

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:

**«МОДЕРНІЗАЦІЯ СИЛОВОЇ ТА ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ
ПРИВАТНОГО БУДИНКУ З РЕЗЕРВУВАННЯМ НА ОСНОВІ
АКУМУЛЮЮЧИХ ЄМНОСТЕЙ»**

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

(шифр і назва спеціальності)

_____ Трохимчук
С.В.

Керівник: _____ Гошко
М.О.

Рецензент: _____ Михалюк
М.А.

УДК 621.320

Трохимчук Станіслав Васильович Модернізація силової та освітлювальної електромереж приватного будинку з резервуванням на основі акумулюючих ємностей. Кваліфікаційна робота. Дубляни: ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО, 2026. 74 с. текстової частини, 10 таблиць, 14 рисунків, 20 джерел посилання.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка технічних рішень щодо модернізації силової та освітлювальної електромережі приватного будинку з упровадженням системи резервного електроживлення на основі акумулюючих ємностей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**: проаналізувати особливості електропостачання приватного будинку; визначити призначення та структуру систем резервного живлення; розглянути основні типи акумуляторних батарей, їхні характеристики, переваги та недоліки; виконати порівняння можливих варіантів резервування; визначити перелік споживачів, які потребують резервного живлення; провести розрахунок необхідної потужності інверторного обладнання та ємності акумуляторної батареї; обґрунтувати вибір обладнання середнього класу за співвідношенням ціни та якості; оцінити орієнтовну вартість реалізації системи резервування для навантаження потужністю 10 кВт.

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

Ключові слова: дефіцит електроенергії в Україні, акумулюючі ємності, силові мережі.

ВСТУП

У сучасних умовах якісне та безперебійне електропостачання приватного житлового будинку є однією з основних вимог до комфорту, безпеки та енергоефективності побуту. Електрична енергія забезпечує роботу освітлення, побутової техніки, систем опалення, водопостачання, вентиляції, охоронної сигналізації, засобів зв'язку, інтернет-обладнання та інших споживачів, без яких нормальна експлуатація житлового будинку стає ускладненою або неможливою. Особливо актуальним це питання є для приватних будинків, де значна частина інженерних систем залежить саме від електроживлення. Навіть короточасне зникнення напруги може призвести до відключення освітлення, зупинки циркуляційних насосів, котельного обладнання, холодильних установок, систем автоматики та інших важливих електроприймачів.

Актуальність теми модернізації силової та освітлювальної електромережі приватного будинку з резервуванням на основі акумулюючих ємностей зумовлена зростанням вимог до надійності електропостачання, підвищенням кількості електроспоживачів у побуті, а також необхідністю раціонального використання електричної енергії. Традиційна електромережа приватного будинку часто проєктувалася лише з урахуванням живлення від зовнішньої мережі та не передбачала можливості автономної роботи під час аварійних або планових відключень. У таких умовах виникає потреба в удосконаленні електричної схеми будинку, правильному розподілі навантажень, виділенні критично важливих споживачів та впровадженні резервного джерела живлення.

Одним із найбільш перспективних напрямів резервування електропостачання є використання акумуляторних систем накопичення енергії. На відміну від бензинових або дизельних генераторів, акумуляторні системи працюють безшумно, не створюють шкідливих викидів у місці встановлення, можуть автоматично вмикатися під час зникнення напруги та не потребують постійної присутності користувача для запуску. Крім того, такі системи можуть поєднуватися з інверторним обладнанням, сонячними електростанціями, автоматичними перемикачами живлення та системами моніторингу, що дозволяє створити гнучкий енергетичний комплекс для приватного будинку.

Модернізація електромережі приватного будинку передбачає не лише встановлення акумуляторів, а й комплексний аналіз існуючої силової та освітлювальної мережі. До таких робіт належить визначення фактичного та розрахункового навантаження, поділ споживачів на основні та резервовані групи, вибір перерізів кабельних ліній, захисних апаратів, автоматичних вимикачів, пристроїв захисного вимкнення, реле напруги, інверторів, зарядних пристроїв та акумуляторних батарей. Особлива увага приділяється освітлювальній мережі, оскільки освітлення є одним із базових споживачів, який необхідно зберігати в роботі під час аварійного режиму. Також до резервованих навантажень доцільно віднести холодильник, газовий або твердопаливний котел із насосами, інтернет-обладнання, охоронну систему, окремі розетки для заряджання телефонів і ноутбуків, а також мінімально необхідні побутові пристрої.

Використання акумуляуючих ємностей дозволяє підвищити надійність електропостачання, зменшити залежність будинку від зовнішньої мережі та забезпечити роботу важливих електроприймачів протягом заданого часу. При правильному проектуванні така система може працювати в автоматичному

режимі: у нормальному стані будинок живиться від зовнішньої мережі, а акумулятори заряджаються до необхідного рівня; у разі зникнення напруги інверторна система перемикає живлення критичних споживачів на акумуляторну батарею; після відновлення мережі система повертається до штатного режиму та виконує підзаряд акумуляторів. Такий підхід забезпечує безперервність живлення та підвищує комфорт експлуатації житлового об'єкта.

Важливим питанням під час розробки системи резервного живлення є вибір типу акумуляторних батарей. У побутових системах можуть застосовуватися свинцево-кислотні акумулятори, AGM- і GEL-батареї, літій-іонні акумулятори, а також літій-залізо-фосфатні акумулятори типу LiFePO_4 . Кожен тип має свої переваги та недоліки щодо вартості, ресурсу, допустимої глибини розряду, масогабаритних показників, безпечності, ефективності заряджання і розряджання, вимог до обслуговування та умов експлуатації. Для приватного будинку доцільно обирати таке рішення, яке забезпечує оптимальне співвідношення ціни, довговічності, безпеки та зручності використання.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка технічних рішень щодо модернізації силової та освітлювальної електромережі приватного будинку з упровадженням системи резервного електроживлення на основі акумуляуючих ємностей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**: проаналізувати особливості електропостачання приватного будинку; визначити призначення та структуру систем резервного живлення; розглянути основні типи акумуляторних батарей, їхні характеристики, переваги та недоліки; виконати порівняння можливих варіантів резервування; визначити перелік споживачів, які потребують резервного

живлення; провести розрахунок необхідної потужності інверторного обладнання та ємності акумуляторної батареї; обґрунтувати вибір обладнання середнього класу за співвідношенням ціни та якості; оцінити орієнтовну вартість реалізації системи резервування для навантаження потужністю 10 кВт.

Об'єктом дослідження є силова та освітлювальна електромережа приватного житлового будинку. Предметом дослідження є технічні рішення з модернізації електромережі та впровадження резервного живлення на основі акумуляторних накопичувачів енергії.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані рішення можуть бути використані під час модернізації існуючої електромережі приватного будинку або під час проектування нової системи електропостачання з резервуванням. Результати роботи дозволяють підвищити надійність живлення основних електроприймачів, забезпечити комфортні умови проживання під час аварійних відключень електроенергії, а також створити основу для подальшого підключення відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної електростанції.

Таким чином, модернізація силової та освітлювальної електромережі приватного будинку з використанням акумулюючих ємностей є актуальним і практично важливим завданням. Вона поєднує питання електробезпеки, енергоефективності, надійності електропостачання та економічної доцільності, що відповідає сучасним вимогам до експлуатації житлових електроустановок.

РОЗДІЛ 1 РЕЗЕРВУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ НА ОСНОВІ АКУМУЛЮЮЧИХ ЄМНОСТЕЙ

1.1 Загальні відомості про резервування електропостачання

Електропостачання приватного житлового будинку повинно забезпечувати надійну, безпечну та безперервну роботу електроприймачів, необхідних для нормального проживання людей. До таких електроприймачів належать освітлювальні прилади, побутова техніка, системи опалення, водопостачання, вентиляції, охоронної сигналізації, інтернет-обладнання, автоматика котлів, циркуляційні насоси, холодильне обладнання та інші пристрої. У разі зникнення напруги в зовнішній електромережі робота цих систем може бути порушена, що призводить до погіршення умов проживання, зниження безпеки та можливих матеріальних збитків.

Резервування електропостачання — це комплекс технічних заходів, спрямованих на забезпечення живлення електроприймачів у випадку порушення або повного припинення основного електроживлення. Основною метою резервування є підтримання роботи найважливіших споживачів протягом заданого часу до відновлення живлення від зовнішньої мережі або до підключення іншого джерела електроенергії.

У приватному будинку резервування електропостачання може виконуватися для всіх електроприймачів або лише для частини навантаження. Повне резервування передбачає можливість живлення всього будинку від резервного джерела, однак такий варіант потребує значної потужності інвертора, великої ємності акумуляторів та високої вартості

обладнання. Часткове резервування є більш економічно доцільним, оскільки передбачає живлення лише критично важливих споживачів, без яких експлуатація будинку в аварійному режимі стає неможливою або ускладненою.

До резервованих споживачів у приватному будинку зазвичай відносять:

- аварійне та основне освітлення окремих приміщень;
- холодильник або морозильну камеру;
- циркуляційні насоси системи опалення;
- автоматику газового, електричного або твердопаливного котла;
- насос водопостачання або свердловинний насос;
- інтернет-роутер, комутатор, обладнання зв'язку;
- охоронну та пожежну сигналізацію;
- окремі розеткові групи для заряджання телефонів, ноутбуків та малої побутової техніки.

Необхідність резервування особливо зростає у будинках, де опалення, водопостачання або безпека залежать від електричної енергії. Наприклад, у разі відключення живлення циркуляційного насоса твердопаливного котла може виникнути перегрів теплоносія, а припинення роботи автоматики газового котла призведе до зупинки системи опалення. Відключення холодильника або морозильної камери на тривалий час може спричинити псування продуктів. Тому резервне електроживлення є не лише елементом комфорту, а й важливою складовою безпечної експлуатації житлового будинку.

1.2 Основні види систем резервного живлення

Для резервування електропостачання приватного будинку можуть використовуватися різні технічні рішення. Найпоширенішими є:

1. резервне живлення від бензинового або дизельного генератора;
2. джерела безперебійного живлення;
3. інверторні системи з акумуляторними батареями;
4. гібридні інверторні системи з можливістю підключення сонячних панелей;
5. комбіновані системи, які поєднують акумулятори, генератор та відновлювані джерела енергії.

Кожен із цих варіантів має свої переваги, недоліки та сферу застосування.

Генераторні установки

Бензинові та дизельні генератори є традиційним способом резервного електропостачання. Вони перетворюють механічну енергію двигуна внутрішнього згорання на електричну енергію. Основною перевагою генератора є можливість тривалої роботи за наявності запасу палива. Генератор може забезпечувати як окремі групи споживачів, так і весь будинок, якщо його потужність підібрана правильно.

Проте генератори мають значні недоліки. Вони створюють шум, потребують палива, регулярного технічного обслуговування, мають вихлопні гази та не можуть безпечно встановлюватися всередині житлових приміщень. Крім того, запуск генератора може бути ручним або автоматичним. Автоматичний запуск потребує додаткового обладнання, що підвищує вартість системи. Також генератор не завжди забезпечує миттєве перемикання живлення, тому для чутливої електроніки може знадобитися додаткове джерело безперебійного живлення.

