

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**бакалавр**

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Резервне електропостачання квартири  
багатоквартирного будинку в умовах надзвичайного стану  
енергетики в Україні**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-42  
спеціальності 141

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва спеціальності)

Андрушків А. Ю.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Лупенко А. М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

Рецензент   
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Коваль В. П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
« 02 » січня 2026 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Андрушків Андрій Юрійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Резервне електропостачання квартири багатоквартирного будинку в умовах надзвичайного стану енергетики в Україні

Керівник роботи Лупенко Анатолій Миколайович, професор, д.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи план приміщень квартири; дані про електроспоживання; технічні характеристики інвертора; технічні характеристики акумуляторної батареї.

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунковий розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

Загальні висновки

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

Графіки відключень електроенергії під час надзвичайного стану енергетики в Україні.

Схеми реалізації резервного живлення на основі інвертора.

Схеми реалізації резервного живлення на основі ББЖ.

Класифікація АКБ для використання у житлових приміщеннях.

План квартири для реалізації проекту.

Схема підключення резервного живлення в квартирі багато квартирного будинку.

Технічні характеристики інвертора Mastervolt CombiMaster 12/3000

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи хорони праці	К.т.н., доцент Гурик О. Я.		

7. Дата видачі завдання 02 січня 2026 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2026	
2	Аналітичний розділ	28.02.2026	
3	Проектно-конструкторський розділ	31.03.2026	
4	Розрахунковий розділ	30.04.2026	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2026	
6	Висновки	10.06.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2026	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2026	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Андрушків А. Ю.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Лупенко А. М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

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

Стор. 65; рис. 21; табл. 4; креслень (презентацій) 7; джерел 46.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Резервне електропостачання квартири багатоквартирного будинку в умовах надзвичайного стану енергетики в Україні».

Метою роботи є забезпечення квартири у багатоквартирному будинку резервним електропостачанням в умовах дії надзвичайного стану енергетики в Україні.

Актуальність теми зумовлена систематичними атаками на енергетичну інфраструктуру, що призвели до дефіциту електроенергії, запровадження графіків аварійних і погодинних відключень та створили реальні ризики для безпеки й життєдіяльності населення. Для досягнення поставленої мети проаналізовано основні варіанти резервного енергозабезпечення, виконано порівняння інверторних систем з акумуляторними батареями, зарядних станцій, джерел безперебійного живлення, гібридних сонячних електростанцій і вітрогенераторних установок.

У результаті дослідження запропоновано технічне рішення системи резервного електропостачання квартири на базі інвертора та LiFePO<sub>4</sub> акумуляторної батареї з BMS, яке забезпечує надійне покриття базових і пікових навантажень, відповідає вимогам безпечної експлуатації та може бути рекомендоване для практичного впровадження в умовах багатоквартирного житлового будинку.

*Ключові слова: РЕЗЕРВНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, LiFePO<sub>4</sub>, BMS, ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА*

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	3
ВСТУП .....	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Атаки на енергосистему та запровадження надзвичайного стану енергетики в Україні.....	8
1.2 Графіки відключень електропостачання у Тернополі.....	9
1.3 Методи забезпечення резервного електропостачання квартир багатоквартирного будинку .....	11
1.4 Висновки до розділу 1 .....	12
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	13
2. 1 Інверторні системи з акумулятором.....	13
2.2 Зарядні станції.....	16
2.3 Джерела безперебійного живлення.....	19
2. 4 Гібридні сонячні електростанції.....	22
2.5 Вітрогенераторні станції .....	25
2.6 Зберігання енергії для забезпечення резервного електропостачання .....	28
2.6.1 Гелеві акумуляторні батареї (Gel).....	29
2.6.2 Літій-іонні акумуляторні батареї (Li-ion).....	31
2.6.3 Літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї (LiFePO <sub>4</sub> ) .....	33
2.7 Висновки до розділу 2 .....	35
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ.....	37
3.1 Опис об'єкта дослідження .....	37
3.2 Визначення навантаження та споживання електричної енергії.....	39

3.3	Визначення необхідної ємності та кількості акумуляторів .....	42
3.4	Визначення мінімального струму зарядки АКБ .....	46
3.5	Вибір інвертора .....	47
3.6	Висновок до розділу 3 .....	51
4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	53
4.1	Основні небезпечні та шкідливі чинники.....	53
4.2	Вимоги безпеки під час заряджання .....	54
4.3	Дії в аварійних ситуаціях .....	56
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	58
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	60

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Дефіцит електроенергії через масовані атаки по енергетичній інфраструктурі й втрата генеруючих потужностей призвели до надзвичайного стану енергетики в Україні та введення графіків аварійних відключення залишаються реальним ризиком для домогосподарств. Це робить резервне живлення житла питанням базової стійкості та безпеки цілих сімей.

