

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ҐЖИЦЬКОГО  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

**«РОЗРОБЛЕННЯ РЕЗЕРВНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ  
ПРИВАТНОГО БУДИНКУ НА ОСНОВІ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИКИ»**

Виконав: студент IV курсу  
групи Ен – 41 спеціальності  
141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

I.B. \_\_\_\_\_ Свістіль

Керівник: \_\_\_\_\_ Гошко  
M.O.

Рецензент: \_\_\_\_\_ Михалюк  
M.A.

**ДУБЛЯНИ 2026**

УДК 621.320

Свістіль Ігор Васильович Розроблення резервної системи електропостачання приватного будинку на основі геліоенергетики. Кваліфікаційна робота. Дубляни: ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО, 2026. 70 с. текстової частини, 10 таблиць, 14 рисунків, 20 джерел посилання.

**Метою** даної бакалаврської роботи є розроблення резервної системи електропостачання приватного будинку на основі фотоенергетики з використанням сонячних панелей, інверторного обладнання та акумуляторних батарей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**: розглянути принципи роботи фотоелектричних систем; проаналізувати основні види резервних систем електропостачання приватного будинку; визначити переваги та недоліки мережевих, автономних і гібридних сонячних електростанцій; виконати порівняння основного обладнання; визначити склад резервованих споживачів; розрахувати необхідну потужність сонячних панелей для системи 9 кВт; підібрати інвертор, акумуляторну батарею та захисну апаратуру; оцінити орієнтовну вартість реалізації системи середнього класу; обґрунтувати вибір технічного рішення для приватного будинку.

Також було розраховано економічну ефективність модернізації та дано рекомендації щодо її реалізації.

**Ключові слова:** дефіцит електроенергії в Україні, геліоенергетика, силові мережі.

## ВСТУП

У сучасних умовах питання надійного електропостачання приватного житлового будинку набуває особливої актуальності. Електрична енергія є основою роботи більшості інженерних систем житла: освітлення, побутових приладів, опалювального обладнання, насосів водопостачання, систем вентиляції, охоронної сигналізації, зв'язку та інтернету. Навіть короточасне припинення електропостачання може призвести до зниження рівня комфорту, порушення роботи важливих технічних систем, втрати зв'язку, зупинки опалення або водопостачання. Тому для приватного будинку важливо не лише мати якісно спроектовану електромережу, а й передбачити резервне джерело живлення, здатне підтримувати роботу основних споживачів під час відключень зовнішньої мережі.

Одним із перспективних напрямів забезпечення резервного електропостачання є використання фотоенергетичних систем, які перетворюють енергію сонячного випромінювання в електричну енергію. Такі системи можуть працювати як допоміжне джерело живлення, як частина автономної електроустановки або як гібридна система, поєднана з мережею та акумуляторними батареями. На відміну від традиційних джерел резервного живлення, зокрема бензинових або дизельних генераторів, фотоелектричні установки не потребують постійного споживання палива, працюють безшумно, не створюють вихлопних газів у місці встановлення та можуть використовувати відновлювану енергію сонця.

Актуальність теми розроблення резервної системи електропостачання приватного будинку на основі фотоенергетики зумовлена кількома чинниками. По-перше, у побуті постійно зростає кількість електроприймачів, від яких залежить комфорт і безпека мешканців. По-друге, традиційна

централізована мережа не завжди може гарантувати безперервне живлення, особливо під час аварій, ремонтних робіт, перевантажень або несприятливих погодних умов. По-третє, використання сонячної енергії дозволяє частково зменшити залежність будинку від зовнішнього електропостачання та підвищити рівень енергонезалежності об'єкта.

Фотоенергетична система для приватного будинку зазвичай включає сонячні панелі, інвертор, акумуляторні батареї, контролери заряду, захисну апаратуру, кабельні лінії, комутаційне обладнання та систему моніторингу. Сонячні панелі виробляють електричну енергію постійного струму, інвертор перетворює її у змінну напругу, придатну для живлення побутових споживачів, а акумуляторні батареї накопичують надлишкову енергію для використання в нічний час або під час зникнення напруги в зовнішній мережі. У гібридній системі будинок може отримувати живлення як від мережі, так і від сонячних панелей та акумуляторів, що робить таку систему гнучкою та ефективною.

Особливістю резервної системи на основі фотоенергетики є те, що вона не лише забезпечує електроживлення під час аварійних режимів, а й може працювати у звичайному режимі для часткового покриття власного споживання будинку. У денний час сонячні панелі можуть живити побутові навантаження та заряджати акумуляторні батареї. У разі відключення зовнішньої мережі система автоматично переходить у режим резервного живлення, підтримуючи роботу найважливіших електроприймачів. За правильно підібраної потужності сонячних модулів та ємності акумуляторів така система здатна суттєво підвищити автономність приватного будинку.

Важливим етапом розроблення такої системи є визначення складу резервованих споживачів. До них доцільно віднести освітлення основних приміщень, холодильник, автоматику котла, циркуляційні насоси, інтернет-

обладнання, систему охорони, насос водопостачання та окремі розеткові групи для малопотужної техніки. Потужні електроприймачі, такі як електричний котел, електроплита, бойлер, пральна машина або електрообігрівачі, не завжди доцільно включати до резервованої групи, оскільки вони потребують значної потужності та швидко розряджають акумуляторну батарею. Тому під час проектування необхідно знайти оптимальний баланс між потужністю системи, тривалістю автономної роботи та вартістю обладнання.

Під час вибору обладнання для резервної фотоелектричної системи необхідно враховувати потужність сонячних панелей, тип і потужність інвертора, ємність акумуляторних батарей, умови монтажу, орієнтацію та кут нахилу модулів, втрати в кабельних лініях, ефективність перетворення енергії, режим роботи системи та вимоги електробезпеки. Особливу увагу слід приділити вибору акумуляторів, оскільки саме вони забезпечують роботу споживачів у темний час доби або за відсутності сонячної генерації. Для сучасних побутових систем доцільно застосовувати літій-залізо-фосфатні акумулятори, які мають високий ресурс, добру безпечність, значну допустиму глибину розряду та підходять для регулярної циклічної роботи.

**Метою** даної бакалаврської роботи є розроблення резервної системи електропостачання приватного будинку на основі фотоенергетики з використанням сонячних панелей, інверторного обладнання та акумуляторних батарей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**: розглянути принципи роботи фотоелектричних систем; проаналізувати основні види резервних систем електропостачання приватного будинку; визначити переваги та недоліки мережевих, автономних і гібридних сонячних електростанцій; виконати порівняння основного обладнання;

визначити склад резервованих споживачів; розрахувати необхідну потужність сонячних панелей для системи 9 кВт; підібрати інвертор, акумуляторну батарею та захисну апаратуру; оцінити орієнтовну вартість реалізації системи середнього класу; обґрунтувати вибір технічного рішення для приватного будинку.

**Об'єктом дослідження** є система електропостачання приватного житлового будинку. Предметом дослідження є резервна фотоелектрична система електропостачання з акумуляторним накопиченням енергії.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані технічні рішення можуть бути використані під час проєктування або модернізації електропостачання приватного будинку. Розроблена система дозволяє підвищити надійність живлення основних електроприймачів, зменшити залежність від зовнішньої електромережі, забезпечити використання відновлюваної енергії та створити умови для більш енергоефективної експлуатації житлового об'єкта.

Таким чином, розроблення резервної системи електропостачання приватного будинку на основі фотоенергетики є актуальним інженерним завданням. Воно поєднує питання надійності електропостачання, енергоефективності, використання відновлюваних джерел енергії, електробезпеки та економічної доцільності. Використання сонячних панелей у поєднанні з акумуляторними батареями та гібридним інвертором дозволяє створити сучасну систему резервного живлення, здатну забезпечити автономну роботу важливих споживачів приватного будинку під час відключення зовнішньої мережі.

## **РОЗДІЛ 1 РЕЗЕРВНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ НА ОСНОВІ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИКИ**

### **1.1 Загальна характеристика резервного електропостачання приватного будинку**

Електропостачання приватного житлового будинку є однією з основних інженерних систем, від якої залежить нормальна експлуатація об'єкта, комфорт мешканців, безпека та робота побутового обладнання. У сучасному будинку електрична енергія використовується не лише для освітлення та живлення побутової техніки, а й для роботи систем опалення, водопостачання, вентиляції, зв'язку, охоронної сигналізації, автоматики, насосного обладнання та електронних пристроїв. Тому перерва в електропостачанні може призвести до зупинки важливих систем і створити незручності для мешканців.

Резервна система електропостачання призначена для забезпечення живлення електроприймачів у випадку зникнення або погіршення параметрів напруги в основній електромережі. У приватному будинку резервне електропостачання може бути організоване різними способами: за допомогою генераторної установки, джерела безперебійного живлення, акумуляторної системи, сонячної електростанції або комбінованого комплексу. Вибір конкретного рішення залежить від потужності навантаження, необхідного часу автономної роботи, фінансових можливостей власника, умов експлуатації та вимог до автоматизації.

Одним із найбільш перспективних напрямів резервного живлення є використання геліоенергетики, тобто перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію. У побутових умовах це реалізується за допомогою фотоелектричних модулів, інверторів, акумуляторних батарей

та систем керування. Такий підхід дозволяє не лише створити резервне джерело живлення, а й частково забезпечити будинок власною електроенергією у нормальному режимі роботи.

На відміну від традиційного резервування за допомогою бензинових або дизельних генераторів, фотоелектрична система не потребує постійного використання палива, працює безшумно, не створює вихлопних газів і може автоматично перемикає живлення споживачів на акумуляторну батарею. При цьому в денний час сонячні панелі можуть одночасно жити навантаження та заряджати акумулятори. Це робить систему більш гнучкою, екологічною та зручною в експлуатації.

## **1.2 Поняття геліоенергетики та фотоелектричного перетворення**

Геліоенергетика — це напрям енергетики, пов'язаний із використанням енергії Сонця. Сонячна енергія може застосовуватися для отримання теплової або електричної енергії. Для електропостачання приватного будинку найбільше значення мають фотоелектричні системи, які безпосередньо перетворюють сонячне випромінювання на електричну енергію.

Фотоелектричне перетворення відбувається у сонячних елементах, виготовлених переважно на основі кремнію. Під дією сонячного випромінювання в напівпровідниковому матеріалі виникає електрорушійна сила, у результаті чого на виході фотоелектричного елемента з'являється постійна напруга. Окремі фотоелементи з'єднуються між собою в сонячний модуль, а модулі об'єднуються у фотоелектричне поле або масив.