Джерела безперебійного живлення

Джерела безперебійного живлення застосовуються для короткочасного підтримання роботи електронного обладнання під час зникнення або погіршення якості напруги в мережі. Такі пристрої часто використовуються для комп'ютерів, серверів, систем зв'язку, охоронних систем, котельної автоматики та іншого обладнання, яке потребує стабільної напруги.

Перевагою джерел безперебійного живлення є швидке перемикання на акумулятор, стабілізація напруги та захист обладнання від імпульсних перенапруг. Недоліком є обмежений час автономної роботи, невелика ємність вбудованих акумуляторів та недостатня потужність для живлення всього будинку. Тому для приватного будинку звичайні UPS-пристрої доцільно використовувати лише для окремих малопотужних споживачів.

Інверторні системи з акумуляторними батареями



Рисунок 1.1 - Інверторні системи з акумуляторними батареями

Інверторна система з акумуляторними батареями є одним із найзручніших способів резервування електропостачання приватного будинку. Вона складається з інвертора, акумуляторної батареї, системи керування зарядом і розрядом, захисних апаратів, кабельних з'єднань та, за потреби, автоматичного перемикача живлення.

Принцип роботи такої системи полягає в тому, що під час наявності напруги в зовнішній мережі споживачі живляться від основного джерела, а акумулятори заряджаються. У разі зникнення напруги інвертор автоматично переходить у режим живлення від акумуляторів і перетворює постійну напругу акумуляторної батареї на змінну напругу 230 В частотою 50 Гц. Після відновлення основного живлення система повертається до нормального режиму роботи.

Перевагами інверторних систем є безшумність, автоматична робота, відсутність вихлопних газів, можливість встановлення в технічному приміщенні, швидке перемикання, сумісність із сонячними панелями та можливість масштабування ємності батарей. Недоліками є обмежений запас енергії, висока вартість якісних акумуляторів та необхідність правильного розрахунку потужності і ємності.

Гібридні системи з сонячними панелями



Рисунок 1.2 - Гібридні системи з сонячними панелями

Гібридна система поєднує зовнішню електромережу, акумуляторну батарею, інвертор та сонячні панелі. Така система може працювати як резервне джерело живлення, а також як засіб часткового покриття власного споживання електроенергії за рахунок сонячної генерації. У нормальному режимі сонячні панелі можуть живити споживачів будинку та заряджати акумулятори. У разі відключення зовнішньої мережі будинок або окремі групи споживачів живляться від акумуляторної батареї, а вдень батарея може додатково заряджатися від сонячних модулів.

Перевагою гібридної системи є вища енергонезалежність, можливість економії електроенергії та збільшення часу автономної роботи. Недоліками є вища початкова вартість, залежність сонячної генерації від погоди, пори року та якості проектування системи.

Комбіновані системи резервування



Рисунок 1.3 - Комбіновані системи резервування

Комбіновані системи можуть включати акумуляторну батарею, інвертор, генератор та сонячні панелі. Такий варіант є найбільш гнучким, оскільки дозволяє використовувати переваги кожного джерела. Акумулятори забезпечують миттєве та безшумне резервування, генератор може працювати при тривалих відключеннях, а сонячні панелі забезпечують додаткове заряджання батарей і зменшують залежність від палива або зовнішньої мережі.

Для приватного будинку комбінована система є технічно найкращим, але найдорожчим рішенням. Вона доцільна у випадках, коли будинок розташований у місцевості з частими або тривалими відключеннями електроенергії, а також тоді, коли власник прагне до максимальної енергетичної автономності.

1.3 Структура акумуляторної системи резервного живлення

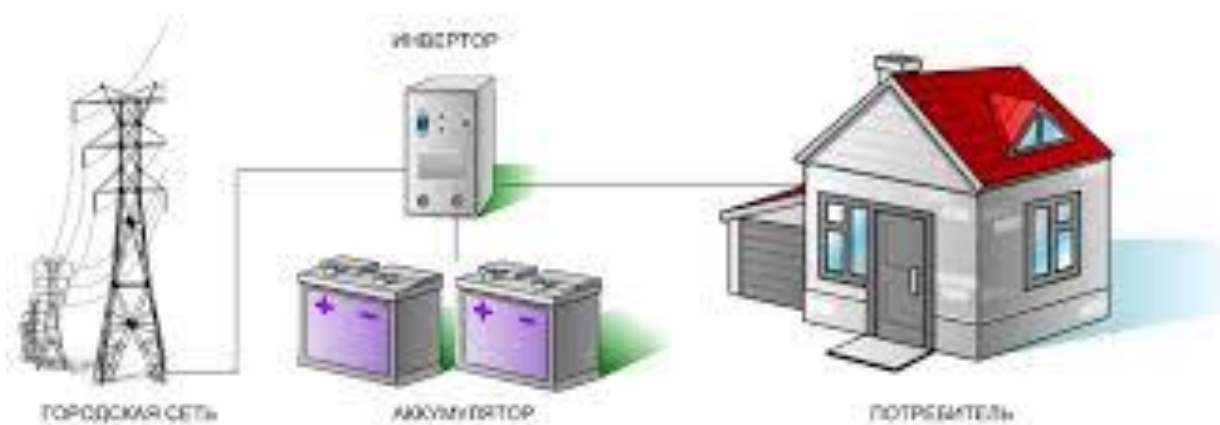


Рисунок 1.4 - Акумуляторна система резервного живлення приватного будинку

Акумуляторна система резервного живлення приватного будинку складається з кількох основних елементів:

- акумуляторної батареї;
- інвертора;
- зарядного пристрою або вбудованого зарядного модуля;
- системи керування батареєю;
- автоматичних вимикачів і запобіжників;
- пристроїв захисного вимкнення;
- реле контролю напруги;
- кабельних ліній;
- розподільного щита резервованих споживачів;
- системи моніторингу.

Акумуляторна батарея є основним елементом накопичення енергії. Вона зберігає електричну енергію у хімічній формі та віддає її споживачам через інвертор під час аварійного режиму. Основними параметрами акумуляторної

батареї є номінальна напруга, ємність, запас енергії, допустима глибина розряду, максимальний струм заряду і розряду, кількість циклів, коефіцієнт корисної дії та умови експлуатації.

Інвертор перетворює постійну напругу акумуляторів на змінну напругу, необхідну для живлення побутових електроприймачів. Для приватних будинків найчастіше використовуються інвертори з вихідною напругою 230 В і частотою 50 Гц. Важливо, щоб інвертор формував правильну синусоїду, оскільки деякі споживачі, зокрема насоси, холодильники, котли, електродвигуни та трансформаторні блоки живлення, можуть некоректно працювати від спотвореної форми напруги.

Система керування батареєю, або BMS, контролює стан акумуляторних елементів, захищає їх від перезаряду, глибокого розряду, перевищення струму, перегріву та дисбалансу напруги між елементами. Особливо важливою BMS є для літєвих акумуляторів, оскільки без належного контролю вони можуть швидко деградувати або працювати небезпечно.

Захисна апаратура забезпечує електробезпеку та захист обладнання від аварійних режимів. До неї належать автоматичні вимикачі, плавкі запобіжники, пристрої захисного вимкнення, обмежувачі перенапруги, контактори, реле контролю напруги та інші пристрої. У системах з акумуляторами особливу увагу потрібно приділяти захисту кіл постійного струму, оскільки коротке замикання акумуляторної батареї може супроводжуватися дуже великими струмами.

Розподільний щит резервованих споживачів дозволяє відокремити критичні навантаження від загальної мережі будинку. Це дає змогу зменшити потужність інвертора та ємність акумуляторів, а також уникнути випадкового підключення надто потужних споживачів під час роботи від батареї. Наприклад, електрична плита, бойлер, електрокотел, пральна машина,

кондиціонер або потужний електроінструмент можуть швидко розрядити акумулятори або перевантажити інвертор, тому їх часто не включають до резервованої групи.

1.4 Основні характеристики акумуляторних батарей

Під час вибору акумуляторної батареї для системи резервного живлення необхідно враховувати такі параметри:

1. номінальна напруга;
2. електрична ємність;
3. запас енергії;
4. допустима глибина розряду;
5. кількість циклів заряду-розряду;
6. максимальний струм заряду і розряду;
7. коефіцієнт корисної дії;
8. маса та габарити;
9. температурний діапазон роботи;
10. вимоги до обслуговування;
11. рівень безпеки;
12. вартість одного кіловат-години корисної енергії.

Номінальна напруга акумуляторної батареї визначає напругу, з якою працює інвертор. У побутових системах можуть застосовуватися батареї на 12 В, 24 В, 48 В або високовольтні акумуляторні модулі. Для систем великої потужності доцільніше використовувати батареї з напругою 48 В або вище, оскільки це дозволяє зменшити струми у колах постійного струму та знизити втрати в кабелях.

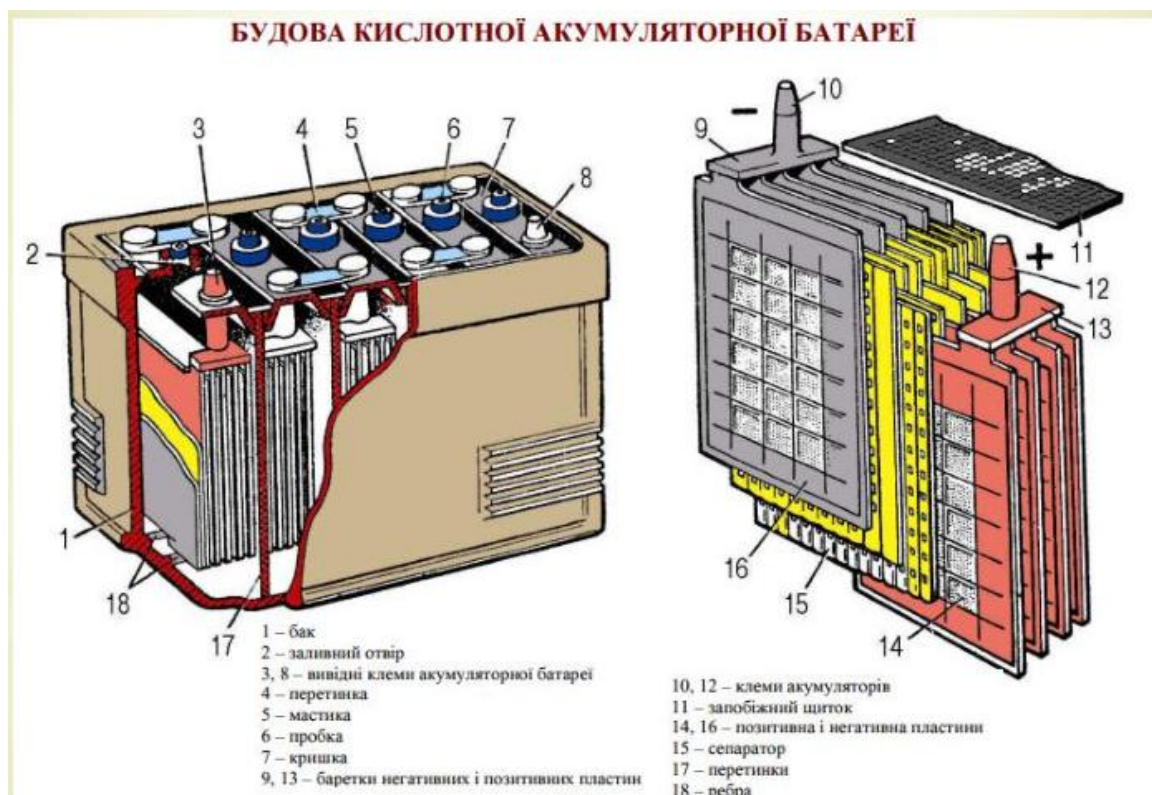


Рисунок 1.5 – Будова кислотної акумуляторної батареї

Електрична ємність акумулятора вимірюється в ампер-годинах. Вона показує, який заряд може віддати акумулятор за певних умов. Проте для розрахунку автономної роботи зручніше використовувати не ампер-години, а запас енергії в кіловат-годинах.