За умов 4-годинної наявності електропостачання на добу резервне живлення квартири є не розкішшю, а інструментом базової життєстійкості: воно зберігає зв'язок, світло, можливість працювати та підтримувати побут без порушення правил пожежної та газової безпеки.

Тема «Резервне енергопостачання квартири багатоквартирного будинку в умовах надзвичайного стану енергетики в Україні» є надзвичайно актуальною з кількох причин:

### 1. Реальні загрози енергетичній системі:

- масовані атаки на енергетичну інфраструктуру призводять до регулярних перебоїв у постачанні електроенергії, тепла та води;
- уряд офіційно оголосив надзвичайний стан в енергетиці, що означає жорсткі обмеження та можливість тривалих відключень світла й тепла.

### 2. Соціально-гуманітарний аспект:

- в умовах низьких температур та перебоїв у постачанні електроенергії існує ризик гуманітарної кризи: відсутність тепла, води та зв'язку може поставити під загрозу життя та здоров'я населення;
- резервні джерела енергії стають критично важливими для забезпечення базових потреб: освітлення, роботи медичних приладів, зв'язку та інтернету.

### 3. Економічна та побутова стабільність:

- дозволяє зберегти нормальний ритм життя навіть під час тривалих відключень електроенергії;
- наявність резервного енергопостачання дозволяє уникнути фінансових витрат та зберегти життєдіяльність домогосподарств.

#### 4. Психологічна безпека:

- Можливість мати альтернативне джерело енергії знижує рівень стресу та тривожності населення;
- Створюється відчуття контролю та захищеності навіть у кризових умовах.

Дослідження та впровадження резервних систем енергопостачання стає не лише питанням комфорту, а й стратегією виживання та адаптації в умовах надзвичайного стану енергетики в Україні.

**Метою кваліфікаційної роботи** є забезпечення квартири у багатоквартирному будинку резервним електропостачанням в умовах дії надзвичайного стану енергетики в Україні.

#### **Завдання:**

1. Розглянути варіанти резервного енергопостачання квартири багатоквартирного будинку;
2. Розглянути використання інверторів та підбір інвертора для потреб квартири багатоквартирного будинку;
3. Розглянути типи АКБ, та підбір оптимального для квартири багатоквартирного будинку;
4. Дослідити час зарядки АКБ в умовах надзвичайного стану енергетики в Україні;
5. Визначити час роботи електроспоживачів квартири та побудувати добовий графік навантаження квартири;
6. Зробити схему резервного електропостачання квартири багатоквартирного будинку.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Атаки на енергосистему та запровадження надзвичайного стану енергетики в Україні

З початку повномасштабного вторгнення росія веде системну кампанію руйнування української енергетики, яка відбувається хвилями та спрямована на підрив стабільності енергосистеми. Аналітичні оцінки підтверджують, що це не поодинокі удари, а скоординовані комбіновані атаки ракетами та дронами, які посилюються в осінньо-зимовий період, коли навантаження на систему максимальне. Станом на лютий 2026 року зафіксовано щонайменше 64 масовані атаки по енергосектору, у яких росія застосувала орієнтовно 12 700 ударних БПЛА та 2 900 ракет різних типів, причому інтенсивність зростає особливо у 2025 – на початку 2026 років. Такі атаки йдуть хвилями, зі стійким фокусом на ключових об'єктах генерації та магістральних мережах [1], [2].

На практиці це призвело до нових хвиль відключень і додатковими пошкодженнями електростанцій і мереж. Наприклад, 7 лютого 2026 року міжнародні агентства повідомляли про масовану атаку з використанням приблизно 400 дронів і 40 ракет, яка спричинила знеструмлення у більшості регіонів України й нові руйнування генерувальних об'єктів під час піку зимового навантаження [3].