Основними параметрами сонячного модуля є:

- номінальна потужність;
- напруга холостого ходу;

- струм короткого замикання;
- напруга і струм у точці максимальної потужності;
- коефіцієнт корисної дії;
- температурний коефіцієнт потужності;
- тип сонячних елементів;
- механічні розміри;
- строк служби;
- гарантія на продуктивність.

Потужність сонячної панелі вказується у ватах пікової потужності. Це потужність, яку модуль може виробити за стандартних умов випробування. У реальних умовах потужність залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, температури модуля, кута нахилу, орієнтації, затінення, чистоти поверхні, втрат у кабелях та ефективності інвертора.

Для приватного будинку фотоелектрична система може виконувати дві основні функції. Перша — зменшення споживання електроенергії із зовнішньої мережі в денний час. Друга — забезпечення резервного живлення під час відключення мережі за наявності акумуляторної батареї та відповідного інверторного обладнання.

### **1.3 Основні види фотоелектричних систем**

За способом роботи та підключенням до електромережі сонячні електростанції для приватних будинків можна поділити на три основні види:

1. мережеві сонячні електростанції;
2. автономні сонячні електростанції;
3. гібридні сонячні електростанції.

Кожен тип має свої особливості, переваги, недоліки та сферу застосування.

### **1.3.1 Мережеві сонячні електростанції**

Мережева сонячна електростанція працює паралельно із зовнішньою електромережею. Вона складається із сонячних панелей, мережевого інвертора, захисної апаратури, кабельних ліній та системи обліку електроенергії. Основне призначення такої системи — виробництво електроенергії для власного споживання або передачі надлишків у мережу.

У мережевій системі сонячні панелі виробляють постійний струм, який надходить на мережевий інвертор. Інвертор перетворює постійну напругу у змінну напругу, синхронізовану з параметрами зовнішньої мережі. Якщо будинок споживає електроенергію в момент генерації, енергія від сонячних панелей використовується безпосередньо для живлення навантаження. Якщо генерація перевищує споживання, надлишок може передаватися в мережу за наявності відповідних технічних і юридичних умов.

Переваги мережевої системи:

- відносно низька вартість порівняно з системами з акумуляторами;
- проста структура;
- високий коефіцієнт корисної дії;
- можливість зменшення рахунків за електроенергію;
- менша кількість обладнання;
- не потребує акумуляторної батареї.

Недоліки мережевої системи:

- не забезпечує резервне живлення під час відключення мережі;

- залежить від наявності зовнішньої електромережі;
- потребує синхронізації з мережею;
- не працює в автономному режимі без спеціального обладнання.

Головним недоліком мережевої сонячної електростанції є те, що вона зазвичай вимикається при зникненні напруги в мережі. Це необхідно для безпеки ремонтного персоналу та запобігання зворотній подачі напруги в мережу. Тому для резервного живлення приватного будинку мережева система без акумуляторів не є достатньою.

### **1.3.2 Автономні сонячні електростанції**



Рисунок 1.1 - Автономна сонячна електростанція

Автономна сонячна електростанція працює незалежно від зовнішньої електромережі. Вона складається із сонячних панелей, контролера заряду, акумуляторної батареї, автономного інвертора, захисної апаратури та розподільної мережі споживачів. Така система використовується там, де немає централізованого електропостачання або де необхідно забезпечити повну енергетичну незалежність.

Принцип роботи автономної системи полягає в тому, що сонячні панелі заряджають акумуляторну батарею через контролер заряду, а інвертор перетворює постійну напругу батареї у змінну напругу для живлення побутових споживачів. У денний час навантаження може живитися від сонячних панелей, а вночі або в похмуру погоду — від акумуляторів.

Переваги автономної системи:

- повна незалежність від зовнішньої мережі;
- можливість використання у віддалених місцевостях;
- резервне живлення у будь-який час;
- відсутність потреби в централізованому електропостачанні;
- можливість поєднання з генератором.

Недоліки автономної системи:

- висока вартість через необхідність великої акумуляторної батареї;
- потреба в точному розрахунку балансу енергії;
- залежність від погодних умов;
- необхідність обмежувати споживання;
- потреба у резервному джерелі на періоди низької сонячної генерації.

Автономні системи доцільні для дач, віддалених будинків, господарських об'єктів, телекомунікаційного обладнання, насосних станцій та інших об'єктів, де підключення до мережі є складним або економічно не вигідним.

### **1.3.3 Гібридні сонячні електростанції**

Гібридна сонячна електростанція поєднує можливості мережевої та автономної системи. Вона може працювати з зовнішньою мережею,

сонячними панелями та акумуляторною батареєю. Основним елементом такої системи є гібридний інвертор, який керує потоками енергії між сонячними панелями, акумуляторами, мережею та споживачами.

У нормальному режимі гібридна система може живити будинок від сонячних панелей, заряджати акумуляторну батарею та використовувати електроенергію з мережі при недостатній генерації. У разі відключення зовнішньої мережі інвертор переходить у режим резервного живлення і забезпечує роботу вибраних споживачів від акумуляторів та сонячних панелей.



Рисунок 1.2 - Гібридна сонячна електростанція

Переваги гібридної системи:

- забезпечує резервне живлення;
- дозволяє використовувати сонячну енергію для власного споживання;
- може заряджати акумулятори від сонячних панелей і мережі;
- автоматично перемикається між режимами роботи;
- дозволяє зменшити залежність від зовнішньої мережі;
- може бути розширена додатковими акумуляторами або панелями.

Недоліки гібридної системи:

- вища вартість порівняно з мережевою системою;
- складніша схема підключення;
- потреба у правильному налаштуванні інвертора;
- необхідність сумісності інвертора та акумуляторів;
- потреба у якісній захисній апаратурі.

Для приватного будинку, який має підключення до мережі, але потребує резервного живлення, найбільш доцільною є саме гібридна фотоелектрична система. Вона дозволяє використовувати переваги сонячної генерації та одночасно забезпечує живлення критичних споживачів під час аварійних відключень.

#### **1.4 Склад резервної фотоелектричної системи**

Резервна система електропостачання приватного будинку на основі фотоенергетики складається з таких основних елементів:

- сонячних панелей;
- гібридного або автономного інвертора;

- акумуляторної батареї;
- системи керування акумулятором;
- контролера заряду або вбудованого MPPT-контролера;
- захисної апаратури постійного струму;
- захисної апаратури змінного струму;
- кабельних ліній;
- розподільного щита резервованих навантажень;
- системи моніторингу;
- заземлення та блискавкозахисту.



Рисунок 1.3 - Резервна система електропостачання

Сонячні панелі є джерелом електричної енергії. Вони встановлюються на даху будинку, навісі, господарській споруді або окремій наземній конструкції. Для отримання максимальної генерації панелі повинні мати правильну орієнтацію, оптимальний кут нахилу та мінімальне затінення.

Інвертор перетворює постійну напругу від сонячних панелей або акумуляторів у змінну напругу 230/400 В, яка використовується побутовими електроприймачами. У резервних системах найчастіше використовують гібридні інвертори, оскільки вони можуть працювати з мережею, акумуляторами та сонячними панелями.

Акумуляторна батарея накопичує енергію для використання вночі або під час відключення зовнішньої мережі. Для сучасних систем приватних будинків доцільно застосовувати літій-залізо-фосфатні батареї, оскільки вони мають великий ресурс, високу допустиму глибину розряду та кращу придатність до циклічної роботи.

MPPT-контролер забезпечує роботу сонячних панелей у точці максимальної потужності. Це дозволяє отримати більшу кількість енергії від фотоелектричного масиву за змінних умов освітлення та температури. У сучасних гібридних інверторах MPPT-контролери часто вбудовані.

Захисна апаратура потрібна для безпечної експлуатації системи. У колах постійного струму встановлюють DC-автомати, запобіжники, роз'єднувачі та обмежувачі перенапруги. У колах змінного струму застосовують автоматичні вимикачі, пристрої захисного вимкнення, реле напруги, контактори та перемикачі джерел живлення.

Розподільний щит резервованих навантажень дозволяє відокремити критично важливі споживачі від загальної мережі будинку. Це дає змогу зменшити необхідну потужність інвертора та ємність акумуляторної батареї.

### 1.5 Види сонячних панелей



- тонкоплівочні  
(аморфний кремній)



- монокристалічні



- полікристалічні

Рисунок 1.4 - Види сонячних панелей

Сонячні панелі можуть відрізнятися за матеріалом, технологією виготовлення, конструкцією та ефективністю. Найпоширенішими є такі типи:

- монокристалічні панелі;
- полікристалічні панелі;
- тонкоплівкові панелі;
- PERC-модулі;
- TOPCon-модулі;
- HJT-модулі;
- двосторонні, або bifacial, модулі.

### **1.5.1 Монокристалічні сонячні панелі**

Монокристалічні панелі виготовляються з кремнію з однорідною кристалічною структурою. Вони мають високий коефіцієнт корисної дії, добрі електричні характеристики та тривалий строк служби. Такі панелі зазвичай мають темний, майже чорний колір і добре підходять для дахових систем, де площа встановлення обмежена.

Переваги монокристалічних панелей:

- високий ККД;
- добра продуктивність на обмеженій площі;
- тривалий строк експлуатації;
- широкий вибір моделей;
- висока надійність.

Недоліки:

- вища ціна порівняно з деякими іншими типами;
- зниження потужності при затіненні;
- залежність від температури модуля.

Для приватного будинку монокристалічні панелі є одним із найкращих варіантів, оскільки вони дозволяють отримати більшу потужність на обмеженій площі даху.

### **1.5.2 Полікристалічні сонячні панелі**

Полікристалічні панелі виготовляються з кремнію, який має багато кристалічних зерен. Вони раніше широко використовувалися завдяки нижчій вартості, проте поступово поступаються монокристалічним модулям за ефективністю та популярністю.

Переваги полікристалічних панелей:

- нижча вартість;
- проста технологія виробництва;
- достатня надійність;
- доступність.

Недоліки:

- нижчий ККД;
- більша площа для тієї самої потужності;
- гірша продуктивність при високій температурі порівняно з сучасними технологіями;
- менша актуальність для нових побутових систем.

Полікристалічні панелі можуть застосовуватися у випадках, коли є достатньо місця для монтажу, а головним критерієм є мінімальна вартість. Проте для сучасної системи приватного будинку на 9 кВт доцільніше використовувати монокристалічні модулі.

### **1.5.3 Тонкоплівкові сонячні панелі**

Тонкоплівкові панелі виготовляються шляхом нанесення тонкого шару фотоактивного матеріалу на основу. Вони можуть бути легкими, гнучкими та

менш чутливими до часткового затінення. Проте їхній ККД зазвичай нижчий, ніж у кристалічних кремнієвих панелей.