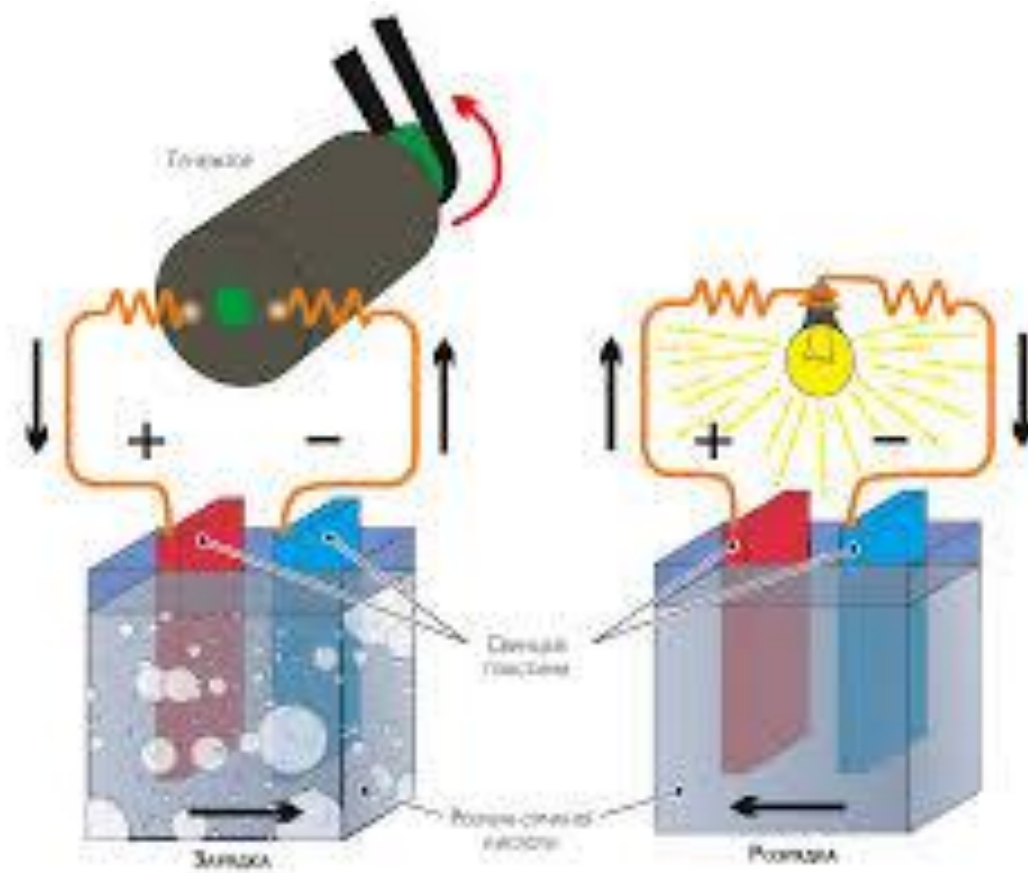


Рисунок 1.6 – Робота кислотної акумуляторної батареї

Запас енергії акумуляторної батареї визначають за формулою:

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

де E — запас енергії, кВт·год;

U — номінальна напруга батареї, В;

C — ємність батареї, А·год.

Наприклад, акумуляторна батарея напругою 48 В і ємністю 100 А·год має теоретичний запас енергії:

$$E = 48 \cdot 100 / 1000 = 4,8 \text{ кВт·год.}$$

Однак не вся ця енергія може бути використана на практиці. Частина енергії втрачається в інверторі, кабелях і самій батареї. Крім того, для

продовження строку служби акумуляторів не рекомендується розряджати їх до нуля. Тому під час розрахунку враховують допустиму глибину розряду.

Глибина розряду показує, яку частину повної ємності батареї можна використати без значного скорочення її ресурсу. Наприклад, якщо батарея має запас енергії 10 кВт·год, а допустима глибина розряду становить 80 %, то корисна енергія становитиме приблизно 8 кВт·год.

Кількість циклів заряду-розряду є одним із найважливіших параметрів акумулятора. Один цикл — це процес розряду батареї з подальшим зарядом до початкового стану. Чим більша кількість циклів, тим довше акумулятор може працювати в системі резервного живлення. При цьому реальний ресурс залежить від глибини розряду, температури, струмів заряду і розряду, якості зарядного пристрою та умов експлуатації.

Максимальний струм розряду визначає, яку потужність може віддати акумулятор без перевантаження. Якщо батарея не розрахована на великі струми, вона не зможе забезпечити роботу потужного інвертора. Тому під час вибору батареї необхідно перевіряти її сумісність з інвертором за струмом, напругою та протоколом зв'язку.

Коефіцієнт корисної дії батареї показує, яка частина енергії, витраченої на заряд, може бути повернена під час розряду. У сучасних літієвих батареї цей показник зазвичай вищий, ніж у свинцево-кислотних. Це означає, що літієві батареї мають менші втрати енергії при циклічній роботі.

1.5 Основні типи акумуляторів для резервного живлення

У системах резервного живлення приватних будинків можуть застосовуватися різні типи акумуляторних батарей. Найбільш поширеними є:

- свинцево-кислотні акумулятори з рідким електролітом;
- AGM-акумулятори;

- GEL-акумулятори;
- літій-іонні акумулятори;
- літій-залізо-фосфатні акумулятори LiFePO_4 .

Кожен тип акумулятора має власні особливості, які необхідно враховувати під час вибору.

1.5.1 Свинцево-кислотні акумулятори

Свинцево-кислотні акумулятори є одним із найстаріших і найпоширеніших типів акумуляторів. Вони складаються зі свинцевих пластин і електроліту на основі розчину сірчаної кислоти. Такі акумулятори широко використовуються в автомобілях, джерелах безперебійного живлення, системах зв'язку та резервного електроживлення.

Основною перевагою свинцево-кислотних акумуляторів є невисока початкова вартість. Вони доступні на ринку, мають просту конструкцію та добре відпрацьовану технологію виробництва. Проте для систем резервного живлення приватного будинку звичайні свинцево-кислотні батареї мають низку недоліків.

До недоліків належать велика маса, значні габарити, відносно невеликий ресурс, низька допустима глибина розряду, потреба у вентиляції та обслуговуванні. При глибокому розряді такі акумулятори швидко деградують, тому для продовження строку служби їх бажано розряджати не більше ніж на 40–50 % від номінальної ємності. Це означає, що для отримання необхідної корисної енергії потрібно встановлювати батарею з удвічі більшою номінальною ємністю.

Свинцево-кислотні акумулятори доцільно використовувати у випадках, коли система резервування вмикається рідко, а головним критерієм є

мінімальна початкова вартість. Однак для частих відключень та регулярного циклічного режиму вони є менш ефективними.

1.5.2 AGM-акумулятори

AGM-акумулятори є різновидом свинцево-кислотних батарей, у яких електроліт поглинений у скловолоконному сепараторі. Завдяки герметичній конструкції такі акумулятори не потребують доливання води та можуть працювати у різних положеннях. Вони мають менший внутрішній опір, ніж звичайні свинцево-кислотні акумулятори, і можуть віддавати відносно великі струми.



Рисунок 1.7 – АГМ-акумулятор

Перевагами АГМ-акумуляторів є герметичність, відсутність необхідності регулярного обслуговування, краща здатність до віддачі великих струмів та вища безпечність порівняно з обслуговуваними свинцево-

кислотними батареями. Вони широко використовуються в UPS, охоронних системах, телекомунікаційному обладнанні, медичній техніці та резервних системах.

Недоліками AGM-акумуляторів є обмежена кількість циклів, чутливість до глибокого розряду, висока маса та менша корисна ємність порівняно з літійовими батареями. При використанні в приватному будинку AGM-батареї можуть бути прийнятним рішенням для короткочасного резервного живлення, але для системи з потужністю 10 кВт та значною автономністю вони будуть важкими, габаритними та менш економічними в довгостроковій перспективі.

1.5.3 GEL-акумулятори



Рисунок 1.8 – GEL-акумулятор

GEL-акумулятори також належать до свинцево-кислотних батарей, але електроліт у них знаходиться у гелеподібному стані. Завдяки цьому вони краще переносять глибші розряди, мають менший ризик витікання електроліту та можуть використовуватися в системах, де потрібна підвищена надійність.

Перевагами GEL-акумуляторів є герметичність, відносно краща стійкість до циклічної роботи порівняно зі звичайними свинцево-кислотними акумуляторами, менше газовиділення та відсутність потреби в обслуговуванні. Вони можуть використовуватися у сонячних системах, системах резервного живлення та автономних установках.

Недоліками GEL-батарей є вища вартість порівняно з AGM, обмежений зарядний струм, чутливість до неправильного режиму заряджання та менша ефективність порівняно з літєвими акумуляторами. Такі батареї можуть бути доцільними для систем середньої потужності, але при частих циклах заряду-розряду літєві технології зазвичай мають кращий ресурс.

1.5.4 Літій-іонні акумулятори

Літій-іонні акумулятори мають високу енергетичну щільність, малу масу, високий коефіцієнт корисної дії та значний ресурс. Вони широко застосовуються в електроніці, електромобілях, побутових накопичувачах енергії та промислових системах. Порівняно зі свинцево-кислотними батареями літій-іонні акумулятори можуть мати більшу допустиму глибину розряду, менші габарити та більшу кількість циклів.



Рисунок 1.9 – Літій-іонні акумулятори

До переваг літій-іонних акумуляторів належать:

- висока енергетична щільність;

- мала маса;
- високий ККД;
- можливість швидкого заряджання;
- велика кількість циклів;
- низький саморозряд;
- відсутність потреби в обслуговуванні.

Недоліками є вища вартість, необхідність обов'язкового використання системи BMS, чутливість до перегріву та потреба у дотриманні правил безпечної експлуатації. Деякі літій-іонні хімічні системи мають вищу енергетичну щільність, але поступаються LiFePO_4 за термічною стабільністю та довговічністю.

1.5.5 Літій-залізо-фосфатні акумулятори LiFePO_4

LiFePO_4 -акумулятори є різновидом літій-іонних батарей, у яких як катодний матеріал використовується літій-залізо-фосфат. Цей тип батарей є одним із найперспективніших для систем резервного живлення приватних будинків, оскільки поєднує високий ресурс, добру безпечність, високу допустиму глибину розряду та стабільні характеристики.

