приміщень.

Під час монтажу та обслуговування сонячних панелей існує небезпека падіння з висоти, оскільки фотоелектричні модулі зазвичай встановлюються на дахах будівель або спеціальних конструкціях. Виконання робіт на висоті потребує застосування страхувальних засобів, спеціального одягу та дотримання вимог охорони праці.

Шкідливим фактором є також вплив підвищеної температури, сонячного випромінювання та несприятливих погодних умов під час зовнішніх робіт. Тривале перебування персоналу під прямими сонячними променями може викликати перегрів організму та погіршення самопочуття. Крім того, надійність роботи обладнання може знижуватися через перегрівання інверторів та акумуляторів.

У процесі роботи електротехнічного обладнання можуть виникати електромагнітні поля, шум та вібрації, які при тривалому впливі негативно впливають на працівників. Хоча рівень таких факторів у сучасних фотоелектричних системах є відносно невисоким, необхідно дотримуватись санітарних норм та правил експлуатації обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації фотоелектричної електростанції необхідно виконувати захисне заземлення обладнання, застосовувати пристрої захисного відключення, проводити періодичний контроль стану ізоляції та організувати інструктажі з охорони праці для персоналу. Важливе значення має також використання засобів індивідуального захисту: діелектричних рукавиць, ізольованого інструменту, захисних окулярів та спецодягу.

4.2 Вимоги електробезпеки при роботі з системами резервного електроживлення та сонячними панелями

Під час експлуатації систем резервного електроживлення та фотоелектричних електростанцій особливу увагу необхідно приділяти вимогам електробезпеки, оскільки робота з електрообладнанням пов'язана з ризиком ураження електричним струмом, виникненням коротких замикань, пожеж та аварійних режимів. Дотримання правил електробезпеки забезпечує захист персоналу, надійність роботи обладнання та безперервність електропостачання лабораторій.

Основною вимогою є забезпечення надійної ізоляції струмопровідних

частин обладнання. Усі кабелі, інвертори, комутаційні пристрої та акумуляторні батареї повинні відповідати вимогам нормативних документів та мати належний ступінь захисту від механічних пошкоджень, вологи та пилу. Пошкоджені кабелі або елементи ізоляції повинні негайно замінюватися.

Фотоелектричні панелі генерують електроенергію під дією сонячного випромінювання навіть при відключенні мережі, тому під час проведення ремонтних або монтажних робіт необхідно враховувати наявність постійної напруги на виході панелей. Для безпечного виконання робіт система повинна мати комутаційні апарати для відключення окремих ділянок мережі та аварійного знеструмлення.

Важливою умовою електробезпеки є виконання захисного заземлення металевих корпусів електрообладнання, конструкцій сонячних панелей та інверторів. Захисне заземлення зменшує ризик ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції та появи напруги на неструмопровідних частинах обладнання. Також рекомендується застосування пристроїв захисного відключення (ПЗВ), автоматичних вимикачів та запобіжників для швидкого відключення аварійних режимів.

Під час роботи з акумуляторними системами накопичення енергії необхідно враховувати небезпеку короткого замикання та високих струмів. Забороняється використовувати несправний інструмент або проводити роботи без засобів індивідуального захисту. Приміщення, у яких встановлені акумулятори, повинні мати достатню вентиляцію для запобігання накопиченню вибухонебезпечних газів та перегріванню обладнання.

До виконання робіт допускаються лише особи, які пройшли відповідне навчання, інструктаж з охорони праці та мають необхідну групу допуску з електробезпеки. Працівники повинні знати правила безпечної експлуатації електроустановок, порядок дій у разі аварійних ситуацій та методи надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

Під час обслуговування електрообладнання необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавиці, килимки, інструмент з

ізолюваними ручками, захисні окуляри та спецодяг. Роботи під напругою дозволяється виконувати лише у виняткових випадках із суворим дотриманням вимог безпеки.

Особлива увага приділяється захисту системи від атмосферних перенапруг та блискавки. Для цього встановлюються блискавкозахист, пристрої захисту від імпульсних перенапруг та системи контролю параметрів мережі. Це дозволяє уникнути пошкодження обладнання та зменшити ризик аварійних ситуацій.