Переваги тонкоплівкових панелей:

- можливість виготовлення гнучких модулів;
- менша маса;
- краща робота при розсіяному освітленні;
- можливість інтеграції в будівельні конструкції.

Недоліки:

- нижча ефективність;
- потреба у більшій площі;
- менша поширеність у приватних дахових системах;
- складніший підбір обладнання.

Для приватного будинку тонкоплівкові панелі застосовують рідше. Вони можуть бути доцільними для спеціальних конструкцій, де важлива мала маса або гнучкість, але для стандартної дахової сонячної електростанції краще підходять монокристалічні панелі.

#### **1.5.4 PERC, TOPCon, HJT та bifacial-модулі**

Сучасні сонячні модулі часто використовують удосконалені технології сонячних елементів. PERC-технологія передбачає додатковий пасивований шар на зворотному боці елемента, що підвищує ефективність перетворення енергії. TOPCon є сучаснішою технологією з тунельним оксидним шаром і пасивованими контактами, яка дозволяє досягати вищої ефективності та кращої роботи при високих температурах. HJT поєднує кристалічний кремній і тонкоплівкові шари, забезпечуючи високу ефективність і добрі температурні характеристики.

Bifacial-модулі здатні сприймати світло з обох боків. Вони можуть виробляти додаткову енергію за рахунок відбитого випромінювання від поверхні даху, землі або спеціального покриття. Їхня ефективність залежить від умов монтажу, висоти встановлення та коефіцієнта відбиття поверхні.

Для приватного будинку середнього класу оптимальним варіантом можна вважати монокристалічні панелі з технологією PERC або TOPCon. Вони мають високу ефективність, добру доступність на ринку та прийнятне співвідношення ціни і якості.

## 1.6 Порівняння типів сонячних панелей

Таблиця 1.1 — Порівняння основних типів сонячних панелей

Тип панелі	Переваги	Недоліки	Доцільність використання
Монокристалічна	Високий ККД, компактність, довговічність, хороший зовнішній вигляд	Вища ціна порівняно з полікристалічними	Найкращий варіант для дахів приватних будинків
Полікристалічна	Нижча ціна, проста технологія, доступність	Нижчий ККД, більша площа для тієї самої потужності	Можна використовувати за наявності великої площі
Тонкоплівкова	Мала маса, гнучкість, робота при розсіяному світлі	Низький ККД, потреба у великій площі	Спеціальні конструкції, нестандартні поверхні
PERC	Вища ефективність, поширеність,	Поступається найновішим технологіям	Добрий варіант середнього класу

	доступна ціна		
TOPCon	Висока ефективність, краща робота при нагріванні, сучасна технологія	Дещо вища ціна	Перспективний вибір для нових систем
HJT	Висока ефективність, добрі температурні характеристики	Вища вартість	Преміальні або високоефективні системи
Bifacial	Додаткова генерація з тильної сторони	Потребує правильного монтажу та відбитої поверхні	Дахові та наземні системи з добрими умовами відбиття

З таблиці видно, що для резервної системи електропостачання приватного будинку найдоцільніше використовувати монокристалічні модулі PERC або TOPCon. Вони забезпечують високу потужність на одиницю площі, мають значний строк служби та добре підходять для встановлення на даху будинку.

### **1.7 Інвертори для фотоелектричних систем**

Інвертор є одним із найважливіших елементів сонячної електростанції. Він перетворює постійний струм від сонячних панелей або акумуляторів у змінний струм, який використовується побутовими електроприймачами.

За призначенням інвертори поділяють на:

- мережеві;

- автономні;
- гібридні.

Мережевий інвертор працює тільки за наявності зовнішньої електромережі. Він синхронізується з мережею та передає в неї електроенергію або забезпечує власне споживання будинку. Такий інвертор не може самостійно створювати мережу для живлення будинку під час відключення зовнішнього живлення.

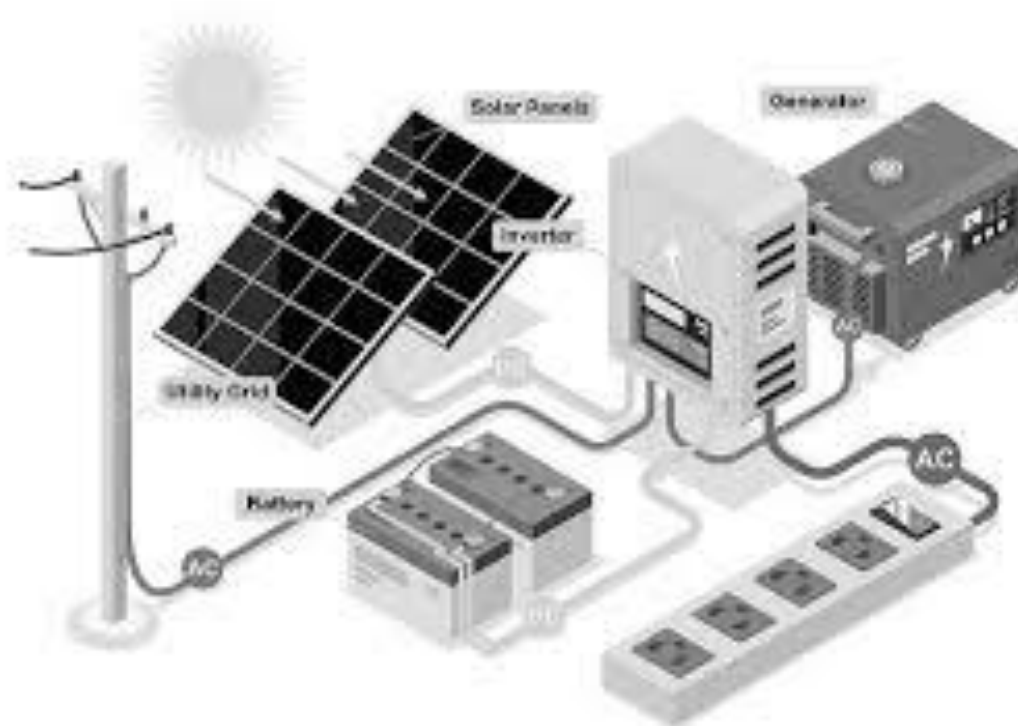


Рисунок 1.5 - Інвертори для фотоелектричних систем

Автономний інвертор працює від акумуляторної батареї та створює змінну напругу для споживачів незалежно від зовнішньої мережі. Він використовується в автономних системах, але не завжди має можливість повноцінної роботи з мережею або сонячними панелями.

Гібридний інвертор поєднує функції мережевого й автономного інвертора. Він може працювати з сонячними панелями, акумуляторами,

зовнішньою мережею та навантаженням. Саме гібридний інвертор є найбільш доцільним для резервної фотоелектричної системи приватного будинку.

Основні характеристики інвертора:

- номінальна потужність;
- пікова потужність;
- кількість фаз;
- діапазон вхідної напруги сонячних панелей;
- кількість MPPT-входів;
- підтримувана напруга акумуляторів;
- максимальний струм заряду і розряду;
- ККД;
- час перемикання на резервне живлення;
- можливість паралельної роботи;
- сумісність із BMS акумуляторів;
- наявність моніторингу.

Для приватного будинку з резервною системою на 9 кВт доцільно використовувати гібридний інвертор потужністю 8–10 кВт. Якщо будинок має трифазне введення, краще використовувати трифазний інвертор. Якщо живлення однофазне, можна застосувати однофазний інвертор відповідної потужності.

### **1.8 Акумуляторні батареї для резервних фотоелектричних систем**

Акумуляторна батарея є необхідною складовою резервної системи електропостачання. Без акумуляторів сонячна електростанція не зможе забезпечувати живлення вночі або під час відключення мережі, якщо сонячної генерації недостатньо.



Рисунок 1.6 - Акумуляторні батареї

У фотоелектричних системах можуть використовуватися такі типи акумуляторів:

- свинцево-кислотні;
- AGM;
- GEL;
- літій-іонні;
- $\text{LiFePO}_4$  .

Свинцево-кислотні акумулятори мають невисоку початкову вартість, але значну масу, обмежений ресурс і невелику допустиму глибину розряду. AGM і GEL є більш зручними різновидами свинцево-кислотних акумуляторів, але також поступаються літійовим батареям за кількістю циклів і корисною ємністю.

Літій-іонні батареї мають високу енергетичну щільність, малу масу та високий ККД. Серед них для стаціонарних систем резервного живлення особливо доцільними є  $\text{LiFePO}_4$  -акумулятори. Вони мають добру термічну стабільність, великий ресурс, значну допустиму глибину розряду та високу безпеку.

Переваги  $\text{LiFePO}_4$  -батареї:

- великий ресурс циклів;
- висока допустима глибина розряду;
- стабільна напруга;
- висока ефективність;
- менша маса порівняно зі свинцевими батареями;
- відсутність потреби в обслуговуванні;
- сумісність із сучасними гібридними інверторами;
- можливість модульного нарощування ємності.

Недоліки LiFePO<sub>4</sub> -батарей:

- вища початкова ціна;
- необхідність використання BMS;
- обмеження щодо заряджання при низьких температурах;
- потреба у сумісності з інвертором.

Для приватного будинку з системою 9 кВт доцільно використовувати акумуляторну батарею на основі LiFePO<sub>4</sub>. Це забезпечить кращу довговічність, більшу корисну ємність і стабільнішу роботу під час регулярних циклів заряду та розряду.

## 1.9 Режими роботи резервної фотоелектричної системи

Гібридна фотоелектрична система приватного будинку може працювати в кількох режимах.

Перший режим — живлення навантаження від сонячних панелей. У денний час, коли є достатня сонячна генерація, енергія від панелей використовується для живлення споживачів будинку. Це дозволяє зменшити споживання електроенергії із зовнішньої мережі.

Другий режим — заряджання акумуляторної батареї. Якщо генерація сонячних панелей перевищує поточне споживання будинку, надлишкова енергія спрямовується на заряд акумуляторів. Це дає можливість використовувати накопичену енергію ввечері, вночі або під час відключення мережі.

Третій режим — живлення від зовнішньої мережі. Якщо сонячної генерації недостатньо, а акумуляторна батарея розряджена або її заряд потрібно зберегти, будинок може житися від централізованої електромережі.

Четвертий режим — резервне живлення від акумуляторів. У разі зникнення напруги в зовнішній мережі інвертор автоматично перемикає резервовані споживачі на живлення від акумуляторної батареї. Якщо в цей час є сонячна генерація, панелі можуть додатково жити навантаження та заряджати батарею.

П'ятий режим — комбіноване живлення. У цьому режимі навантаження одночасно живиться від сонячних панелей, акумуляторів і мережі залежно від налаштувань інвертора та пріоритетів енергоспоживання.