Основними перевагами LiFePO_4 -акумуляторів є:

- велика кількість циклів заряду-розряду;
- висока допустима глибина розряду;
- стабільна напруга під час розряду;
- висока ефективність;
- відносно висока безпечність;
- відсутність потреби в обслуговуванні;
- менша маса порівняно зі свинцево-кислотними батареями;

- добра придатність до роботи в системах з інверторами та сонячними панелями.



Рисунок 1.10 – LiFePO₄ -акумулятор

Недоліками LiFePO₄ -батареї є вища початкова вартість порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами, необхідність якісної BMS та обмеження щодо заряджання при низьких температурах. Проте при правильному підборі та експлуатації такі батареї мають нижчу вартість одного циклу та кращу довгострокову економічність.

Для приватного будинку LiFePO₄ є оптимальним варіантом у випадку, коли система резервного живлення повинна працювати часто, мати значну ємність і забезпечувати тривалий строк служби. Саме тому для подальшого розрахунку системи резервування потужністю 10 кВт доцільно розглядати акумуляторні модулі на основі LiFePO₄ .

1.6 Порівняння типів акумуляторних батарей

Для вибору оптимального типу акумулятора необхідно порівняти основні характеристики різних технологій. Узагальнене порівняння наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Порівняння основних типів акумуляторів для резервного живлення

Тип акумулятора	Переваги	Недоліки	Доцільність використання
Свинцево-кислотний з рідким електролітом	Низька ціна, доступність, проста технологія	Велика маса, потреба в обслуговуванні, низька глибина розряду, менший ресурс	Рідкісне резервування, мінімальний бюджет
AGM	Герметичність, не потребує обслуговування, добре віддає великі струми	Важкий, обмежений ресурс, чутливий до глибокого розряду	UPS, котли, короткочасне резервування
GEL	Краща циклічність, герметичність, стійкість до глибших розрядів	Вища ціна, чутливість до режиму заряджання, велика маса	Сонячні та резервні системи середньої потужності
Li-ion	Висока щільність енергії, малий розмір, високий ККД	Вища вартість, потребує BMS, вимоги до безпеки	Компактні системи, електроніка, накопичувачі енергії

LiFePO ₄	Високий ресурс, безпечність, велика глибина розряду, добрий ККД	Вища початкова вартість, потрібна BMS, обмеження заряджання на морозі	Оптимально для приватного будинку та частого резервування
---------------------	---	---	---

З таблиці видно, що свинцево-кислотні, AGM та GEL-акумулятори можуть використовуватися у резервних системах, однак вони поступаються LiFePO₄ за ресурсом, масою, корисною ємністю та ефективністю. Їхньою головною перевагою є нижча початкова вартість, але при частій експлуатації це не завжди означає економію.

LiFePO₄-батареї мають вищу початкову ціну, проте забезпечують більшу кількість циклів, вищу допустиму глибину розряду і менші втрати енергії. Для системи резервного живлення приватного будинку це є важливим, оскільки батарея повинна не лише забезпечити необхідну автономність, а й мати достатній строк служби.

1.7 Порівняння способів резервування електропостачання

Окрім вибору типу акумулятора, важливо визначити загальну схему резервного живлення. Порівняння основних способів резервування наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 — Порівняння способів резервного живлення приватного будинку

Спосіб резервування	Переваги	Недоліки	Рекомендоване застосування
Бензиновий генератор	Відносно невисока ціна, тривала робота за наявності палива	Шум, вихлопи, потреба в паливі, обслуговування	Тривалі відключення, дачі, господарські

			об'єкти
Дизельний генератор	Надійність, економічніший при тривалій роботі, значна потужність	Висока ціна, шум, вихлопи, потреба в окремому місці	Великі будинки, тривале резервування
UPS	Швидке перемикання, захист електроніки, компактність	Мала автономність, обмежена потужність	Комп'ютери, котельна автоматика, роутери
Інвертор АКБ +	Безшумність, автоматична робота, відсутність вихлопів	Обмежений запас енергії, висока вартість батарей	Приватні будинки, критичні навантаження
Гібридний інвертор + АКБ + сонячні панелі	Енергонезалежність, економія, заряд від сонця	Вища вартість, залежність від погоди	Будинки з потребою в автономності
Комбінована система АКБ + генератор + СЕС	Найвища гнучкість, тривалий резерв, автоматизація	Найбільша вартість і складність	Об'єкти з високими вимогами до надійності

Для приватного житлового будинку найбільш збалансованим рішенням є інверторна система з акумуляторною батареєю. Вона забезпечує автоматичне перемикання, не створює шуму, не потребує палива та може бути встановлена у технічному приміщенні. Якщо в майбутньому планується встановлення сонячних панелей, доцільно одразу обирати гібридний інвертор, який підтримує роботу з фотоелектричними модулями.

1.8 Особливості резервування силової та освітлювальної мережі

Силова та освітлювальна мережі приватного будинку мають різний характер навантаження, тому під час резервування їх потрібно розглядати окремо. Освітлювальна мережа зазвичай має меншу потужність, але її робота є важливою для безпеки та комфорту. Силова мережа включає розетки, побутову техніку, насоси, котельне обладнання та інші споживачі, частина з яких може мати значні пускові струми.

Під час модернізації електромережі доцільно створити окремий щит резервованих навантажень. До нього підключають ті групи, які повинні працювати під час зникнення напруги в основній мережі. Такий підхід має кілька переваг:

- зменшується необхідна потужність інвертора;
- зменшується ємність акумуляторної батареї;
- підвищується тривалість автономної роботи;
- знижується ризик перевантаження системи;
- забезпечується кращий контроль за споживанням енергії.

До резервованих освітлювальних груп доцільно включати не все освітлення будинку, а лише основні світильники в коридорах, кухні, санвузлі, котельні, технічному приміщенні та одній або двох житлових кімнатах. Для зменшення навантаження слід використовувати світлодіодні світильники, які мають високу енергоефективність і невелику потужність.

До резервованої силової мережі доцільно включити окремі розетки для малопотужної техніки, інтернет-обладнання, холодильника, автоматики котла, циркуляційних насосів та систем безпеки. Потужні споживачі, такі як електроплита, бойлер, електрокотел, пральна машина, духовка шафа,

кондиціонер або електрообігрівачі, не рекомендується підключати до резервованої групи, якщо система не розрахована на таке навантаження.

Особливу увагу потрібно приділити пусковим струмам електродвигунів. Насоси, компресори холодильників та інші двигунні навантаження під час запуску можуть короткочасно споживати струм у кілька разів більший за номінальний. Тому інвертор повинен мати достатню перевантажувальну здатність.

1.9 Вимоги до інвертора для резервного живлення

Інвертор є центральним елементом системи резервного живлення. Його основним завданням є перетворення постійного струму акумуляторної батареї на змінний струм, придатний для живлення побутових електроприймачів.

Під час вибору інвертора необхідно враховувати такі параметри:

- номінальну потужність;
- пікову потужність;
- форму вихідної напруги;
- вхідну напругу акумуляторної батареї;
- ККД;
- можливість заряджання акумуляторів від мережі;
- наявність автоматичного перемикачів;
- підтримку сонячних панелей;
- сумісність з BMS;
- захист від перевантаження, короткого замикання та перегріву;
- можливість паралельної роботи кількох інверторів.

Для приватного будинку бажано використовувати інвертор з чистою синусоїдою на виході. Такий інвертор забезпечує якісне живлення для більшості побутових споживачів, включаючи електродвигуни, насоси, холодильники, котли, блоки живлення та електроніку.

Номінальна потужність інвертора повинна бути не меншою за сумарну потужність резервованих споживачів з урахуванням коефіцієнта одночасності. Якщо планується резервування навантаження до 10 кВт, інвертор повинен мати номінальну потужність не менше 10 кВт або система повинна складатися з кількох інверторів, що працюють паралельно.

Пікова потужність інвертора важлива для запуску двигунів і компресорів. Якщо інвертор не має достатнього запасу за пусковою потужністю, він може перейти в аварійний режим під час запуску насоса або холодильника.

Вхідна напруга акумуляторної батареї для потужних систем зазвичай становить 48 В або більше. Використання низьковольтної системи 12 В при потужності 10 кВт є недоцільним, оскільки струми будуть дуже великими, що потребуватиме кабелів великого перерізу та збільшить втрати.

1.10 Переваги та недоліки акумуляторного резервування

Акумуляторне резервування має низку суттєвих переваг порівняно з іншими способами забезпечення автономного живлення.

Основні переваги:

- автоматична робота без участі користувача;
- швидке перемикання на резервне живлення;
- відсутність шуму;
- відсутність вихлопних газів;

- можливість встановлення всередині технічного приміщення;
- сумісність із сонячними електростанціями;
- можливість масштабування;
- низькі експлуатаційні витрати;
- висока якість вихідної напруги при використанні якісного інвертора;
- можливість моніторингу стану системи.

Акумуляторні системи особливо зручні для короткочасних і середньотривалих відключень електроенергії. Вони не потребують запуску двигуна, заправлення паливом або ручного перемикачання. У більшості випадків користувач навіть не помічає моменту переходу на резервне живлення, якщо система налаштована правильно.

Недоліки акумуляторного резервування:

- висока початкова вартість;
- обмежений запас енергії;
- необхідність правильного розрахунку ємності;
- потреба у якісному інверторі та захисті;
- старіння акумуляторів з часом;
- залежність ресурсу від режиму експлуатації;
- обмеження щодо температури експлуатації.

Найбільшим недоліком є обмежена кількість енергії, яку можна накопичити в батареї. Якщо резервується потужне навантаження, акумулятор може швидко розрядитися. Тому важливо правильно визначити перелік резервованих споживачів і не підключати до системи обладнання, яке не є критично важливим.

1.11 Вибір оптимального типу системи для приватного будинку

Для модернізації силової та освітлювальної електромережі приватного будинку доцільно застосувати інверторну систему резервного живлення з акумуляторною батареєю LiFePO_4 . Такий вибір пояснюється поєднанням технічних, експлуатаційних та економічних переваг.

Порівняно з генератором акумуляторна система є безшумною, автоматичною та не потребує палива. Порівняно зі звичайним UPS вона має значно більшу потужність і ємність. Порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами LiFePO_4 забезпечує вищий ресурс, більшу корисну ємність та кращу придатність до частих циклів заряду-розряду.

Для будинку з розрахунковою потужністю резервування 10 кВт доцільно використовувати систему з такими основними характеристиками:

- інвертор або група інверторів із номінальною потужністю не менше 10 кВт;
- акумуляторна батарея на основі LiFePO_4 ;
- номінальна напруга батарейної системи 48 В або високовольтна система;
- наявність BMS;
- можливість автоматичного перемикання між мережею та батареєю;
- окремий щит резервованих навантажень;
- захист кіл змінного і постійного струму;
- можливість підключення сонячних панелей у майбутньому.

Такий комплекс дозволить забезпечити роботу критично важливих споживачів будинку під час аварійних відключень електроенергії. При цьому система може бути розширена за рахунок додаткових акумуляторних модулів або сонячних панелей.

Висновки до розділу

У першому розділі було розглянуто основні принципи резервування електропостачання приватного будинку. Встановлено, що резервне живлення є важливим елементом сучасної електромережі житлового будинку, оскільки дозволяє забезпечити роботу критично важливих електроприймачів під час аварійних або планових відключень електроенергії.