4.3 Вимоги до монтажу та експлуатації акумуляторних систем накопичення енергії

Акумуляторні системи накопичення енергії є важливим елементом систем резервного електроживлення на основі фотоелектричних електростанцій, оскільки забезпечують накопичення та подальше використання електричної енергії у разі відсутності зовнішнього живлення або недостатньої генерації сонячної електростанції. Монтаж та експлуатація таких систем повинні виконуватись відповідно до вимог електробезпеки, пожежної безпеки та нормативних документів з охорони праці.

Однією з основних вимог є правильний вибір місця встановлення акумуляторних батарей. Акумуляторні системи повинні розміщуватись у сухих, добре вентильованих приміщеннях, захищених від впливу атмосферних опадів, прямих сонячних променів, вологи та різких перепадів температури. Надмірне нагрівання або переохолодження акумуляторів негативно впливає на їх технічні характеристики, скорочує термін служби та може спричинити аварійні ситуації.

Під час монтажу необхідно забезпечити надійне кріплення акумуляторних модулів та дотримання допустимих відстаней між обладнанням для вільної циркуляції повітря та охолодження. Кабельні з'єднання повинні мати відповідний переріз, надійну ізоляцію та бути захищеними від механічних пошкоджень. Особлива увага приділяється правильній полярності підключення, оскільки помилки при монтажі можуть призвести до короткого замикання або

пошкодження обладнання.

Обов'язковою вимогою є встановлення засобів електричного захисту: автоматичних вимикачів, запобіжників, пристроїв захисного відключення та систем контролю напруги й температури. Такі пристрої забезпечують автоматичне відключення системи у разі перевантаження, короткого замикання, перегрівання або інших аварійних режимів.

Для забезпечення безпечної експлуатації акумуляторних систем необхідно виконувати захисне заземлення металевих корпусів обладнання. Також рекомендується застосування систем моніторингу стану акумуляторів, які дозволяють контролювати рівень заряду, температуру, напругу окремих елементів та своєчасно виявляти несправності.

Особливу увагу необхідно приділяти пожежній безпеці. У приміщеннях з акумуляторними батареями повинні бути встановлені первинні засоби пожежогасіння, системи вентиляції та засоби аварійного відключення електроживлення. Забороняється зберігати поблизу акумуляторів легкозаймисті матеріали або використовувати відкритий вогонь.

Під час експлуатації акумуляторних систем персонал повинен проходити інструктаж з охорони праці та мати відповідну групу допуску з електробезпеки. Роботи з обслуговування необхідно виконувати із застосуванням засобів індивідуального захисту: діелектричних рукавиць, захисних окулярів та інструменту з ізольованими ручками.

Важливою умовою є проведення регулярного технічного обслуговування системи. Необхідно періодично перевіряти стан контактних з'єднань, рівень заряду акумуляторів, температуру обладнання, роботу вентиляції та систем захисту. Своєчасне виявлення несправностей дозволяє уникнути аварійних ситуацій та підвищує надійність роботи системи резервного живлення.

4.4 Пожежна безпека під час експлуатації фотоелектричних систем та акумуляторних батарей

Пожежна безпека під час експлуатації фотоелектричних систем та акумуляторних батарей є одним із найважливіших аспектів забезпечення надійної та безпечної роботи систем резервного електроживлення. Використання сонячних панелей, інверторів та акумуляторних систем накопичення енергії пов'язане з наявністю електричної енергії, високих струмів та можливістю перегрівання обладнання, що створює ризик виникнення пожежі у разі несправностей або порушення правил експлуатації.

Основними причинами виникнення пожеж у фотоелектричних системах є короткі замикання, перевантаження електричних мереж, пошкодження ізоляції кабелів, неякісні контактні з'єднання та перегрівання електрообладнання. Особливу небезпеку становить виникнення електричної дуги, яка може спричинити займання ізоляційних матеріалів або конструкцій будівлі. Для запобігання таким аварійним ситуаціям необхідно використовувати сертифіковане обладнання та дотримуватись вимог монтажу й експлуатації.

Фотоелектричні панелі під час освітлення постійно генерують електричну енергію, навіть при відключенні зовнішньої мережі. Це ускладнює проведення аварійно-рятувальних робіт та гасіння пожеж, оскільки на кабелях і обладнанні може залишатися небезпечна напруга. Тому система повинна бути оснащена пристроями аварійного відключення та засобами локалізації пошкоджених ділянок.