Наявність кількох режимів роботи є однією з головних переваг гібридної системи. Вона дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію, підвищити автономність будинку та забезпечити резервне живлення критичних споживачів.

### **1.10 Резервовані споживачі приватного будинку**

Під час проектування резервної системи електропостачання важливо правильно визначити, які споживачі будуть підключені до резервної лінії. Якщо підключити всі електроприймачі будинку, потрібна буде значно більша

потужність інвертора та більша ємність акумуляторної батареї, що суттєво збільшить вартість системи.

Доцільно поділити споживачі на три групи:

1. критично важливі;
2. додаткові;
3. нерезервовані.

До критично важливих споживачів належать:

- освітлення основних приміщень;
- холодильник;
- автоматика котла;
- циркуляційні насоси;
- насос водопостачання;
- інтернет-обладнання;
- охоронна сигналізація;
- система відеоспостереження;
- окремі розетки для заряджання телефонів і ноутбуків.

До додаткових споживачів можна віднести телевізор, комп'ютер, кухонну техніку короткочасної дії, невеликі електроприлади. Їх можна підключати за умови достатнього заряду акумуляторів і невеликого поточного навантаження.

До нерезервованих споживачів доцільно віднести електричний котел, бойлер, електроплиту, духову шафу, пральну машину, кондиціонери, електрообігрівачі та інші потужні прилади. Такі споживачі мають значну потужність і можуть швидко розрядити акумуляторну батарею.

Для підвищення надійності роботи системи доцільно створити окремий щит резервованих навантажень. Це дозволяє чітко контролювати, які лінії отримують живлення від інвертора під час аварійного режиму.

## 1.11 Порівняння резервних систем електропостачання

Таблиця 1.2 — Порівняння способів резервного електропостачання приватного будинку

<b>Спосіб резервування</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>	<b>Доцільність використання</b>
Бензиновий генератор	Відносно низька ціна, можливість тривалої роботи за наявності палива	Шум, вихлопи, ручне обслуговування, потреба в паливі	Тимчасове резервування, дачі, невеликі будинки
Дизельний генератор	Надійність, більша потужність, економічність при тривалій роботі	Висока ціна, шум, вихлопи, технічне обслуговування	Великі будинки, тривалі відключення
UPS	Швидке перемикання, захист електроніки	Невелика автономність, мала потужність	Комп'ютери, котли, роутери
Акумуляторна система без СЕС	Безшумність, автоматична робота, відсутність палива	Обмежена ємність, заряд лише від мережі	Резервування важливих споживачів
Мережева СЕС	Економія електроенергії, простота, високий ККД	Не працює при відключенні мережі без АКБ	Зменшення споживання з мережі
Автономна СЕС	Незалежність від мережі, робота у віддалених місцях	Висока вартість АКБ, залежність від погоди	Об'єкти без мережевого підключення
Гібридна СЕС з АКБ	Резервне живлення, економія, заряд від сонця, автоматизація	Вища вартість, складніший монтаж	Оптимальний варіант для приватного будинку

З порівняння видно, що гібридна фотоелектрична система з акумуляторами є найбільш універсальним рішенням для приватного будинку. Вона поєднує можливість використання сонячної енергії, резервного живлення та роботи з зовнішньою мережею.

### **1.12 Переваги резервних систем на основі фотоенергетики**

Резервні системи електропостачання на основі фотоенергетики мають низку важливих переваг.

По-перше, вони використовують відновлюване джерело енергії. Сонячна енергія є доступною, безкоштовною під час експлуатації та не потребує доставки палива. Це зменшує залежність будинку від зовнішніх енергоресурсів.

По-друге, фотоелектричні системи працюють безшумно. На відміну від генераторів, вони не створюють шуму, вібрацій і вихлопних газів. Це особливо важливо для житлових будинків, де комфорт мешканців є одним із головних критеріїв.

По-третє, гібридна система може працювати автоматично. При зникненні напруги в мережі інвертор перемикає живлення на акумулятори, а при відновленні мережі повертається до нормального режиму. Це не потребує постійної участі користувача.

По-четверте, система може зменшувати витрати на електроенергію. У денний час частина споживання покривається сонячною генерацією, що дозволяє зменшити відбір електроенергії з мережі.

По-п'яте, систему можна масштабувати. За потреби можна додати додаткові сонячні панелі, збільшити ємність акумуляторів або встановити інвертор більшої потужності.

По-шосте, фотоелектрична система підвищує енергетичну незалежність приватного будинку. Навіть якщо повна автономність не досягається, будинок стає менш залежним від аварій у зовнішній мережі.

### **1.13 Недоліки та обмеження фотоелектричних систем**

Попри значні переваги, резервні системи на основі фотоенергетики мають і певні недоліки.

Основним недоліком є залежність від сонячного випромінювання. У похмуру погоду, взимку, вранці, ввечері та вночі генерація сонячних панелей зменшується або відсутня. Тому для резервного живлення обов'язково потрібна акумуляторна батарея.

Другим недоліком є висока початкова вартість. Гібридна система з сонячними панелями, інвертором і акумуляторами коштує дорожче, ніж проста генераторна установка або звичайний UPS. Проте така система має нижчі експлуатаційні витрати, оскільки не потребує палива.

Третім обмеженням є потреба у достатній площі для встановлення панелей. Для системи потужністю 9 кВт необхідна значна площа даху або наземної конструкції. При цьому потрібно враховувати орієнтацію, нахил і можливе затінення.

Четвертим недоліком є складність проектування та монтажу. Необхідно правильно підібрати напругу стрингів, кількість панелей, інвертор, акумулятори, захист постійного і змінного струму, кабелі та систему заземлення.

П'ятим обмеженням є те, що не всі побутові споживачі доцільно живити від резервної системи. Потужні електронагрівальні прилади можуть швидко розрядити батарею, тому їх краще не підключати до резервованої групи.

## 1.14 Вимоги до монтажу та безпеки

Фотоелектрична система приватного будинку повинна бути змонтована з дотриманням вимог електробезпеки. Особливу увагу необхідно приділити колам постійного струму, оскільки сонячні панелі можуть створювати небезпечну напругу навіть при відключенні інвертора, якщо на них потрапляє світло.

Основні вимоги до монтажу:

- правильний вибір перерізу кабелів;
- використання кабелів, призначених для сонячних систем;
- встановлення DC-автоматів або роз'єднувачів;
- встановлення обмежувачів перенапруги;
- правильне заземлення металевих конструкцій;
- захист від блискавкових перенапруг;
- надійне кріплення панелей;
- уникнення затінення модулів;
- дотримання полярності підключення;
- використання сумісного обладнання.

Для акумуляторної батареї необхідно передбачити захист від короткого замикання, перевантаження, перегріву, перезаряду та глибокого розряду. У літєвих батареях ці функції виконує BMS, але додатково потрібні зовнішні захисні апарати.

Інвертор і акумулятори слід встановлювати у сухому, вентилярованому технічному приміщенні з доступом для обслуговування. Обладнання не повинно розміщуватися у місцях з підвищеною вологістю, високою температурою або прямим сонячним промінням.

### **1.15 Вибір оптимальної системи для приватного будинку**

Для приватного будинку, який має підключення до зовнішньої мережі, але потребує резервного живлення, оптимальним рішенням є гібридна сонячна електростанція з акумуляторною батареєю. Вона дозволяє використовувати сонячну енергію для покриття частини власного споживання, заряджати акумулятори та забезпечувати живлення критичних споживачів під час відключень.

Для системи потужністю 9 кВт доцільно застосувати:

- монокристалічні сонячні панелі PERC або TOPCon;
- гібридний інвертор потужністю близько 9–10 кВт;
- акумуляторну батарею LiFePO<sub>4</sub> ;
- окремий щит резервованих навантажень;
- захисну апаратуру DC і AC;
- систему моніторингу;
- можливість подальшого розширення.

Саме така структура забезпечує найкраще співвідношення між вартістю, функціональністю, автономністю та надійністю.

### **Висновки до розділу**

У першому розділі було розглянуто резервні системи електропостачання приватного будинку на основі геліоенергетики. Встановлено, що фотоелектричні системи є перспективним рішенням для підвищення надійності електропостачання, оскільки вони дозволяють використовувати відновлювану енергію Сонця та забезпечувати живлення споживачів під час аварійних відключень.

Розглянуто основні типи сонячних електростанцій: мережеві, автономні та гібридні. Визначено, що мережева система є найпростішою та дешевшою, але не забезпечує резервного живлення при зникненні напруги в зовнішній мережі. Автономна система забезпечує повну незалежність, але потребує великої акумуляторної батареї та точного розрахунку енергобалансу. Найбільш доцільним варіантом для приватного будинку є гібридна фотоелектрична система, яка поєднує роботу з мережею, сонячними панелями та акумуляторами.

Проаналізовано основні види сонячних панелей: монокристалічні, полікристалічні, тонкоплівкові, PERC, TOPCon, HJT і bifacial. Для сучасної побутової системи потужністю 9 кВт найдоцільніше використовувати монокристалічні модулі PERC або TOPCon, оскільки вони мають високу ефективність, добру доступність і раціональне співвідношення ціни та якості.

Розглянуто основні типи інверторів для фотоелектричних систем. Встановлено, що для резервного живлення приватного будинку найкраще підходить гібридний інвертор, який може працювати з сонячними панелями, акумуляторами, мережею та навантаженням. Також визначено, що для накопичення енергії доцільно застосовувати LiFePO<sub>4</sub>-акумулятори, які мають високий ресурс, значну допустиму глибину розряду та кращу придатність до циклічної роботи.

Таким чином, резервна система електропостачання приватного будинку на основі фотоенергетики повинна включати сонячні панелі, гібридний інвертор, акумуляторну батарею, захисну апаратуру, кабельні лінії та окремий щит резервованих навантажень. Такий комплекс дозволяє підвищити енергонезалежність будинку, забезпечити роботу критичних споживачів під час відключення мережі та ефективно використовувати відновлювану сонячну енергію.

## **РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК, ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ВАРТОСТІ РЕЗЕРВНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ НА ОСНОВІ ФОТОЕНЕРГЕТИКИ ПОТУЖНІСТЮ 9 КВТ**

### **2.1 Загальні умови розрахунку**

Розроблення резервної системи електропостачання приватного будинку на основі фотоенергетики передбачає комплексний підбір сонячних панелей, інверторного обладнання, акумуляторної батареї, захисної апаратури, кабельних ліній та розподільного щита резервованих споживачів. Основною метою такої системи є забезпечення будинку електричною енергією від сонячних панелей у денний час, накопичення надлишкової енергії в акумуляторних батареях та підтримання роботи основних споживачів під час відключення зовнішньої мережі.