Розглянуто основні способи резервування: генераторні установки, джерела безперебійного живлення, інверторні системи з акумуляторними батареями, гібридні системи із сонячними панелями та комбіновані комплекси. Визначено, що для приватного будинку найбільш зручним і збалансованим рішенням є інверторна система з акумуляторною батареєю, оскільки вона забезпечує автоматичну, безшумну та екологічно безпечну роботу.

Проаналізовано основні типи акумуляторів: свинцево-кислотні, AGM, GEL, літій-іонні та LiFePO_4 . Встановлено, що свинцево-кислотні батареї мають нижчу початкову вартість, але поступаються літієвим акумуляторам за ресурсом, масою, допустимою глибиною розряду та ефективністю. AGM і GEL-батареї можуть застосовуватися для короткочасного резервування, проте для системи значної потужності вони є менш доцільними.

Найбільш раціональним вибором для системи резервування приватного будинку є акумуляторні батареї LiFePO_4 . Вони мають високий ресурс, добру безпечність, значну допустиму глибину розряду та підходять для частого циклічного використання. Саме цей тип акумуляторів доцільно використовувати у подальших розрахунках системи резервного живлення потужністю 10 кВт.

Таким чином, для модернізації силової та освітлювальної електромережі приватного будинку доцільно передбачити окремий щит резервованих навантажень, інвертор з чистою синусоїдою, акумуляторну батарею LiFePO_4 , систему керування батареєю, захисну апаратуру та можливість подальшого підключення сонячних панелей. Такий підхід забезпечує

підвищення надійності електропостачання, безпеки експлуатації та енергонезалежності житлового будинку.

РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ТА ПІДБІР АКУМУЛЮЮЧИХ ЄМНОСТЕЙ ДЛЯ СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ ПОТУЖНІСТЮ 10 КВТ

2.1 Загальні умови розрахунку системи резервного живлення

Модернізація силової та освітлювальної електромережі приватного будинку з резервуванням на основі акумулюючих ємностей передбачає не лише вибір акумуляторних батарей, а й комплексний розрахунок усієї системи. До складу такої системи входять інвертор, акумуляторна батарея, система керування батареєю, захисна апаратура, кабельні лінії, комутаційні пристрої, розподільний щит резервованих навантажень та, за необхідності, обладнання для підключення сонячних панелей.

У даній роботі розглядається система резервного живлення приватного будинку з розрахунковою потужністю 10 кВт. Така потужність дозволяє забезпечити роботу основних побутових і технічних споживачів, однак не означає, що всі електроприймачі будинку повинні постійно працювати одночасно. У реальних умовах частина споживачів працює періодично, тому під час розрахунку враховують не лише встановлену потужність, а й коефіцієнт одночасності та фактичну тривалість роботи обладнання.

Основним завданням розрахунку є визначення:

- сумарної потужності резервованих споживачів;
- необхідної номінальної та пікової потужності інвертора;
- необхідного запасу енергії акумуляторної батареї;
- кількості акумуляторних модулів;
- орієнтовної вартості обладнання;
- доцільності вибору конкретного типу акумуляторів;

- вимог до захисту та підключення системи.

Для приватного житлового будинку доцільно застосовувати не повне резервування всіх споживачів, а часткове резервування критичних навантажень. Це дозволяє зменшити вартість системи, збільшити тривалість автономної роботи та уникнути перевантаження інвертора.

До резервованих навантажень у даній роботі віднесено:

- освітлення основних приміщень;
- холодильник;
- циркуляційні насоси системи опалення;
- автоматику котла;
- інтернет-обладнання;
- охоронну систему;
- окремі розеткові групи;
- насос водопостачання;
- частину побутової техніки малої та середньої потужності.

Потужні електроприймачі, такі як електричний котел, електроплита, бойлер, пральна машина, духовка шафа, кондиціонери та електрообігрівачі, не рекомендується підключати до резервованої групи без окремого розрахунку, оскільки вони швидко розряджають акумулятори та можуть перевантажити інвертор.

2.2 Визначення резервованих споживачів приватного будинку

Перед вибором акумуляторної батареї необхідно скласти перелік споживачів, які повинні отримувати електроживлення під час відключення основної мережі. Для цього всі електроприймачі приватного будинку поділяють на три групи:

1. критично важливі споживачі;
2. бажані споживачі;
3. нерезервовані споживачі.

До критично важливих належать ті електроприймачі, без яких порушується безпека або нормальна експлуатація будинку. Це освітлення, автоматика котла, циркуляційні насоси, холодильник, інтернет-обладнання, охоронна система.

До бажаних споживачів належать пристрої, які підвищують комфорт, але не є обов'язковими для аварійного режиму. Це телевізор, комп'ютер, окремі розетки, зарядні пристрої, невеликі кухонні прилади.

До нерезервованих споживачів належать потужні електроприймачі, які мають значне споживання електроенергії. Їх підключення до акумуляторної системи доцільне лише за наявності дуже великої ємності батарей та інвертора підвищеної потужності.

Орієнтовний перелік резервованих споживачів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Орієнтовний перелік резервованих споживачів приватного будинку

№	Споживач	Орієнтовна потужність, Вт	Кількість	Сумарна потужність, Вт	Час роботи за добу, год
1	LED-освітлення основних приміщень	15	12	180	5
2	Холодильник	200	1	200	8
3	Циркуляційний насос опалення	80	2	160	10

4	Автоматика газového 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	Ноутбук або комп'ютер	100	2	200	4
10	Розеткова група малої техніки	1000	1	1000	2
11	Мікрохвильова піч або чайник короткочасно	1500	1	1500	0,3
12	Резерв потужності	—	—	2000	—

Сумарна встановлена потужність резервованих споживачів за таблицею становить приблизно:

$$P_{вст} = 180 + 200 + 160 + 100 + 30 + 50 + 800 + 120 + 200 + 1000 + 1500 + 2000 = 6340 \text{ Вт.}$$

Отже, встановлена потужність резервованих споживачів становить близько 6,34 кВт. Проте з урахуванням пускових струмів насосів, холодильника, можливого одночасного вмикання декількох пристроїв, а також запасу на майбутнє, доцільно прийняти інвертор потужністю 10 кВт.

Таким чином, потужність 10 кВт не означає, що будинок постійно споживатиме 10 кВт. Це значення приймається як максимальна допустима

потужність системи резервного живлення з урахуванням запасу та короткочасних перевантажень.

2.3 Розрахунок добового споживання резервованих навантажень

Для визначення необхідної ємності акумуляторної батареї потрібно розрахувати не лише потужність споживачів, а й кількість енергії, яку вони споживають за певний час. Електрична енергія визначається за формулою:

$$E = P \cdot t,$$

де E — спожита електроенергія, Вт·год або кВт·год;

P — потужність споживача, Вт або кВт;

t — час роботи споживача, год.

Якщо потужність задана у ватах, а потрібно отримати енергію у кіловат-годинах, формула має вигляд:

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

де E — електроенергія, кВт·год;

P — потужність, Вт;

t — час, год.

Розрахунок орієнтовного добового споживання резервованих споживачів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Розрахунок добового споживання резервованих споживачів

№	Споживач	Сумарна потужність, Вт	Час роботи, год	Споживання, кВт·год
1	LED-освітлення	180	5	0,90

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	Короткочасне кухонне навантаження	1500	0,3	0,45

Сумарне добове споживання:

$$E_{\text{доб}} = 0,90 + 1,60 + 1,60 + 1,00 + 0,72 + 1,20 + 0,80 + 0,36 + 0,80 + 2,00 + 0,45 = 11,43 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Отже, для забезпечення роботи вибраних споживачів протягом однієї доби потрібно приблизно 11,43 кВт·год корисної електроенергії. Це значення є орієнтовним, оскільки реальне споживання залежить від режиму роботи обладнання, температури навколишнього середовища, сезону, поведінки мешканців будинку та фактичної кількості увімкнених пристроїв.

Для подальшого розрахунку приймаємо добове споживання резервованих навантажень:

$E_{доб} = 11,5 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$

2.4 Вибір розрахункового часу автономної роботи

Ємність акумуляторної батареї залежить від необхідного часу автономної роботи. Для приватного будинку можливі такі варіанти:

- короткочасне резервування — 2–4 години;
- середнє резервування — 6–12 годин;
- тривале резервування — 24 години і більше.

Для системи потужністю 10 кВт не завжди економічно доцільно забезпечувати роботу на повному навантаженні протягом тривалого часу. Наприклад, якщо навантаження 10 кВт працює 3 години, то споживання становитиме:

$$E = 10 \cdot 3 = 30 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Для такого режиму потрібна велика акумуляторна батарея, що значно підвищує вартість системи. Тому в реальних умовах система 10 кВт використовується як потужнісна можливість інвертора, а середнє фактичне навантаження під час аварійного режиму зазвичай становить 1–3 кВт.

У даній роботі приймається, що система повинна забезпечити:

- короткочасну роботу навантаження до 10 кВт;
- тривалу роботу критичних споживачів із середнім навантаженням 1–2 кВт;
- орієнтовну автономність 8–12 годин у помірному режимі;
- можливість живлення основних споживачів протягом доби за умови економічного використання електроенергії.

Для цього доцільно прийняти акумуляторну батарею корисною ємністю близько 13–15 кВт·год. Такий варіант є середнім за ціною та якістю і підходить для приватного будинку без надмірного збільшення бюджету.

2.5 Розрахунок необхідної ємності акумуляторної батареї

Для визначення необхідної ємності акумуляторної батареї необхідно враховувати не лише споживання навантаження, а й втрати в інверторі, допустиму глибину розряду батареї та запас на старіння акумуляторів.

Розрахункова формула має вигляд:

$$E_{акб} = E_n / (DOD \cdot \eta),$$

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

E_n — потрібна корисна енергія для живлення навантаження, кВт·год;

DOD — допустима глибина розряду акумулятора;

η — коефіцієнт корисної дії інвертора та системи.

Для LiFePO₄-акумуляторів допустиму глибину розряду можна прийняти:

$$DOD = 0,8–0,9.$$

Коефіцієнт корисної дії інвертора та кабельних ліній приймаємо:

$$\eta = 0,9–0,95.$$

Для розрахунку прийmemo:

$$DOD = 0,8; \quad \eta = 0,9;$$

$$\eta = 0,92.$$

Якщо необхідно забезпечити корисну енергію:

$$E_n = 12 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

то номінальна ємність акумуляторної батареї становитиме:

$$E_{акб} = 12 / (0,9 \cdot 0,92) = 12 / 0,828 = 14,49 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Отже, для забезпечення приблизно 12 кВт·год корисної енергії необхідна акумуляторна батарея номінальною ємністю близько 14,5 кВт·год.

З урахуванням стандартних модулів доцільно прийняти батарейну систему номінальною ємністю приблизно 15 кВт·год. Це може бути реалізовано шляхом встановлення трьох акумуляторних модулів по 5 кВт·год.

2.6 Розрахунок ємності акумулятора в ампер-годинах

У технічній документації акумуляторні батареї часто характеризуються напругою та ємністю в ампер-годинах. Для перерахунку енергії в ампер-години використовується формула:

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

де C — ємність акумуляторної батареї, А·год;

E — енергоємність батареї, кВт·год;

U — номінальна напруга батарейної системи, В.