Особливу увагу необхідно приділяти акумуляторним батареям, особливо літій-іонним системам накопичення енергії. У разі механічного пошкодження, перезаряду, короткого замикання або перегрівання можливе виникнення теплового розгону акумулятора, що супроводжується виділенням великої кількості тепла, токсичних газів та займанням. Для мінімізації ризиків необхідно застосовувати системи контролю температури, автоматичне відключення при аварійних режимах та ефективну вентиляцію приміщень.

Приміщення, у яких встановлюються акумуляторні батареї та інверторне обладнання, повинні відповідати вимогам пожежної безпеки. Вони мають бути обладнані системами вентиляції, пожежної сигналізації та первинними засобами пожежогасіння. Для гасіння електрообладнання під напругою рекомендується використовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники. Використання води для гасіння електроустановок без їх попереднього знеструмлення забороняється через небезпеку ураження електричним струмом.

Важливим заходом пожежної безпеки є правильне прокладання кабельних ліній. Кабелі повинні мати негорючу або важкогорючу ізоляцію, бути захищеними від механічних пошкоджень та впливу високих температур. Усі електричні з'єднання необхідно регулярно перевіряти, оскільки ослаблення контактів може призводити до нагрівання та займання.

Для забезпечення пожежної безпеки персонал повинен проходити інструктажі з охорони праці та знати порядок дій у разі виникнення пожежі. Необхідно забезпечити вільний доступ до засобів пожежогасіння, аварійних вимикачів та евакуаційних виходів. Також важливо проводити регулярне технічне обслуговування системи, перевірку стану обладнання та контроль параметрів роботи фотоелектричної електростанції.

4.5 Організація безпечного проведення робіт під час технічного обслуговування системи резервного живлення

Організація безпечного проведення робіт під час технічного обслуговування системи резервного живлення є важливою складовою забезпечення надійної та безаварійної експлуатації фотоелектричної електростанції та акумуляторних систем накопичення енергії. Під час виконання робіт персонал може перебувати під впливом небезпечних виробничих факторів, пов'язаних з дією електричного струму, можливістю коротких замикань, пожеж, роботою на висоті та впливом електротехнічного обладнання. Тому всі роботи повинні виконуватись відповідно до вимог охорони праці, електробезпеки та

пожежної безпеки.

До проведення технічного обслуговування допускаються лише працівники, які пройшли спеціальне навчання, інструктаж з охорони праці та мають відповідну групу допуску з електробезпеки. Персонал повинен знати будову системи резервного живлення, принцип роботи фотоелектричних панелей, інверторів, акумуляторних батарей та порядок дій у разі аварійних ситуацій.

Перед початком робіт необхідно виконати організаційні заходи безпеки. Насамперед проводиться відключення обладнання від мережі живлення та перевірку відсутності напруги на струмопровідних частинах. Особливістю фотоелектричних систем є те, що сонячні панелі продовжують генерувати електроенергію під дією сонячного світла, тому необхідно використовувати спеціальні комутаційні пристрої для відключення окремих ділянок системи та забезпечення безпечних умов праці.

Місце виконання робіт повинно бути огорожене та позначене попереджувальними знаками безпеки. Забороняється допуск сторонніх осіб у зону проведення технічного обслуговування. У разі виконання робіт на висоті, пов'язаних із обслуговуванням сонячних панелей, працівники повинні використовувати страхувальні пояси, каски та інші засоби захисту від падіння.

Для безпечного виконання робіт персонал повинен застосовувати засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавиці, діелектричне взуття, ізольований інструмент, захисні окуляри та спецодяг. Використання несправного інструменту або засобів захисту не допускається.

Особлива увага приділяється технічному стану акумуляторних батарей. Під час обслуговування необхідно контролювати температуру акумуляторів, стан контактних з'єднань, рівень заряду та справність систем вентиляції. Роботи поблизу акумуляторних систем слід виконувати з дотриманням вимог пожежної безпеки, оскільки можливе виділення вибухонебезпечних газів або перегрівання елементів.

Під час технічного обслуговування необхідно регулярно перевіряти стан

кабельних ліній, заземлення, автоматичних вимикачів, інверторів та систем захисту. Виявлені несправності повинні негайно усуватись, а пошкоджене обладнання — виводитись з експлуатації до повного ремонту.