У даній роботі виконується розрахунок фотоелектричної системи потужністю 9 кВт для приватного будинку. Під потужністю 9 кВт у цьому випадку розуміється встановлена пікова потужність сонячних панелей. Це означає, що за стандартних умов випробування фотоелектричний масив може мати номінальну потужність близько 9 кВт. У реальних умовах фактична генерація залежить від пори року, погодних умов, орієнтації панелей, кута нахилу, затінення, температури модулів та втрат у системі.

Резервна фотоелектрична система приватного будинку повинна виконувати такі функції:

- виробляти електроенергію від сонячних панелей;
- живити частину побутових споживачів у денний час;
- заряджати акумуляторну батарею;
- автоматично переходити в резервний режим при зникненні напруги в зовнішній мережі;

- забезпечувати роботу критично важливих споживачів від акумуляторів;
- мати можливість подальшого розширення;
- забезпечувати електробезпеку та захист обладнання.

Для приватного будинку найбільш доцільною є гібридна структура системи. Вона включає сонячні панелі, гібридний інвертор, акумуляторні батареї та підключення до зовнішньої мережі. Така система може працювати як від сонячної генерації, так і від мережі або акумуляторів.

У даній роботі приймаються такі вихідні умови:

- встановлена потужність сонячних панелей — близько 9 кВт;
- тип системи — гібридна;
- тип акумуляторів —  $\text{LiFePO}_4$  ;
- тип інвертора — гібридний, з чистою синусоїдою;
- потужність інвертора — 10 кВт;
- призначення системи — власне споживання та резервне живлення;
- об'єкт — приватний житловий будинок;
- клас обладнання — середній за співвідношенням ціни та якості.

## 2.2 Визначення резервованих споживачів

Першим етапом розрахунку є визначення переліку споживачів, які повинні отримувати електроживлення під час аварійного режиму. Не всі електроприймачі будинку доцільно підключати до резервної системи. Потужні споживачі, такі як електричний котел, електроплита, бойлер,

пральна машина, електрообігрівачі та кондиціонери, можуть швидко розряджати акумуляторну батарею. Тому їх доцільно залишити нерезервованими або підключати лише за наявності достатньої генерації та великої ємності батарей.

До резервованих споживачів у даному проєкті відносяться:

- освітлення основних приміщень;
- холодильник;
- автоматика котла;
- циркуляційні насоси системи опалення;
- інтернет-роутер і комунікаційне обладнання;
- охоронна сигналізація;
- насос водопостачання;
- окремі розетки для заряджання телефонів і ноутбуків;
- телевізор або комп'ютер;
- невелика побутова техніка короткочасної дії.

Орієнтовний перелік резервованих споживачів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Орієнтовний перелік резервованих споживачів приватного будинку

№	Споживач	Потужність одного споживача, Вт	Кількість	Сумарна потужність, Вт	Орієнтовний час роботи, год/добу
1	LED-освітлення основних приміщень	15	14	210	5
2	Холодильник	200	1	200	8

3	Циркуляційний насос	80	2	160	10
4	Автоматика котла	100	1	100	10
5	Інтернет-роутер, комутатор	30	1	30	24
6	Охоронна система	50	1	50	24
7	Насос водопостачання	800	1	800	1
8	Телевізор	120	1	120	3
9	Ноутбуки або комп'ютер	100	2	200	4
10	Розеткова група малої техніки	1000	1	1000	2
11	Кухонне навантаження короткочасної дії	1500	1	1500	0,3
12	Резерв потужності	—	—	1500	—

Сумарна встановлена потужність резервованих споживачів становить:

$$P_{\text{вст}} = 210 + 200 + 160 + 100 + 30 + 50 + 800 + 120 + 200 + 1000 + 1500 + 1500 = 5870 \text{ Вт.}$$

Отже, орієнтовна встановлена потужність резервованих споживачів становить близько 5,87 кВт. З урахуванням пускових струмів

електродвигунів, можливого одночасного вмикання кількох приладів і запасу на майбутнє, доцільно прийняти інвертор потужністю 10 кВт.

### 2.3 Розрахунок добового споживання резервованих навантажень

Для визначення необхідної ємності акумуляторної батареї потрібно розрахувати кількість електроенергії, яку споживають резервовані навантаження протягом доби. Спожита електроенергія визначається за формулою:

$$E = P \cdot t,$$

де  $E$  — електроенергія, Вт·год;

$P$  — потужність споживача, Вт;

$t$  — час роботи, год.

Для отримання результату в кіловат-годинах формула має вигляд:

$$E = P \cdot t / 1000,$$

де  $E$  — електроенергія, кВт·год;

$P$  — потужність, Вт;

$t$  — час роботи, год.

Розрахунок добового споживання наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Добове споживання резервованих споживачів

№	Споживач	Сумарна потужність, Вт	Час роботи, год	Споживання, кВт·год
1	LED-освітлення	210	5	1,05
2	Холодильник	200	8	1,60

3	Циркуляційні насоси	160	10	1,60
4	Автоматика котла	100	10	1,00
5	Інтернет-обладнання	30	24	0,72
6	Охоронна система	50	24	1,20
7	Насос водопостачання	800	1	0,80
8	Телевізор	120	3	0,36
9	Ноутбуки або комп'ютер	200	4	0,80
10	Розеткова група малої техніки	1000	2	2,00
11	Кухонне навантаження короткочасної дії	1500	0,3	0,45

Сумарне добове споживання становить:

$$E_{доб} = 1,05 + 1,60 + 1,60 + 1,00 + 0,72 + 1,20 + 0,80 + 0,36 + 0,80 + 2,00 + 0,45 = 11,58 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Для подальших розрахунків приймаємо:

$$E_{доб} = 11,6 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Це значення показує, що для забезпечення роботи основних резервованих споживачів протягом доби потрібно приблизно 11,6 кВт·год корисної електричної енергії.

#### 2.4 Розрахунок потужності сонячної електростанції

Потужність сонячної електростанції визначається з урахуванням добового споживання, середньодобової сонячної інсоляції та втрат у системі. Загальна формула для орієнтовного розрахунку має вигляд:

$$P_{\text{сес}} = E_{\text{доб}} / (H \cdot \eta_{\text{с}}),$$

де  $P_{\text{сес}}$  — необхідна потужність сонячної електростанції, кВт;

$E_{\text{доб}}$  — добове споживання електроенергії, кВт·год;

$H$  — середня кількість еквівалентних сонячних годин на добу, год;

$\eta_{\text{с}}$  — загальний коефіцієнт ефективності системи.

Коефіцієнт ефективності враховує втрати в інверторі, кабельних лініях, втрати від нагрівання панелей, забруднення, неідеальної орієнтації та інших факторів. Для попереднього розрахунку можна прийняти:

$$\eta_{\text{с}} = 0,75\text{--}0,85.$$

Приймаємо:

$$\eta_{\text{с}} = 0,8.$$

Середнє значення еквівалентних сонячних годин залежить від регіону та пори року. Для попереднього розрахунку приватної СЕС можна прийняти середнє значення:

$$H = 3,5 \text{ год/добу}.$$

Тоді необхідна потужність сонячної електростанції:

$$P_{\text{сес}} = 11,6 / (3,5 \cdot 0,8) = 11,6 / 2,8 = 4,14 \text{ кВт}.$$

Отримане значення показує, що для покриття середнього добового споживання резервованих споживачів у середньорічних умовах достатньо приблизно 4–5 кВт сонячних панелей. Проте у даній роботі розглядається система на 9 кВт. Такий запас потужності є доцільним з кількох причин:

- у зимовий період сонячна генерація значно нижча;
- у похмуру погоду панелі виробляють менше енергії;
- частина енергії витрачається на заряд акумуляторів;
- можливе збільшення кількості споживачів у майбутньому;
- частину енергії можна використовувати для власного

споживання вдень;

- система має більшу енергонезалежність.

Отже, встановлена потужність сонячного поля 9 кВт є технічно обґрунтованою для приватного будинку з резервним електропостачанням.

## 2.5 Підбір сонячних панелей

Для системи потужністю 9 кВт доцільно використовувати сучасні монокристалічні сонячні панелі потужністю 540–560 Вт. Такі панелі мають хороше співвідношення ціни та ефективності, широко доступні на ринку та підходять для дахових систем приватних будинків.

### Сонячна панель Longi Solar 550 W LR5-54НН Black Frame

**3570 €**



Солнечная панель Longi Solar 550 W LR5-54НН Black Frame Солнечная панель Longi Solar 550W LR5-54НН Black Frame – монокристаллический модуль последнего поколения серии Hi-MO5, выполненный с использованием технологий Half-Cell и Multi-Busbar (MBB). Панель состоит из 108 ячеек и отличается высокой эффективностью работы даже при слабом освещении. Черная рамка придаёт стильный современный вид, что особенно важно для крышных установок. Характеристики: Основные Производитель LONGi Solar Страна производитель Китай КПД, не менее 21.3 % Количество элементов 108 шт Максимальная рабочая температура 85 град. Материал рамки Алюминий Минимальная рабочая температура -40 град. Мощность 550 Вт Напряжение 1500 В Напряжение при максимальной мощности 31.49 В Напряжение холостого хода 37.5 В Степень защиты IP 68 Тип панели Монокристаллическая Ток короткого замыкания 13.18 А Ток при максимальной мощности 13.94 А Габаритные размеры Вес 20.8 кг Длина 722 мм Толщина 30 мм Ширина 1134 мм Температурные коэффициенты Температурный коэффициент мощности -0.34 %/°C Температурный коэффициент напряжения -0.265 %/°C Температурный коэффициент тока 0.05 %/°C Устойчива к влаге, коррозии и механическим нагрузкам. Отличное решение для домашних и коммерческих солнечных электростанций

Рисунок 2.1 - Сонячні панелі Longi Solar потужністю 550 Вт

Як приклад можна обрати сонячні панелі Longi Solar потужністю 550 Вт або аналогічні модулі Jinko Solar, JA Solar, Trina Solar, Risen чи Canadian Solar. Для дипломного проекту приймаємо сонячну панель потужністю:

$$P_{\text{пан}} = 550 \text{ Вт} = 0,55 \text{ кВт.}$$

Необхідна кількість панелей визначається за формулою:

$$N = P_{\text{сес}} / P_{\text{пан}},$$

де  $N$  — кількість сонячних панелей;

$P_{\text{сес}}$  — встановлена потужність сонячної електростанції, кВт;

$P_{\text{пан}}$  — потужність однієї панелі, кВт.