Для системи на 48 В і необхідної номінальної енергоємності 15 кВт·год:

$$C = 15 \cdot 1000 / 48 = 312,5 \text{ А}\cdot\text{год.}$$

Отже, для системи 48 В потрібно приблизно 313 А·год номінальної ємності. На практиці це можна реалізувати за допомогою трьох акумуляторних модулів 48 В 100 А·год, з'єднаних паралельно. У такому разі загальна ємність становитиме приблизно:

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

Енергоємність такої батареї:

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

Якщо використовуються модулі з напругою 51,2 В і ємністю 100 А·год, то енергоємність одного модуля становитиме:

$$E_1 = 51,2 \cdot 100 / 1000 = 5,12 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Три такі модулі забезпечать:

$$E_{заг} = 5,12 \cdot 3 = 15,36 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

За допустимої глибини розряду 90 % корисна енергія становитиме:

$$E_{кор} = 15,36 \cdot 0,9 = 13,82 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

З урахуванням ККД інвертора 92 % корисна енергія на виході змінного струму становитиме:

$$E_{вих} = 13,82 \cdot 0,92 = 12,71 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Отже, батарея з трьох LiFePO_4 -модулів 51,2 В 100 А·год може забезпечити приблизно 12,7 кВт·год корисної енергії для споживачів. Це відповідає прийнятому розрахунковому значенню для середнього варіанту системи резервного живлення приватного будинку.

2.7 Розрахунок часу автономної роботи

Час автономної роботи 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 корисна енергія становить приблизно:

$$E_{кор} = 12,7 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Розрахуємо час автономної роботи для різних значень середнього навантаження.

Таблиця 2.3 — Орієнтовний час автономної роботи батареї 15,36 кВт·год

Середнє навантаження, кВт	Час автономної роботи, год
0,5	25,4
1,0	12,7
1,5	8,5
2,0	6,4
3,0	4,2
5,0	2,5
10,0	1,27

З таблиці видно, що при максимальному навантаженні 10 кВт акумуляторна батарея забезпечить роботу лише приблизно 1,3 години. Однак у реальних умовах максимальне навантаження використовується короткочасно. Якщо середнє навантаження становить 1–2 кВт, що є більш характерним для аварійного режиму приватного будинку, автономність системи становитиме приблизно 6–13 годин.

Отже, для тривалої автономної роботи необхідно контролювати склад резервованих споживачів і не вмикати потужні електроприймачі без потреби.

2.8 Вибір типу акумуляторної батареї

Для системи резервного живлення потужністю 10 кВт доцільно застосувати акумуляторні батареї типу LiFePO_4 . Такий вибір обґрунтовується такими факторами:

- великий ресурс циклів заряду-розряду;
- висока допустима глибина розряду;
- стабільна напруга під час роботи;
- висока ефективність;
- порівняно висока безпечність;
- відсутність потреби в обслуговуванні;
- можливість паралельного підключення модулів;
- сумісність із сучасними гібридними інверторами;
- можливість моніторингу через BMS.

Порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами LiFePO_4 мають вищу початкову вартість, однак забезпечують значно більший ресурс і кращу корисну ємність. Свинцево-кислотні батареї небажано глибоко розряджати, оскільки це суттєво скорочує строк їх служби. Натомість LiFePO_4 -батареї можуть працювати з більшою глибиною розряду, що дозволяє ефективніше використовувати встановлену ємність.



NKON ESS Eco – 51.2V 5.12kWh Домашня батарея

Будьте первым кто оценит этот продукт

EAN-код / GTIN-код	6097355079007	В комплекте	кабель постоянного тока
Вес - г	44998	Емкость - Ач	100
Бренд	NKON	Ток разряда - А	100
Модель	ESS Eco	Емкость - Втч	5120
Источник питания	51.2V	Мощность - Вт	5120
Химия батареи	LiFePO4	IP	IP20

В Наличии

649,95 €

Украина: В настоящее время данный товар облагается налогом и таможенной пошлиной по ставке 0% в связи с военным положением.

Стоимость доставки в Украину: €30.40 (1 товар)

Кол-во

[Добавить в корзину](#)

Рисунок 2.1 - Акумуляторна батарея NKON ESS Eco – 51.2V 5.12kWh

Для системи 10 кВт доцільно використовувати готові акумуляторні модулі напругою 48 або 51,2 В з вбудованою BMS. Один із типових варіантів — модуль 51,2 В 100 А·год, ємністю близько 5,12 кВт·год. Такі модулі зручно встановлювати в стійку або на стіну, а за потреби їх можна нарощувати паралельним підключенням.

У даній роботі приймається система з трьох LiFePO₄ -модулів:

- номінальна напруга одного модуля — 51,2 В;
- ємність одного модуля — 100 А·год;
- енергоємність одного модуля — 5,12 кВт·год;
- кількість модулів — 3;
- загальна енергоємність — 15,36 кВт·год.

Такий варіант є раціональним для приватного будинку, оскільки забезпечує достатній запас енергії для основних споживачів і не є надмірно дорогим порівняно з батареями на 20–30 кВт·год.

2.9 Вибір інвертора для системи 10 кВт

Інвертор є основним силовим пристроєм системи резервного живлення. Він виконує перетворення постійної напруги акумуляторної батареї у змінну напругу 230/400 В частотою 50 Гц. Для приватного будинку інвертор повинен забезпечувати чисту синусоїду, мати захист від перевантаження, короткого замикання, перегріву та підтримувати роботу з акумуляторною батареєю LiFePO₄.

Для системи потужністю 10 кВт можливі два варіанти:

1. однофазний інвертор 10 кВт;
2. трифазний інвертор 10 кВт.

Якщо будинок має однофазне підключення 230 В, можна застосувати однофазний інвертор. Якщо будинок має трифазне введення 380/400 В, доцільно використовувати трифазний гібридний інвертор. Трифазний варіант дозволяє рівномірніше розподілити навантаження між фазами та краще інтегрувати систему в існуючу електромережу будинку.

Основні вимоги до інвертора:

- номінальна потужність — не менше 10 кВт;
- форма вихідної напруги — чиста синусоїда;
- підтримка акумуляторів 48/51,2 В;
- можливість роботи з LiFePO_4 через BMS;
- наявність зарядного пристрою від мережі;
- автоматичне перемикання на батарею;
- можливість підключення сонячних панелей;
- захист від перевантаження і короткого замикання;
- можливість моніторингу параметрів.

Як приклад може бути використаний гібридний інвертор Deue потужністю 10 кВт. За відкритими українськими ціновими агрегаторами, модель Deue SUN-10K-SG04LP3-EU описується як трифазний гібридний інвертор потужністю 10 кВт для сонячних систем із низьковольтними акумуляторами, резервним живленням і можливістю роботи з мережею. Також на ринку доступні однофазні та трифазні моделі Deue, зокрема 10 кВт і 12 кВт, із підтримкою акумуляторів 48 В та чистою синусоїдою.

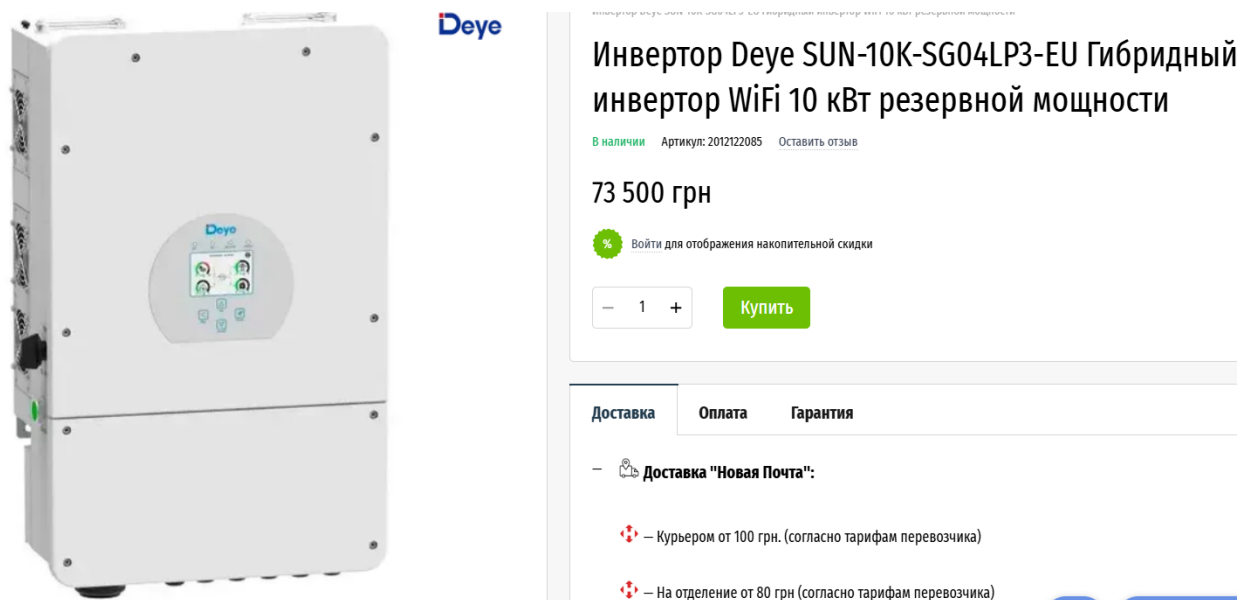


Рисунок 2.2 - Гібридний інвертор Deye потужністю 10 кВт

Для даної роботи приймається трифазний гібридний інвертор 10 кВт із підтримкою акумуляторів 48 В. Такий вибір пояснюється тим, що приватні будинки часто мають трифазне введення, а також тим, що гібридний інвертор дозволяє у майбутньому підключити сонячні панелі без повної заміни основного обладнання.

2.10 Перевірка струмів у колі акумуляторної батареї

Для системи 48 В при потужності 10 кВт струм у колі постійного струму буде значним. Його можна визначити за формулою:

$$I = P / U,$$

де I — струм, А;

P — потужність, Вт;

U — напруга батареї, В.

Для потужності 10 кВт і напруги батареї 51,2 В:

$$I = 10000 / 51,2 = 195,3 \text{ А.}$$

З урахуванням ККД інвертора реальний струм буде дещо більшим:

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

де η — ККД інвертора.

При $\eta = 0,92$:

$$I = 10000 / (51,2 \cdot 0,92) = 212,3 \text{ А.}$$

Отже, при повному навантаженні 10 кВт струм батарейного кола може становити понад 200 А. Це означає, що кабелі постійного струму, автоматичні вимикачі, запобіжники та з'єднання повинні бути розраховані на великі струми.

Якщо використовується три акумуляторні модулі, підключені паралельно, струм розподіляється між ними. Орієнтовний струм на один модуль:

$$I_{\text{мод}} = 212,3 / 3 = 70,8 \text{ А.}$$

Такий струм є прийнятним для більшості акумуляторних модулів LiFePO_4 51,2 В 100 А·год, якщо їхня BMS підтримує відповідний розрядний струм. Проте перед остаточним вибором обладнання необхідно перевірити паспортні дані конкретної батареї.

2.11 Вибір кабельних ліній і захисної апаратури

У системах резервного живлення з акумуляторними батареями особливу увагу необхідно приділяти кабельним лініям постійного струму. При низькій напрузі 48/51,2 В і великій потужності струми можуть перевищувати 200 А. Тому неправильний вибір перерізу кабелю може призвести до перегріву, втрат напруги та небезпечних аварійних режимів.