У приміщеннях, де розташоване обладнання системи резервного живлення, повинні бути наявні первинні засоби пожежогасіння, аптечка першої допомоги та схеми евакуації. Персонал повинен бути ознайомлений із правилами надання першої допомоги при ураженні електричним струмом та порядком дій у разі пожежі або аварії.

4.6 Заходи безпеки під час аварійних режимів роботи фотоелектричної електростанції

Під час експлуатації фотоелектричної електростанції можуть виникати аварійні режими роботи, пов'язані з короткими замиканнями, перевантаженнями, пошкодженням обладнання, перегріванням акумуляторних батарей, атмосферними перенапругами або порушенням роботи інверторів. Такі ситуації становлять небезпеку для персоналу, можуть призвести до пошкодження електрообладнання, виникнення пожежі та припинення електропостачання. Тому важливе значення має впровадження комплексу організаційних і технічних заходів безпеки.

Одним із головних заходів є використання систем автоматичного захисту. Фотоелектрична електростанція повинна бути обладнана автоматичними вимикачами, запобіжниками, пристроями захисного відключення та системами контролю параметрів мережі. У разі виникнення короткого замикання, перевантаження або перевищення допустимої температури такі пристрої забезпечують швидке відключення аварійної ділянки та запобігають подальшому поширенню пошкодження.

Особливу увагу необхідно приділяти захисту від перенапруг, спричинених грозовими явищами або комутаційними процесами в електромережі. Для цього застосовуються пристрої захисту від імпульсних перенапруг та системи

блискавкозахисту. Вони дозволяють зменшити ризик виходу з ладу інверторів, контролерів заряду та іншого електронного обладнання.

Під час аварійних режимів необхідно забезпечити можливість швидкого аварійного відключення фотоелектричної системи. Для цього встановлюються спеціальні комутаційні апарати та аварійні вимикачі, які дозволяють оперативно знеструмити окремі ділянки системи. Це особливо важливо при виникненні пожежі або проведенні аварійно-рятувальних робіт.

Окрему небезпеку становлять акумуляторні системи накопичення енергії. У разі перегрівання, короткого замикання або механічного пошкодження акумуляторів можливе виділення тепла, токсичних газів та займання. Для запобігання таким ситуаціям необхідно використовувати системи моніторингу температури, напруги та рівня заряду акумуляторів, а також забезпечити ефективну вентиляцію приміщень.

У випадку виникнення аварійної ситуації персонал повинен діяти відповідно до інструкцій з охорони праці та аварійного реагування. Насамперед необхідно повідомити відповідальних осіб, відключити пошкоджену ділянку мережі та забезпечити евакуацію людей із небезпечної зони. Забороняється виконувати ремонтні роботи без повного знеструмлення обладнання та перевірки відсутності напруги.

Для забезпечення безпеки персоналу під час аварійних режимів необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавиці, ізольований інструмент, захисний одяг та окуляри. У приміщеннях із електрообладнанням повинні бути наявні первинні засоби пожежогасіння, аптечки та схеми евакуації.

Важливим заходом є проведення регулярного технічного обслуговування та контролю стану обладнання фотоелектричної електростанції. Перевірка кабельних з'єднань, систем заземлення, інверторів, акумуляторних батарей та пристроїв захисту дозволяє своєчасно виявляти несправності та запобігати виникненню аварійних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз та розгляд основних компонентів гібридної сонячної електростанції для системи резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ. Проведено дослідження технічних характеристик гібридного інвертора Deue SUN-8K-SG01LP1-EU, акумуляторної батареї Deue SE-G5.1 Pro-B, сонячних панелей АІКО та інверторного генератора Konner&Sohnen KS 4000iE S. Встановлено, що обране обладнання забезпечує ефективну, стабільну та безпечну роботу системи резервного електроживлення в різних режимах роботи. Гібридний інвертор забезпечує автоматичне керування потоками енергії між мережею, сонячними панелями та акумуляторною батареєю, а літій-залізо-фосфатний акумулятор дозволяє накопичувати електроенергію з високим рівнем безпеки та довговічності. Сонячні панелі АІКО характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії та низькою деградацією, що підвищує ефективність фотоелектричної системи. Використання інверторного генератора забезпечує додаткове резервне джерело живлення під час тривалих аварійних відключень електроенергії. Отже, вибрані компоненти є технічно сумісними між собою та придатними для побудови сучасної гібридної системи електроживлення.