Для системи 9 кВт:

$$N = 9 / 0,55 = 16,36.$$

Оскільки кількість панелей має бути цілим числом, приймаємо:

$$N = 16 \text{ панелей.}$$

Фактична встановлена потужність при 16 панелях становитиме:

$$P_{\text{факт}} = 16 \cdot 0,55 = 8,8 \text{ кВт.}$$

Якщо необхідно отримати потужність трохи більше 9 кВт, можна встановити 17 панелей:

$$P_{\text{факт}} = 17 \cdot 0,55 = 9,35 \text{ кВт.}$$

У даній роботі приймаємо варіант із 17 панелями по 550 Вт, оскільки він краще відповідає заданій потужності 9 кВт.

Отже:

- кількість панелей — 17 шт.;
- потужність однієї панелі — 550 Вт;
- загальна встановлена потужність — 9,35 кВт.

## 2.6 Орієнтовна площа для встановлення сонячних панелей

Для приватного будинку важливо перевірити, чи достатньо площі даху для встановлення необхідної кількості сонячних панелей. Сучасна панель потужністю 550 Вт зазвичай має площу близько 2,5–2,7 м<sup>2</sup>. Для попереднього розрахунку приймаємо площу однієї панелі:

$$S_{\text{пан}} = 2,6 \text{ м}^2.$$

Загальна площа панелей визначається за формулою:

$$S_{\text{заг}} = N \cdot S_{\text{пан}},$$

де  $S_{\text{заг}}$  — загальна площа сонячних панелей,  $\text{м}^2$ ;

$N$  — кількість панелей;

$S_{\text{пан}}$  — площа однієї панелі,  $\text{м}^2$ .

Для 17 панелей:

$$S_{\text{заг}} = 17 \cdot 2,6 = 44,2 \text{ м}^2.$$

Отже, для встановлення сонячної електростанції потужністю близько 9,35 кВт потрібно приблизно 44–45  $\text{м}^2$  корисної площі даху або наземної конструкції.

При виборі місця встановлення потрібно враховувати:

- орієнтацію панелей переважно на південь;
- кут нахилу приблизно 30–35°;
- відсутність затінення від дерев, димарів, антен та сусідніх будівель;
- міцність покрівлі;
- можливість безпечного прокладання кабелів;
- доступ для обслуговування.

## 2.7 Розрахунок орієнтовної добової генерації

Добова генерація сонячної електростанції визначається за формулою:

$$E_{\text{ген}} = P_{\text{сес}} \cdot N \cdot \eta_{\text{с}},$$

де  $E_{\text{ген}}$  — добова генерація електроенергії, кВт·год;

$P_{\text{сес}}$  — встановлена потужність сонячних панелей, кВт;

$N$  — кількість еквівалентних сонячних годин, год;

$\eta_{\text{с}}$  — коефіцієнт ефективності системи.

Для прийнятої системи:

$$P_{\text{сес}} = 9,35 \text{ кВт};$$

$$H = 3,5 \text{ год};$$

$$\eta_{\text{с}} = 0,8.$$

Тоді:

$$E_{\text{ген}} = 9,35 \cdot 3,5 \cdot 0,8 = 26,18 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}.$$

Отже, у середньорічних умовах система потужністю 9,35 кВт може виробляти приблизно 26 кВт·год електроенергії на добу. Це значення є орієнтовним. Улітку генерація може бути значно вищою, а взимку — значно нижчою. Тому під час експлуатації системи потрібно враховувати сезонність сонячної енергії.

Якщо добове споживання резервованих споживачів становить 11,6 кВт·год, то в середньорічний сонячний день така система може не лише покрити це споживання, а й зарядити акумуляторну батарею або забезпечити додаткові побутові навантаження.

## 2.8 Підбір гібридного інвертора

Інвертор є центральним елементом гібридної фотоелектричної системи. Він виконує такі функції:

- перетворює постійну напругу від сонячних панелей у змінну;
- заряджає акумуляторну батарею;
- живить споживачів будинку;
- перемикає систему в резервний режим;
- контролює потоки енергії між мережею, панелями, батареєю та навантаженням;
- забезпечує моніторинг параметрів системи.

Для системи з сонячними панелями потужністю близько 9 кВт доцільно застосувати гібридний інвертор потужністю 10 кВт. Це забезпечить запас за потужністю та дозволить жити резервовані споживачі з урахуванням пускових струмів.

Як приклад обладнання середнього класу можна обрати гібридний інвертор Deye SUN-10K-SG04LP3-EU. Він є трифазним гібридним інвертором потужністю 10 кВт, працює з акумуляторною батареєю 48 В та має можливість роботи з сонячними панелями і мережею.

**Deye**  
UKRAINE



Гібридний інвертор SUN-12K-SG05LP3-EU-SM2

78 500,00 грн

Потужність: 12 кВт \*



Мова \*

Українська

Кількість \*

— 1 +

Додати у кошик

Технічні характеристики

Рисунок 2.2 -Інвертор Deye SUN-10K-SG04LP3-EU

Основні прийняті характеристики інвертора:

- тип — гібридний;
- кількість фаз — 3;
- номінальна потужність — 10 кВт;
- напруга акумуляторної батареї — 48 В;
- форма вихідної напруги — чиста синусоїда;

- наявність MPPT-контролерів;
- можливість роботи з акумуляторами  $\text{LiFePO}_4$  ;
- можливість резервного живлення;
- можливість моніторингу.

Вибір інвертора 10 кВт для системи 9,35 кВт є доцільним, оскільки потужність сонячних панелей може бути трохи більшою або меншою за потужність інвертора, залежно від допустимого діапазону виробника. Крім того, інвертор 10 кВт має достатній запас для живлення резервованих споживачів.

## 2.9 Підбір акумуляторної батареї

Акумуляторна батарея є необхідною частиною резервної фотоелектричної системи. Вона накопичує електроенергію, вироблену сонячними панелями, і забезпечує живлення споживачів уночі або під час відключення зовнішньої мережі.

Для сучасних приватних систем доцільно використовувати літій-залізо-фосфатні акумулятори  $\text{LiFePO}_4$  . Вони мають значний ресурс, добру безпечність, високу допустиму глибину розряду та підходять для щоденної циклічної роботи.

Необхідна номінальна ємність акумуляторної батареї визначається за формулою:

$$E_{\text{акб}} = E_{\text{н}} / (\text{DOD} \cdot \eta_{\text{інв}}),$$

де  $E_{\text{акб}}$  — необхідна номінальна ємність акумуляторної батареї, кВт·год;

$E_{\text{н}}$  — необхідна корисна енергія для навантаження, кВт·год;

DOD — допустима глибина розряду;

$\eta_{\text{інв}}$  — коефіцієнт корисної дії інвертора.

Для LiFePO<sub>4</sub> -батареї можна прийняти:

DOD = 0,9.

Коефіцієнт корисної дії інвертора приймаємо:

$\eta_{\text{інв}} = 0,92$ .

Для забезпечення добового резервного споживання:

$E_n = 11,6 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ .

Тоді:

$E_{\text{акб}} = 11,6 / (0,9 \cdot 0,92) = 11,6 / 0,828 = 14,01 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ .

Отже, для забезпечення приблизно 11,6 кВт·год корисної енергії потрібна акумуляторна батарея номінальною ємністю близько 14 кВт·год.



**PYLONTECH US5000-1C 48V 4.8kWh Домашня батарея**

★★★★★ 9 Відгуки | [Додайте свій відгук](#)

EAN / GTIN	6091625420414	У комплекті	комплект кабелів
Вага - г	39500	Ємність - Ah	100
Бренд	Pylontech	Струм розряду - А	100
Модель	US5000-1C	Ємність - Вт·год	4800
Джерело живлення	48V	Потужність - Вт	4800
Хімія елемента	LiFePO4	IP	IP20
Додаткові функції	CAN, RS485, монтаж у стійку		

**729,95 EUR**

Україна: На цей товар наразі поширюється ставка податку та мита 0% у зв'язку з воєнним станом.

Вартість доставки в Україну: €27.10 (1 товар)

кількість

[Додати в кошик](#)

Рисунок 2.3 -Акумулятор Pylontech US5000

Для реалізації такого рішення можна використати три акумуляторні модулі LiFePO<sub>4</sub> ємністю близько 5 кВт·год кожен. Наприклад, можна використати акумулятори Pylontech US5000 або аналогічні модулі Deue, Dyness, Felicity Solar, Must, Soluna чи інших виробників.

Як приклад приймаємо акумуляторний модуль Pylontech US5000:

- тип акумулятора — LiFePO<sub>4</sub> ;
- номінальна напруга — 48 В;
- ємність — 100 А·год;
- повна енергоємність — 4,8 кВт·год;

- корисна енергоємність — близько 4,56 кВт·год.

Для трьох таких модулів:

$$E_{\text{ном}} = 4,8 \cdot 3 = 14,4 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Корисна енергоємність:

$$E_{\text{кор}} = 4,56 \cdot 3 = 13,68 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

З урахуванням втрат інвертора:

$$E_{\text{вих}} = 13,68 \cdot 0,92 = 12,59 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Отже, три акумуляторні модулі Pylontech US5000 забезпечують приблизно 12,6 кВт·год корисної енергії на стороні змінного струму. Це відповідає розрахунковим потребам резервованих споживачів приватного будинку.

## 2.10 Розрахунок ємності акумуляторів в ампер-годинах

Ємність акумуляторної батареї в ампер-годинах визначається за формулою:

$$C = E \cdot 1000 / U,$$

де  $C$  — ємність акумуляторної батареї, А·год;

$E$  — енергоємність батареї, кВт·год;

$U$  — номінальна напруга батареї, В.

Для системи з трьох модулів Pylontech US5000:

$$E = 14,4 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$U = 48 \text{ В.}$$

Тоді:

$$C = 14,4 \cdot 1000 / 48 = 300 \text{ А}\cdot\text{год.}$$

Отже, загальна ємність акумуляторної батареї становить приблизно 300 А·год при напрузі 48 В.

Це можна реалізувати шляхом паралельного з'єднання трьох модулів 48 В 100 А·год. При паралельному з'єднанні напруга залишається 48 В, а ємність збільшується:

$$C_{заг} = 100 + 100 + 100 = 300 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

### 2.11 Розрахунок часу автономної роботи

Час автономної роботи системи залежить від корисної енергії акумуляторної батареї та середньої потужності навантаження. Він визначається за формулою:

$$t = E_{кор} / P_{ср},$$

де  $t$  — час автономної роботи, год;

$E_{кор}$  — корисна енергія акумуляторної батареї, кВт·год;

$P_{ср}$  — середня потужність навантаження, кВт.