Для підключення акумуляторної батареї до інвертора слід використовувати мідні кабелі відповідного перерізу. Орієнтовно для струмів

близько 200 А можуть застосовуватися кабелі перерізом 50–70 мм², залежно від довжини лінії, способу прокладання, допустимого нагріву та вимог виробника обладнання.

Падіння напруги в кабелі визначається за формулою:

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

де ΔU — падіння напруги, В;

I — струм, А;

L — довжина кабельної лінії в один бік, м;

ρ — питомий опір міді, Ом·мм²/м;

S — переріз провідника, мм².

Для міді питомий опір можна прийняти:

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

Якщо струм становить 212 А, довжина лінії від батареї до інвертора — 2 м, а переріз кабелю — 50 мм², то падіння напруги буде:

$$\Delta U = 2 \cdot 212 \cdot 2 \cdot 0,0175 / 50 = 0,297 \text{ В}.$$

Відносне падіння напруги:

$$\Delta U\% = 0,297 / 51,2 \cdot 100\% = 0,58\%.$$

Таке падіння напруги є допустимим. Отже, при короткій відстані між батареєю та інвертором кабель 50 мм² може бути достатнім. Якщо довжина кабелю більша або струм вищий, переріз потрібно збільшити.

У колі постійного струму необхідно передбачити:

- автоматичний вимикач постійного струму;
- плавкі запобіжники відповідного номіналу;
- роз'єднувач батареї;
- якісні кабельні наконечники;
- надійне обтискання з'єднань;
- захист від короткого замикання;

- заземлення обладнання відповідно до вимог електробезпеки.

У колі змінного струму необхідно встановити:

- автоматичні вимикачі;
- пристрої захисного вимкнення;
- реле контролю напруги;
- обмежувачі перенапруги;
- автоматичний або ручний перемикач джерела живлення;
- окремий щит резервованих навантажень.

Особливо важливо не допустити зворотної подачі напруги з інвертора в зовнішню мережу під час аварійного режиму. Для цього застосовують перемикачі навантаження, контактори або автоматичні пристрої введення резерву.

2.12 Орієнтовний вибір обладнання

Для реалізації системи резервного живлення приватного будинку потужністю 10 кВт пропонується такий склад обладнання:

1. гібридний інвертор 10 кВт;
2. акумуляторні модулі LiFePO₄ 51,2 В 100 А·год — 3 шт.;
3. автоматичні вимикачі постійного струму;
4. запобіжники або батарейний роз'єднувач;
5. автоматичні вимикачі змінного струму;
6. пристрої захисного вимкнення;
7. реле контролю напруги;
8. обмежувачі перенапруги;
9. кабелі постійного струму великого перерізу;

10. кабелі змінного струму;
11. розподільний щит резервованих споживачів;
12. монтажні матеріали;
13. система моніторингу.

Як акумуляторні модулі можуть бути використані батареї типу Pylontech US5000 або аналогічні модулі Deye, Dyness, Felicity Solar, Must, LogicPower чи інших виробників середнього класу. Наприклад, Pylontech US5000 має технологію LiFePO₄, номінальну напругу 48 В, ємність 100 А·год, повну енергоємність 4,8 кВт·год і корисну енергоємність близько 4,56 кВт·год. Також для нього заявляється ресурс до 8000 циклів при 80 % глибині розряду.




PYLONTECH US5000-1C 48V 4.8kWh Домашня батарея

★★★★★ 9 Відгуків | [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

В наявності

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
-
1
+

🛒 Додати в кошик

Рисунок 2.3 - Pylontech US5000

Для отримання приблизно 14–15 кВт·год можна використати три модулі такого класу. Якщо брати Pylontech US5000, то три модулі забезпечать:

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

Корисна енергія:

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

Це близьке до прийнятого розрахункового значення і дозволяє забезпечити резервне живлення основних споживачів приватного будинку.

2.13 Орієнтовна вартість системи

Вартість системи резервного живлення залежить від бренду обладнання, ємності акумуляторів, типу інвертора, складності монтажу, довжини кабельних ліній, кількості захисних апаратів і наявності додаткових функцій. Для дипломного проекту доцільно виконати орієнтовний кошторис на основі обладнання середнього класу.

Станом на актуальні ринкові пропозиції в Україні, гібридні інвертори Deye потужністю 10 кВт на цінових агрегаторах представлені приблизно в діапазоні від 60–70 тис. грн до понад 120 тис. грн залежно від моделі, фази, магазину та комплектації. Трифазний Deye SUN-10K-SG04LP3-EU описується як 10-кіловатний гібридний інвертор для систем із низьковольтними акумуляторами та резервним живленням. Для прикладу, на Hotline також наведені трифазні й однофазні моделі Deye 10–12 кВт з підтримкою акумуляторів 48 В і чистою синусоїдою.

Орієнтовний кошторис наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 — Орієнтовна вартість системи резервного живлення 10 кВт

№	Найменування обладнання	Кількість	Орієнтовна ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Гібридний інвертор 10 кВт, 48 В	1 шт.	80 000	80 000
2	LiFePO ₄ акумулятор 51,2 В 100 А·год, ≈5 кВт·год	3 шт.	45 000	135 000

3	Автоматичні вимикачі DC, запобіжники, роз'єднувачі	1 компл.	15 000	15 000
4	Автоматика AC, ПЗВ, реле напруги, обмежувачі перенапруги	1 компл.	18 000	18 000
5	Кабель постійного струму, наконечники, шини	1 компл.	10 000	10 000
6	Кабель змінного струму та монтажні матеріали	1 компл.	8 000	8 000
7	Розподільний щит резервованих навантажень	1 шт.	10 000	10 000
8	Монтажні та пусконаладжувальні роботи	1 компл.	25 000	25 000

Загальна орієнтовна вартість:

$$C_{\text{заг}} = 80\,000 + 135\,000 + 15\,000 + 18\,000 + 10\,000 + 8\,000 + 10\,000 + 25\,000 = 301\,000 \text{ грн.}$$

Отже, орієнтовна вартість системи резервного живлення потужністю 10 кВт з акумуляторною батареєю близько 15 кВт·год становить приблизно 300 000 грн.

Ця вартість є орієнтовною і може змінюватися залежно від вибраного виробника, курсу валют, комплектації, вартості монтажу та конкретних умов об'єкта. Якщо обрати дешевші акумуляторні модулі або інвертор бюджетного класу, вартість може бути меншою. Якщо використовувати обладнання преміум-класу, наприклад Victron Energy або високовольтні батарейні системи, вартість може бути значно вищою.

2.14 Порівняння можливих варіантів ємності батареї

Для вибору оптимальної ємності акумуляторів доцільно порівняти кілька варіантів.

Таблиця 2.5 — Порівняння варіантів акумуляторної батареї

Варіант	Кількість модулів по 5 кВт·год	Номінальна ємність, кВт·год	Орієнтовна корисна енергія, кВт·год	Сфера застосування
Мінімальний	1	5	4–4,5	Котел, роутер, освітлення, короткий резерв
Базовий	2	10	8–9	Основні споживачі на кілька годин
Оптимальний	3	15	12–13,5	Приватний будинок, середня автономність
Розширений	4	20	16–18	Тривалі відключення, більший комфорт
Максимальний	6	30	24–27	Висока автономність, можливе підключення СЕС

Для даної роботи обрано оптимальний варіант — три акумуляторні модулі загальною ємністю близько 15 кВт·год. Такий варіант має збалансоване співвідношення ціни, автономності та зручності експлуатації.

Мінімальний варіант на 5 кВт·год є недостатнім для системи 10 кВт, оскільки при значному навантаженні батарея швидко розрядиться. Базовий

варіант на 10 кВт·год може бути прийнятним, але має менший запас енергії. Розширений варіант на 20 кВт·год забезпечує кращу автономність, проте суттєво збільшує вартість системи.

2.15 Переваги обраного рішення

Обрана система резервного живлення має такі переваги:

1. Достатня потужність інвертора.
Інвертор 10 кВт дозволяє жити не лише освітлення та малопотужну техніку, а й частину силових споживачів, зокрема насоси, холодильник, котельне обладнання та окремі розеткові групи.
2. Оптимальна ємність акумуляторів.
Батарея близько 15 кВт·год забезпечує достатній запас енергії для аварійного режиму без надмірного збільшення вартості.
3. Використання LiFePO₄ -технології.
LiFePO₄ -акумулятори мають високий ресурс, добру безпечність і краще підходять для частих циклів заряду-розряду порівняно зі свинцево-кислотними батареями.
4. Можливість масштабування.
За потреби систему можна розширити, додавши ще один або кілька акумуляторних модулів.
5. Можливість підключення сонячних панелей.
Використання гібридного інвертора дозволяє в майбутньому підключити фотоелектричні модулі та збільшити енергонезалежність будинку.
6. Автоматична робота.
Після налаштування система може автоматично перемикатися на

акумуляторне живлення при зникненні напруги та повертатися до живлення від мережі після її відновлення.

7. Безшумність та екологічність.

На відміну від генератора, акумуляторна система не створює шуму та не виділяє вихлопних газів.

2.16 Недоліки та обмеження системи

Попри значні переваги, обрана система має певні недоліки:

- висока початкова вартість;
- обмежений запас енергії;
- необхідність правильного монтажу;
- потреба у якісній захисній апаратурі;
- залежність ресурсу батарей від температури та режиму експлуатації;
- неможливість тривалого живлення потужних електроприймачів без збільшення ємності АКБ.

Основним обмеженням є те, що потужність інвертора 10 кВт не означає можливість тривалої роботи з таким навантаженням. Якщо навантаження становить 10 кВт, батарея 15 кВт·год розрядиться приблизно за 1–1,5 години. Тому в аварійному режимі потрібно обмежувати споживання та використовувати лише необхідні електроприймачі.

Для підвищення автономності можна:

- збільшити кількість акумуляторних модулів;
- підключити сонячні панелі;
- зменшити кількість резервованих споживачів;

- використовувати енергоефективні LED-світильники;
- уникати використання електронагрівальних приладів від батареї;
- встановити систему моніторингу споживання.

2.17 Рекомендації щодо експлуатації системи

Для забезпечення надійної роботи системи резервного живлення необхідно дотримуватися таких рекомендацій:

1. Не перевантажувати інвертор понад номінальну потужність.
2. Не підключати до резервованої групи потужні електронагрівальні прилади без окремого розрахунку.
3. Регулярно перевіряти стан кабельних з'єднань і захисної апаратури.
4. Забезпечити нормальну вентиляцію приміщення, де встановлене обладнання.
5. Не допускати заряджання LiFePO₄-батареї при температурі нижче допустимої виробником.
6. Контролювати рівень заряду акумуляторів.
7. Виконувати монтаж відповідно до вимог електробезпеки.
8. Передбачити можливість ручного відключення батареї та інвертора.
9. Періодично перевіряти роботу системи в резервному режимі.

10. Використовувати обладнання, сумісне між собою за напругою, струмом і протоколами зв'язку.

Дотримання цих вимог дозволить підвищити строк служби обладнання, зменшити ризик аварійних ситуацій і забезпечити надійне резервне живлення будинку.