2. Система резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ на основі фотоелектричної електростанції забезпечує ефективне використання сонячної енергії для резервного електропостачання. Використання сонячних панелей АІКО у поєднанні з гібридним інвертором Deue та акумуляторними батареями Deue дозволяє підвищити енергонезалежність системи та забезпечити стабільне живлення електрообладнання під час відключень електроенергії.

3. Система резервного живлення лабораторій кафедри ЕІ ТНТУ підтримує дистанційний моніторинг та керування через веб-платформу Deue Cloud і мобільний додаток. Це дозволяє контролювати параметри роботи інвертора, стан акумуляторних батарей та генерацію сонячної електростанції в режимі реального часу. Для коректної передачі даних у мережу Інтернет

необхідною умовою є постійна робота роутера та наявність доступу до мережі Інтернет на кафедрі ЕІ.

4. Проведені дослідження показали суттєвий вплив затемнення на роботу сонячних панелей та їхню вихідну потужність. За допомогою приладів UNI-T UT673PV та Vici LX107 було визначено, що зі збільшенням ступеня затемнення потужність фотомодулів значно зменшується, а при сильному затіненні генерація електроенергії практично припиняється. Встановлено, що сонячна панель Trina Solar TSM-445NEG9RC.27 завдяки двосторонній конструкції та сучасним технологіям демонструє кращу роботу при частковому затіненні порівняно з панеллю Risen RSM40-8-410MB. Отримані результати підтверджують важливість правильного розташування фотомодулів та мінімізації затінення для забезпечення максимальної ефективності роботи сонячної електростанції.

5. Система захисту інвертора є важливою складовою надійної та безпечної роботи гібридної сонячної електростанції. Використання ПЗП, запобіжників та автоматичних вимикачів забезпечує захист обладнання від імпульсних перенапруг, коротких замикань і перевантажень, що дозволяє знизити ризик пошкодження інвертора, акумуляторних батарей та іншого електрообладнання. Правильно організована система захисту підвищує довговічність електроустановки, безпеку експлуатації та стабільність роботи системи резервного живлення.

6. Забезпечення постійного та раціонального навантаження на сонячну електростанцію є важливим для ефективної роботи акумуляторних батарей та всієї системи електроживлення. Використання навантаження у вигляді лабораторного обладнання та кондиціонера дозволяє підтримувати оптимальний режим розрядження акумуляторів, зменшувати деградацію батарей та підвищувати стабільність роботи гібридної сонячної електростанції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. <https://sanlarix.com.ua/product/sonyachna-merezheva-elektrostantsiya-solis-15-kvt/>
2. Автономна сонячна електростанція 3 КВт акумулятор 2.4 кВт панелі 1.2кВт - Енергія Мрії - Energy-Dreams. *Енергія Мрії*. URL: <https://energy-dreams.com.ua/product/avtonomna-sonyachna/> (дата звернення: 29.05.2026).
3. <https://sanlarix.com.ua/product/gibrydna-bezperebijna-sonyachna-stancziya-solax-10kvt/>
4. <https://enersun.com.ua/ua/promyslova-soniachna-elektrostantsiia-05-mvt-3-fazy-merezheva-nazemna/>
5. <https://ecotechnica.com.ua/uk/energy/solntse/kontsentratornye-solnechnye-elektrostantsii-csp-predlozhili-okhlazhdat-pomoshchyu-prokachki-vozdukha-pod-zemlej>
6. Сонячна панель Longi Hi-Mo X6 Explorer 435 W (LR5-54HTH-435M) - купити Сонячні панелі ціна | компанія In-Therm. URL: <https://in-therm.ua/ua/catalogs/alternativn/solnechnye-paneli/solnechnaya-panel-longi-hi-mo-x6-explorer-435-w> (дата звернення: 29.05.2026).
7. <https://www.nkon.nl/ua/deye-sun-80k-sg01hp3-eu-50kw-3-fase-hybride-hv-omvormer.html>
8. <https://www.nkon.nl/ua/deye-se-f16-c.html>
9. URL: <https://hecht.ua/invertorniy-odnofazniy-generator-hecht-ig-2201/> (дата звернення: 29.05.2026).
10. <https://deye.com.ua/product/hibrydnyj-invertor-deye-sun-8k-sg01lp1-eu-8kw-1f-48v/>
11. https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-panels/aiko-a440-mah54mb?srsId=AfmBOorEPA8HtVMVfgCB-SpN-vLr2YnujcE508JTZRWMD_O1hVykXNJC
12. <https://www.ecotech.ua/yak-praczyuye-sonyachna-elektrostantsiya/>
13. Понтус, О. В., Карпишин, Р. А., & Коваль, В. П. (2024). Особливості проектування та введення в експлуатацію промислової сонячної