Для прийнятої батареї:

$$E_{кор} = 12,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Орієнтовний час автономної роботи наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Орієнтовний час автономної роботи акумуляторної батареї

Середня потужність навантаження, кВт	Час автономної роботи, год
0,5	25,2
1,0	12,6
1,5	8,4
2,0	6,3
3,0	4,2

5,0	2,5
9,0	1,4

З таблиці видно, що при середньому навантаженні 1–2 кВт система може забезпечувати автономну роботу приблизно 6–13 годин. При максимальному навантаженні 9 кВт час автономної роботи буде невеликим, тому потужні споживачі доцільно вмикати лише короткочасно або за наявності сонячної генерації.

## 2.12 Розрахунок струму в акумуляторному колі

У системах з акумуляторною батареєю 48 В при великій потужності виникають значні струми. Струм у колі постійного струму визначається за формулою:

$$I = P / (U \cdot \eta),$$

де  $I$  — струм, А;

$P$  — потужність інвертора, Вт;

$U$  — напруга акумуляторної батареї, В;

$\eta$  — ККД інвертора.

Для інвертора потужністю 10 кВт:

$$P = 10000 \text{ Вт};$$

$$U = 48 \text{ В};$$

$$\eta = 0,92.$$

Тоді:

$$I = 10000 / (48 \cdot 0,92) = 226,4 \text{ А}.$$

Отже, при роботі інвертора на повній потужності струм акумуляторного кола може перевищувати 220 А. Тому необхідно використовувати кабелі

великого перерізу, якісні з'єднання, автоматичні вимикачі або запобіжники постійного струму.

Якщо батарея складається з трьох паралельних модулів, струм приблизно розподіляється між ними:

$$I_{\text{мод}} = 226,4 / 3 = 75,5 \text{ А.}$$

Такий струм є прийнятним для більшості акумуляторних модулів класу 48 В 100 А·год, але остаточно це потрібно перевіряти за паспортними характеристиками конкретної моделі.

### 2.13 Підбір кабельних ліній

Кабельні лінії в системі фотоелектричного електропостачання поділяються на:

- кабелі постійного струму від сонячних панелей до інвертора;
- кабелі постійного струму від акумуляторів до інвертора;
- кабелі змінного струму від інвертора до розподільного щита;
- кабелі заземлення та захисного провідника.

Для сонячних панелей потрібно використовувати спеціальні PV-кабелі, стійкі до ультрафіолетового випромінювання, температурних впливів і зовнішніх умов. Зазвичай для стрингів сонячних панелей застосовують кабелі перерізом 4–6 мм<sup>2</sup>, залежно від струму, довжини лінії та схеми з'єднання.

Для акумуляторного кола, де струм може перевищувати 200 А, потрібні кабелі значно більшого перерізу. Орієнтовно можна застосувати мідний кабель перерізом 50–70 мм<sup>2</sup>, залежно від довжини лінії та рекомендацій виробника інвертора.

Падіння напруги в кабелі визначається за формулою:

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot L \cdot \rho / S,$$

де  $\Delta U$  — падіння напруги, В;

$I$  — струм, А;

$L$  — довжина кабельної лінії в один бік, м;

$\rho$  — питомий опір міді, Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$S$  — переріз кабелю, мм<sup>2</sup>.

Для міді приймаємо:

$$\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}.$$

При струмі 226 А, довжині лінії 2 м і перерізі кабелю 70 мм<sup>2</sup>:

$$\Delta U = 2 \cdot 226 \cdot 2 \cdot 0,0175 / 70 = 0,226 \text{ В}.$$

Відносне падіння напруги:

$$\Delta U\% = 0,226 / 48 \cdot 100\% = 0,47\%.$$

Таке падіння напруги є допустимим. Отже, для короткої лінії між акумуляторами та інвертором кабель 70 мм<sup>2</sup> забезпечує достатній запас.

## 2.14 Захисна апаратура системи

Для безпечної роботи фотоелектричної системи необхідно передбачити захист як на стороні постійного струму, так і на стороні змінного струму.

На стороні сонячних панелей встановлюються:

- DC-роз'єднувач;
- запобіжники або автоматичні вимикачі постійного струму;
- обмежувачі перенапруги постійного струму;
- PV-конектори;
- заземлення металевих конструкцій.

На стороні акумуляторів встановлюються:

- батарейний автомат або запобіжник;
- роз'єднувач акумуляторної батареї;
- кабелі великого перерізу;
- система керування батареєю BMS;
- захист від короткого замикання;
- захист від перевантаження.

На стороні змінного струму встановлюються:

- автоматичні вимикачі;
- пристрої захисного вимкнення;
- реле контролю напруги;
- обмежувачі перенапруги;
- перемикач джерел живлення;
- окремий щит резервованих навантажень.

Особливо важливо забезпечити відсутність зворотної подачі напруги в зовнішню мережу під час аварійного режиму. Для цього гібридний інвертор повинен мати відповідні функції захисту, а схема підключення повинна передбачати правильне розділення мережі та резервованих ліній.

## **2.15 Орієнтовний вибір обладнання**

Для реалізації системи потужністю близько 9 кВт приймається такий склад обладнання:

1. Сонячні панелі Longi Solar 550 Вт або аналогічні — 17 шт.
2. Гібридний інвертор Deye SUN-10K-SG04LP3-EU або аналогічний — 1 шт.
3. Акумуляторні модулі Pylontech US5000 або аналогічні — 3 шт.

4. Кріплення для сонячних панелей — 1 комплект.
5. PV-кабель 4–6 мм<sup>2</sup> — за довжиною траси.
6. Кабель акумуляторний 50–70 мм<sup>2</sup> — за довжиною траси.
7. DC-захист для сонячних панелей.
8. DC-захист для акумуляторної батареї.
9. AC-захист для інвертора та резервованих ліній.
10. Окремий щит резервованих навантажень.
11. Система заземлення та обмежувачі перенапруги.
12. Монтажні та пусконаладжувальні роботи.

Вибір саме такого обладнання пояснюється тим, що Longi, Deye та Pylontech є поширеними брендами середнього класу, які часто застосовуються у приватних сонячних електростанціях. Вони мають прийнятне співвідношення вартості, функціональності та надійності.

### **Висновки до розділу**

У другому розділі було виконано розрахунок і підбір обладнання для резервної системи електропостачання приватного будинку на основі фотоенергетики. Встановлено, що для забезпечення основних резервованих споживачів доцільно застосувати гібридну сонячну електростанцію з акумуляторною батареєю.

Було визначено перелік резервованих споживачів, до яких належать освітлення, холодильник, автоматика котла, циркуляційні насоси, інтернет-обладнання, охоронна система, насос водопостачання та окремі розеткові групи. Розраховано, що добове споживання цих споживачів становить приблизно 11,6 кВт·год.

Для забезпечення генерації електричної енергії обрано 17 монокристалічних сонячних панелей потужністю 550 Вт кожна. Загальна встановлена потужність фотоелектричного масиву становить 9,35 кВт, що відповідає заданій потужності системи. Орієнтовна необхідна площа для встановлення панелей становить близько 44–45 м<sup>2</sup>.

Для перетворення електроенергії та керування системою обрано гібридний інвертор потужністю 10 кВт. Такий інвертор забезпечує роботу з сонячними панелями, акумуляторами, зовнішньою мережею та резервованими споживачами.

## **РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **3.1 Розробка заходів щодо покращення стану охорони праці**

Розрізняють такі основні заходи щодо покращення стану охорони праці у господарстві:

- обладнати кабінет з охорони праці, з метою ефективного навчання персоналу, встановити необхідні плакати, стенди;
- удосконалення нормативної бази з питань охорони праці;
- укомплектування щитів пожежної безпеки ящиками з піском і необхідним інвентарем;
- встановлення відсутності освітлювальних приладів, покращення освітленості робочих місць;
- відновлення заземлення корпусів та відновити пошкоджену ізоляцію струмоведучих частин електроустановок;
- забезпечення працівників ЗІЗ ;
- покращити природу і при необхідності створити штучну вентиляцію;
- професійний добір працівників з окремих професій;
- провести паспортизацію та атестацію необхідних робочих місць.

### **3.2 Пожежна безпека**

Правовою основою діяльності в галузі пожежної безпеки є Конституція, Закон України „Про пожежну безпеку”, та інші закони, постанови, укази.

Попередження розповсюдження пожеж, в основному забезпечується пожежною безпекою будівель і споруд і забезпечується; правильним вибором

необхідного ступеня вогнестійкості будівель та споруд, розташування приміщень з урахуванням вимог пожежної безпеки, встановлення протипожежних перешкод, проектування шляхів евакуації. Згідно діючого законодавства відповідальність за утримання промислового підприємства у належному протипожежному стані покладається безпосередньо на керівника підприємства.

Власником розробленні комплексні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки, розробленні та затвердженні положення, інструкції, інші нормативні акти, що діють в межах підприємства, здійснює постійний контроль за їх додержанням, забезпечено додержання протипожежних вимог приписів і постанов органів державного пожежного нагляду, утримання в справному стані засобів протипожежного захисту, пожежну безпеку, обладнання та інвентар.

Для запобігання пожежам на складах нафтопродуктів останні зберігають у спеціально обладнаних резервуарах, які встановлені на фундаментах. Усі заправні ємності заземлені, а вся територія нафтоскладу обнесена земляним валом.

### **3.3 Розробка заходів щодо захисту цивільного населення**

Забезпечення захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань не лише підприємства, але й цілої держави.

Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Забезпечення безпеки та захисту населення, об'єктів економіки і національного надбання держави від негативних наслідків надзвичайних ситуацій повинно розглядатися як невід'ємна частина державної політики національної безпеки і державного будівництва, як одна з найважливіших функцій центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, місцевих державних адміністрацій, виконавчих органів рад.

## РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

### 4.1 Орієнтовна вартість системи

Вартість резервної фотоелектричної системи залежить від конкретних моделей обладнання, курсу валют, магазину, складності монтажу, типу даху, довжини кабельних трас і вимог до захисту. Тому кошторис має орієнтовний характер.