Висновки до розділу

У другому розділі було виконано розрахунок і підбір основного обладнання для системи резервного живлення приватного будинку потужністю 10 кВт. Визначено перелік резервованих споживачів, серед яких освітлення, холодильник, циркуляційні насоси, автоматика котла, інтернет-обладнання, охоронна система, насос водопостачання та окремі розеткові групи.

Розраховано, що орієнтовне добове споживання резервованих навантажень становить близько 11,5 кВт·год. Для забезпечення такого рівня автономності з урахуванням допустимої глибини розряду та ККД інвертора необхідна акумуляторна батарея номінальною ємністю приблизно 14,5–15 кВт·год.

Для реалізації системи обрано акумуляторну батарею на основі трьох LiFePO₄ -модулів напругою 51,2 В і ємністю 100 А·год кожен. Загальна номінальна енергоємність такої батареї становить приблизно 15,36 кВт·год, а корисна енергія з урахуванням глибини розряду та ККД інвертора — близько 12,7 кВт·год.

Для перетворення енергії акумуляторів у змінну напругу прийнято гібридний інвертор потужністю 10 кВт з чистою синусоїдою та підтримкою акумуляторів 48/51,2 В. Такий інвертор дозволяє забезпечити живлення резервованих навантажень, автоматичне перемикання на батарею та можливість подальшого підключення сонячних панелей.

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 мість;
- 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 системи резервного живлення залежить від бренду обладнання, ємності акумуляторів, типу інвертора, складності монтажу, довжини кабельних ліній, кількості захисних апаратів і наявності додаткових функцій. Для дипломного проєкту доцільно виконати орієнтовний кошторис на основі обладнання середнього класу.

Станом на актуальні ринкові пропозиції в Україні, гібридні інвертори Deye потужністю 10 кВт на цінових агрегаторах представлені приблизно в діапазоні від 60–70 тис. грн до понад 120 тис. грн залежно від моделі, фази, магазину та комплектації. Трифазний Deye SUN-10K-SG04LP3-EU описується як 10-кіловатний гібридний інвертор для систем із низьковольтними акумуляторами та резервним живленням. Для прикладу, на Hotline також наведені трифазні й однофазні моделі Deye 10–12 кВт з підтримкою акумуляторів 48 В і чистою синусоїдою.

Орієнтовний кошторис наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 4.1 — Орієнтовна вартість системи резервного живлення 10 кВт

№	Найменування обладнання	Кількість	Орієнтовна ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Гібридний інвертор 10 кВт, 48 В	1 шт.	80 000	80 000
2	LiFePO ₄ акумулятор 51,2 В 100 А·год, ≈5 кВт·год	3 шт.	45 000	135 000
3	Автоматичні вимикачі DC, запобіжники, роз'єднувачі	1 компл.	15 000	15 000
4	Автоматика AC, ПЗВ, реле напруги, обмежувачі перенапруги	1 компл.	18 000	18 000
5	Кабель постійного струму, наконечники, шини	1 компл.	10 000	10 000
6	Кабель змінного струму та монтажні матеріали	1 компл.	8 000	8 000
7	Розподільний щит резервованих навантажень	1 шт.	10 000	10 000
8	Монтажні та пусконаладжувальні роботи	1 компл.	25 000	25 000

Загальна орієнтовна вартість:

$$C_{\text{заг}} = 80\,000 + 135\,000 + 15\,000 + 18\,000 + 10\,000 + 8\,000 + 10\,000 + 25\,000 = 301\,000 \text{ грн.}$$

Отже, орієнтовна вартість системи резервного живлення потужністю 10 кВт з акумуляторною батареєю близько 15 кВт·год становить приблизно 300 000 грн.

Ця вартість є орієнтовною і може змінюватися залежно від вибраного виробника, курсу валют, комплектації, вартості монтажу та конкретних умов об'єкта. Якщо обрати дешевші акумуляторні модулі або інвертор бюджетного класу, вартість може бути меншою. Якщо використовувати обладнання преміум-класу, наприклад Victron Energy або високовольтні батарейні системи, вартість може бути значно вищою.

4.2 Порівняння можливих варіантів ємності батареї

Для вибору оптимальної ємності акумуляторів доцільно порівняти кілька варіантів.

Таблиця 4.2 — Порівняння варіантів акумуляторної батареї

Варіант	Кількість модулів по 5 кВт·год	Номінальна ємність, кВт·год	Орієнтовна корисна енергія, кВт·год	Сфера застосування
Мінімальний	1	5	4–4,5	Котел, роутер, освітлення, короткий резерв
Базовий	2	10	8–9	Основні споживачі на кілька годин
Оптимальний	3	15	12–13,5	Приватний будинок, середня автономність
Розширений	4	20	16–18	Тривалі відключення, більший комфорт

Максимальний	6	30	24–27	Висока автономність, можливе підключення СЕС
--------------	---	----	-------	--

Для даної роботи обрано оптимальний варіант — три акумуляторні модулі загальною ємністю близько 15 кВт·год. Такий варіант має збалансоване співвідношення ціни, автономності та зручності експлуатації.

Мінімальний варіант на 5 кВт·год є недостатнім для системи 10 кВт, оскільки при значному навантаженні батарея швидко розрядиться. Базовий варіант на 10 кВт·год може бути прийнятним, але має менший запас енергії. Розширений варіант на 20 кВт·год забезпечує кращу автономність, проте суттєво збільшує вартість системи.

4.3 Переваги обраного рішення

Обрана система резервного живлення має такі переваги:

1. Достатня потужність інвертора.
Інвертор 10 кВт дозволяє жити не лише освітлення та малопотужну техніку, а й частину силових споживачів, зокрема насоси, холодильник, котельне обладнання та окремі розеткові групи.
2. Оптимальна ємність акумуляторів.
Батарея близько 15 кВт·год забезпечує достатній запас енергії для аварійного режиму без надмірного збільшення вартості.
3. Використання LiFePO_4 -технології.
 LiFePO_4 -акумулятори мають високий ресурс, добру безпечність і краще підходять для частих циклів заряду-розряду порівняно зі свинцево-кислотними батареями.

4. Можливість масштабування.
За потреби систему можна розширити, додавши ще один або кілька акумуляторних модулів.
5. Можливість підключення сонячних панелей.
Використання гібридного інвертора дозволяє в майбутньому підключити фотоелектричні модулі та збільшити енергонезалежність будинку.
6. Автоматична робота.
Після налаштування система може автоматично перемикатися на акумуляторне живлення при зникненні напруги та повертатися до живлення від мережі після її відновлення.
7. Безшумність та екологічність.
На відміну від генератора, акумуляторна система не створює шуму та не виділяє вихлопних газів.

4.4 Недоліки та обмеження системи

Попри значні переваги, обрана система має певні недоліки:

- висока початкова вартість;
- обмежений запас енергії;
- необхідність правильного монтажу;
- потреба у якісній захисній апаратурі;
- залежність ресурсу батарей від температури та режиму експлуатації;
- неможливість тривалого живлення потужних електроприймачів без збільшення ємності АКБ.

Основним обмеженням є те, що потужність інвертора 10 кВт не означає можливість тривалої роботи з таким навантаженням. Якщо навантаження становить 10 кВт, батарея 15 кВт·год розрядиться приблизно за 1–1,5 години.

Тому в аварійному режимі потрібно обмежувати споживання та використовувати лише необхідні електроприймачі.

Для підвищення автономності можна:

- збільшити кількість акумуляторних модулів;
- підключити сонячні панелі;
- зменшити кількість резервованих споживачів;
- використовувати енергоефективні LED-світильники;
- уникати використання електронагрівальних приладів від батареї;
- встановити систему моніторингу споживання.

4.5 Рекомендації щодо експлуатації системи

Для забезпечення надійної роботи системи резервного живлення необхідно дотримуватися таких рекомендацій:

1. Не перевантажувати інвертор понад номінальну потужність.
2. Не підключати до резервованої групи потужні електронагрівальні прилади без окремого розрахунку.
3. Регулярно перевіряти стан кабельних з'єднань і захисної апаратури.
4. Забезпечити нормальну вентиляцію приміщення, де встановлене обладнання.
5. Не допускати заряджання LiFePO_4 -батареї при температурі нижче допустимої виробником.
6. Контролювати рівень заряду акумуляторів.
7. Виконувати монтаж відповідно до вимог електробезпеки.
8. Передбачити можливість ручного відключення батареї та інвертора.
9. Періодично перевіряти роботу системи в резервному режимі.
10. Використовувати обладнання, сумісне між собою за напругою, струмом і протоколами зв'язку.

Дотримання цих вимог дозволить підвищити строк служби обладнання, зменшити ризик аварійних ситуацій і забезпечити надійне резервне живлення будинку.

Висновки до розділу

Орієнтовна вартість системи резервного живлення середнього класу становить близько 300 000 грн. До цієї суми входить інвертор, акумуляторні модулі, захисна апаратура, кабельні лінії, розподільний щит і монтажні роботи. Остаточна вартість залежить від конкретних моделей обладнання, умов монтажу та комплектації системи.

Таким чином, запропонована система резервного живлення на основі LiFePO₄-акумуляторів є технічно обґрунтованим і практично доцільним рішенням для приватного будинку. Вона забезпечує достатню потужність, прийнятну автономність, можливість подальшого розширення та підвищує надійність електропостачання силової й освітлювальної мережі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У другому розділі було виконано розрахунок і підбір основного обладнання для системи резервного живлення приватного будинку потужністю 10 кВт. Визначено перелік резервованих споживачів, серед яких освітлення, холодильник, циркуляційні насоси, автоматика котла, інтернет-обладнання, охоронна система, насос водопостачання та окремі розеткові групи.

Розраховано, що орієнтовне добове споживання резервованих навантажень становить близько 11,5 кВт·год. Для забезпечення такого рівня автономності з урахуванням допустимої глибини розряду та ККД інвертора необхідна акумуляторна батарея номінальною ємністю приблизно 14,5–15 кВт·год.

Для реалізації системи обрано акумуляторну батарею на основі трьох LiFePO_4 -модулів напругою 51,2 В і ємністю 100 А·год кожен. Загальна номінальна енергоємність такої батареї становить приблизно 15,36 кВт·год, а корисна енергія з урахуванням глибини розряду та ККД інвертора — близько 12,7 кВт·год.

Для перетворення енергії акумуляторів у змінну напругу прийнято гібридний інвертор потужністю 10 кВт з чистою синусоїдою та підтримкою акумуляторів 48/51,2 В. Такий інвертор дозволяє забезпечити живлення резервованих навантажень, автоматичне перемикання на батарею та можливість подальшого підключення сонячних панелей.

Орієнтовна вартість системи резервного живлення середнього класу становить близько 300 000 грн. До цієї суми входить інвертор, акумуляторні модулі, захисна апаратура, кабельні лінії, розподільний щит і монтажні роботи. Остаточна вартість залежить від конкретних моделей обладнання, умов монтажу та комплектації системи.

Таким чином, запропонована система резервного живлення на основі LiFePO_4 -акумуляторів є технічно обґрунтованим і практично доцільним рішенням для приватного будинку. Вона забезпечує достатню потужність, прийнятну автономність, можливість подальшого розширення та підвищує надійність електропостачання силової й освітлювальної мережі.

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.