електростанції. *Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи“*, 19-21.

14. Буслова, Н. В., & Денисюк, Р. В. (2024, January). ВПЛИВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА СТАБІЛЬНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ. In *The 2nd International scientific and practical conference “Innovations in education: prospects and challenges of today”* (January 16-19, 2024) Sofia, Bulgaria. International Science Group. 2024. 389 p. (p. 342).

15. Сигіль, В. Д., Колодій, А. В., & Філюк, Я. О. (2025). Вплив мережевого сонячного фотоелектричного інвертора на енергосистему. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“*, присвячена 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 58-58.

16. Савченко О. О. Автономна сонячна електростанція для будинку ОСББ / О. О. Савченко, Х. Р. Козак, Т. Федак Ю.. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва*. 2018. № 888. С. 117-122.

17. В.П. Коваль, канд. техн. наук, доц.; А.З. Стасів; П.М. Зінь *Актуальні аспекти розвитку відновлюваної енергетики // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025 – 401-403.*

18. Koval, V. P., Ivasechko, R. R., & Kozak, K. N. (2015). Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей. *Загальнодержавний науково-виробничий та інформаційний журнал «Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит»*, (3), 2-10.

19. Загарій, В. К. Відновлювана енергетика: тенденції розвитку у світі та Україні / В. К. Загарій, Т. Г. Ковальчук // *Науковий вісник Ужгородського національного університету : серія: Міжнародні економічні відносини та світове*

господарство / редкол.: М. М. Король (голов. ред.), М. М. Палінчак, Я. П. Дроздовський та ін. – Ужгород : Видавничий дім "Гельветика", – 2021. – Вип. 36. – С. 70–75.

20. Orobchuk, B., Buniak, O., & Sysak, I. (2023). DESIGN OF AN INTELLIGENT SYSTEM TO CONTROL EDUCATIONAL LABORATORY EQUIPMENT BASED ON A HYBRID MINI-POWER PLANT. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 122(9)

21. Мартинюк В. В. Енергоефективна університетська сонячна електростанція / В. В. Мартинюк, Ю. М. Бойко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки : наук. фах. вид. – Київ, 2017. – № 5 (114). – С. 72-80.

22. Hereha, S., Koval, V., & Filyuk, Y. (2017). ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ. *Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції, 8-9 червня 2017 року: збірник тез доповідей.*–Тернопіль: ФОП Паляниця ВА, 2017.–244 с., 202.

23. Лясковець, Н. С., & Осадца, Я. М. (2025). Основні аспекти техніко-економічної оцінки впровадження системи накопичення енергії. *Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “*, 405-407.

24. НАЗАР, Л., & ОСАДЦА, Я. (2025). АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТИПІВ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 355(4), 317-328.

25. Лясковець, Н. С., & Осадца, Я. М. (2025). Систем накопичення енергії. Світові тенденції впровадження та перспективи для України. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій “, присвячена 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, 42-44.

26. Лясковець, Н. С., & Осадца, Я. М. (2024). Роль використання систем накопичення енергії у електроенергетичній системі. *Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “*, 303-303.

27. Коваль, В. П. (2013). Залежність енергоефективності сонячних елементів від експлуатаційних факторів. *Збірник тез доповідей XVII наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, 53-53.

28. КОВАЛЬ, В., ОРОБЧУК, Б., БУНЯК, О., & ГЕТМАНЮК, В. (2024). Робота фотоелектричної станції на основі гібридного інвертора з різною ємністю системи накопичення електроенергії. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 343(6 (1)), 208-214.

29. Гурик О.Я. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 4656): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2017. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.

30. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.