Для розрахунку приймаємо обладнання середнього класу. Орієнтовний кошторис наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Орієнтовна вартість резервної фотоелектричної системи 9 кВт

№	Найменування обладнання	Кількість	Орієнтовна ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Сонячна панель 550 Вт, монокристалічна	17 шт.	4 000	68 000
2	Гібридний інвертор 10 кВт, 48 В, 3 фази	1 шт.	85 000	85 000
3	Акумулятор LiFePO <sub>4</sub> 48 В, 100 А·год, ≈4,8–5 кВт·год	3 шт.	48 000	144 000
4	Кріплення для сонячних панелей	1 компл.	25 000	25 000
5	PV-кабель, конектори, кабельні канали	1 компл.	12 000	12 000
6	Кабель акумуляторний, наконечники, шини	1 компл.	12 000	12 000
7	Захист DC для сонячного поля	1 компл.	15 000	15 000

8	Захист DC для акумуляторів	1 компл.	10 000	10 000
9	Захист AC, автомати, ПЗВ, реле напруги	1 компл.	18 000	18 000
10	Щит резервованих навантажень	1 шт.	10 000	10 000
11	Заземлення та обмежувачі перенапруги	1 компл.	12 000	12 000
12	Монтажні та пусконаладжувальні роботи	1 компл.	45 000	45 000

Загальна орієнтовна вартість:

$S_{\text{заг}} = 68\,000 + 85\,000 + 144\,000 + 25\,000 + 12\,000 + 12\,000 + 15\,000 + 10\,000 + 18\,000 + 10\,000 + 12\,000 + 45\,000 = 456\,000$  грн.

Отже, орієнтовна вартість резервної фотоелектричної системи потужністю близько 9 кВт з акумуляторною батареєю близько 14–15 кВт·год становить приблизно 450–470 тис. грн.

Ця вартість є попередньою. Вона може змінюватися залежно від бренду панелей, типу інвертора, кількості акумуляторних модулів, типу покрівлі, вартості монтажу та комплектації захисної апаратури.

## 4.2 Порівняння можливих варіантів комплектації

Для вибору оптимального рішення доцільно порівняти кілька варіантів системи.

Таблиця 4.2 — Порівняння варіантів резервної фотоелектричної системи

Варіант	Потужність панелей	Ємність АКБ	Орієнтовна вартість	Характеристика
Мінімальний	5 кВт	5 кВт·год	180–230 тис. грн	Підходить для освітлення, котла, роутера, холодильника
Базовий	7 кВт	10 кВт·год	320–380 тис. грн	Забезпечує основні споживачі та часткову автономність
Оптимальний	9 кВт	14–15 кВт·год	450–470 тис. грн	Найкраще співвідношення для приватного будинку
Розширений	12 кВт	20 кВт·год	600–750 тис. грн	Підвищена автономність і більший запас енергії
Максимальний	15 кВт і більше	30 кВт·год і більше	понад 900 тис. грн	Майже автономна система для великого будинку

Для даної роботи обрано оптимальний варіант: сонячні панелі потужністю близько 9 кВт і акумуляторна батарея близько 14–15 кВт·год. Така система має достатню потужність, забезпечує резервне живлення основних споживачів і не є надмірно дорогою порівняно з повністю автономними рішеннями.

### 4.3 Переваги обраного рішення

Обрана система має такі переваги:

1. Використання відновлюваної енергії. Сонячні панелі виробляють електроенергію без споживання палива, що зменшує залежність будинку від зовнішніх джерел енергії.

2. Резервне живлення. Наявність акумуляторної батареї дозволяє забезпечити роботу критичних споживачів під час відключення мережі.

3. Зменшення споживання з мережі. У денний час частина навантаження живиться від сонячних панелей, що зменшує відбір електроенергії із зовнішньої мережі.

4. Можливість автоматичної роботи. Гібридний інвертор самостійно керує потоками енергії та перемикає систему в резервний режим.

5. Масштабованість. За потреби можна збільшити ємність акумуляторів або додати додаткові сонячні панелі.

6. Безшумність. На відміну від генератора, система працює без шуму та вихлопних газів.

7. Сумісність із сучасним обладнанням. Використання LiFePO<sub>4</sub>-батареї і гібридного інвертора забезпечує високу ефективність і зручність моніторингу.

#### **4.4 Недоліки та обмеження системи**

Основними недоліками обраної системи є:

- висока початкова вартість;
- залежність генерації від погоди та пори року;
- потреба у достатній площі для встановлення панелей;
- необхідність професійного монтажу;

- обмежений запас енергії в акумуляторах;
- потреба у правильному підборі захисної апаратури;
- зменшення генерації при затіненні або забрудненні панелей.

Особливо важливо враховувати сезонність. Улітку сонячна електростанція може виробляти значно більше енергії, ніж потрібно для резервованих споживачів, а взимку генерація може бути суттєво нижчою. Тому система не повинна розглядатися як повністю автономне джерело живлення без додаткового резерву. У разі тривалих відключень і низької сонячної генерації може знадобитися заряджання акумуляторів від мережі або генератора.

#### **4.5 Рекомендації щодо експлуатації**

Для ефективної та безпечної експлуатації системи необхідно дотримуватися таких рекомендацій:

1. Регулярно контролювати стан сонячних панелей.
2. Не допускати тривалого затінення модулів.
3. Періодично очищати панелі від пилу, листя та снігу.
4. Контролювати рівень заряду акумуляторної батареї.
5. Не перевантажувати інвертор понад допустиму потужність.
6. Не підключати потужні електронагрівальні прилади до резервної групи без окремого розрахунку.
7. Забезпечити нормальну вентиляцію приміщення з інвертором та акумуляторами.
8. Періодично перевіряти кабельні з'єднання та захисну апаратуру.

9. Виконувати обслуговування відповідно до рекомендацій виробника.

10. Використовувати систему моніторингу для контролю генерації, споживання та стану батареї.

Дотримання цих вимог дозволить підвищити надійність системи, продовжити строк служби обладнання та забезпечити стабільне резервне електропостачання приватного будинку.

### **Висновки до розділу**

Для накопичення енергії обрано акумуляторну батарею на основі трьох  $\text{LiFePO}_4$  -модулів ємністю близько 4,8–5 кВт·год кожен. Загальна номінальна ємність акумуляторної батареї становить приблизно 14,4 кВт·год, що забезпечує близько 12,6 кВт·год корисної енергії на стороні змінного струму.

Орієнтовна вартість системи середнього класу становить приблизно 450–470 тис. грн. До цієї суми входять сонячні панелі, гібридний інвертор, акумуляторні батареї, кріплення, кабелі, захисна апаратура, щит резервованих навантажень і монтажні роботи.

Таким чином, запропонована резервна система електропостачання приватного будинку на основі фотоенергетики є технічно обґрунтованою та практично доцільною. Вона дозволяє використовувати сонячну енергію для живлення будинку, забезпечує резервне електропостачання під час відключень мережі, підвищує енергонезалежність об'єкта та може бути розширена в майбутньому.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У другому розділі було виконано розрахунок і підбір обладнання для резервної системи електропостачання приватного будинку на основі фотоенергетики. Встановлено, що для забезпечення основних резервованих споживачів доцільно застосувати гібридну сонячну електростанцію з акумуляторною батареєю.

Було визначено перелік резервованих споживачів, до яких належать освітлення, холодильник, автоматика котла, циркуляційні насоси, інтернет-обладнання, охоронна система, насос водопостачання та окремі розеткові групи. Розраховано, що добове споживання цих споживачів становить приблизно 11,6 кВт·год.

Для забезпечення генерації електричної енергії обрано 17 монокристалічних сонячних панелей потужністю 550 Вт кожна. Загальна встановлена потужність фотоелектричного масиву становить 9,35 кВт, що відповідає заданій потужності системи. Орієнтовна необхідна площа для встановлення панелей становить близько 44–45 м<sup>2</sup>.

Для перетворення електроенергії та керування системою обрано гібридний інвертор потужністю 10 кВт. Такий інвертор забезпечує роботу з сонячними панелями, акумуляторами, зовнішньою мережею та резервованими споживачами.

Для накопичення енергії обрано акумуляторну батарею на основі трьох LiFePO<sub>4</sub> -модулів ємністю близько 4,8–5 кВт·год кожен. Загальна номінальна ємність акумуляторної батареї становить приблизно 14,4 кВт·год, що забезпечує близько 12,6 кВт·год корисної енергії на стороні змінного струму.

Орієнтовна вартість системи середнього класу становить приблизно 450–470 тис. грн. До цієї суми входять сонячні панелі, гібридний інвертор,

аккумуляторні батареї, кріплення, кабелі, захисна апаратура, щит резервованих навантажень і монтажні роботи.

Таким чином, запропонована резервна система електропостачання приватного будинку на основі фотоенергетики є технічно обґрунтованою та практично доцільною. Вона дозволяє використовувати сонячну енергію для живлення будинку, забезпечує резервне електропостачання під час відключень мережі, підвищує енергонезалежність об'єкта та може бути розширена в майбутньому.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коруд В. І. Електротехніка. Львів: Видавництво «Магнолія», 2006. 417 с.
2. Варецький Ю. О. Особливості вибору силових фільтрів для систем електропостачання змінних нелінійних навантажень. Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2008. № 615. С. 17 – 22.
3. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник. Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2007. 488 с.
4. Василега П. О. Електротехнологічні установки: навчальний посібник. Суми: Видавництво СумДУ, 2010. 548 с.
5. Милосердов В. О. Електротехнологічні установки та пристрої: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2007. 135 с.
6. Соловей О. І. Промислові електротехнологічні установки: навчальний посібник. Київ: Видавництво «Кондор», 2009. 172 с.
7. Головка Д. Б., Ментковський Ю. Л. Загальні основи фізики. Київ: Видавництво «Либідь», 2008. – 224 с.
8. Мартиненко І.І. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: навч. посіб. Київ: Видавництво «Аграрна освіта», 2008. 330 с.
9. Курс електротехніки: Підручник. – Харків: Видавництво «Торнадо», 2000. – 288 с.
10. Практикум з електротехнології в АПК. Київ: Національний аграрний університет. 2003. 125 с.
11. Каталог СВ АЛЬТЕРА 2020р.
12. Каталог електротехнічної продукції АСКО УкрЕМ.

13. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Чинні нормативні вимоги до електроустановок споживачів.
14. IEC 61400-2: Wind energy generation systems — Part 2: Small wind turbines.
15. IEC 62933-1: Electrical energy storage systems — Vocabulary.
16. Pylontech. US5000 48V LFP Battery — technical specifications: <https://en.pylontech.com.cn/products/us5000>
17. Deye. SUN-8K-SG04LP3-EU hybrid inverter 8 kW, 3-phase, 48 V — technical description: <https://deye.com.ua/product/hibrydnyj-invertor-deye-sun-8k-sg04lp3-eu-8kw-3f-48v/>
18. Deye. SUN-10K-SG04LP3-EU hybrid inverter 10 kW, 3-phase, 48 V — technical reference: <https://deye.com.ua/product/hibrydnyj-invertor-deye-sun-10k-sg04lp3-eu-10kw-3f-48v/>
19. Методичні рекомендації з проєктування систем резервного електропостачання приватних будинків на основі відновлюваних джерел енергії.
20. Довідкові матеріали з розрахунку електричних навантажень, вибору кабельних ліній та апаратів захисту у низьковольтних мережах.