На цьому тлі 14 січня 2026 року Президент України оголосив надзвичайний стан у сфері енергетики реакцію на безпрецедентний масштаб атак, які перетворили енергетику на окремий фронт війни: від цивільних електростанцій і підстанцій до газовидобутку й шахт. Ідеться не про «побічні» відключення внаслідок боїв, а про цілеспрямовану стратегію, коли тривалі й часті перерви в електро- та теплопостачанні підривають роботу критичних сервісів – водопостачання, транспорту, зв'язку – і повсякденне життя мільйонів людей. Саме з цієї логіки випливає потреба переосмислення енергобезпеки як складника нацбезпеки та прискорення переходу до більш стійкої архітектури – розподіленої







мають бути надійними, аби запобігти форс-мажорам під час експлуатації, й гарантувати штатну роботу всіх пристроїв і систем повсякденного користування в квартирі багатоквартирного будинку. До теми варто підходити комплексно: окреслити повний перелік можливих варіантів, зважити їхні переваги й недоліки, після чого обрати найраціональніший і дослідити його докладніше. Серед рішень, придатних для домашніх умов, – інверторні системи з акумуляторами, зарядні станції, джерела безперебійного живлення, гібридні сонячні електростанції та вітрогенератори. Доречно також передбачити автоматичне введення резерву. Надалі кожен із зазначених методів доцільно розглянути окремо та в деталях в наступному розділі.

#### **1.4 Висновки до розділу 1**

У результаті проведеного аналізу встановлено, що систематичні атаки на енергетичну інфраструктуру України призвели до суттєвого зниження надійності електропостачання та запровадження надзвичайного стану енергетики в Україні. Наслідком цього стали тривалі й повторювані відключення електроенергії, що особливо відчутно проявилось на прикладі графіків погодинних відключень у місті Тернополі. За таких умов питання забезпечення резервного електропостачання квартир багатоквартирних будинків набуває особливої актуальності.

Проведений аналіз показав, що впровадження резервного живлення має здійснюватися з дотриманням вимог нормативних документів, правил електро- та пожежної безпеки, а також з урахуванням умов експлуатації в житлових будинках. Отже, подальше дослідження доцільно спрямувати на вибір найбільш раціонального способу резервного електропостачання та розроблення технічного рішення для його практичної реалізації.

## 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

Проектно-конструкторський розділ присвячений розробці системи резервного електропостачання квартири багатоквартирного будинку в умовах надзвичайного стану енергетики в Україні з урахуванням вимог надійності, безпеки та ефективності роботи. У розділі на основі проведеного аналізу здійснюється вибір оптимальної схеми резервного живлення. Результатом розділу є технічно обґрунтоване рішення системи резервного електропостачання, придатне для практичного впровадження в умовах багатоквартирного житлового будинку.

### 2.1 Інверторні системи з акумулятором

Розглянемо перший метод, в якому використовується інверторні системи з акумулятором. Інвертор з акумуляторною батареєю – це найбільш універсальна система резервного живлення для квартири багатоквартирного будинку: вона перетворює постійну напругу з батареї у змінну 230В для живлення побутових приладів і здатна автоматично підхоплювати навантаження під час зникнення мережі. За своєю ідеологією та вимогами безпеки такі системи належать до класу систем безперебійного живлення, що дозволяє використовувати їх у житлових приміщеннях.

У нормальному стані навантаження живиться від мережі 230В, а інвертор, якщо передбачено, одночасно підзаряджає АКБ. Коли напруга мережі виходить за межі стандартних характеристик (скачок, провал, повне зникнення), комутатор за мілісекунди переводить живлення на інвертор, який бере енергію з АКБ і забезпечує напругу потрібної величини. Коли мережа відновлюється й відповідає вимогам, то система автоматично повертає навантаження на мережу й дозаряджає батарею [10], [11].

Дані системи мають кілька режимів роботи: режим очікування/заряду, режим інвертування, режим байпас, гібридний режим.

В режимі очікування/заряду мережа наявна, навантаження живиться безпосередньо від неї, а АКБ заряджається через вбудований зарядний пристрій. Для гелевих та AGM батарей важливі правильні етапи bulk/absorption/float, для літієвих – напруга та струм у межах характеристик елементів з яких вона складається [10].

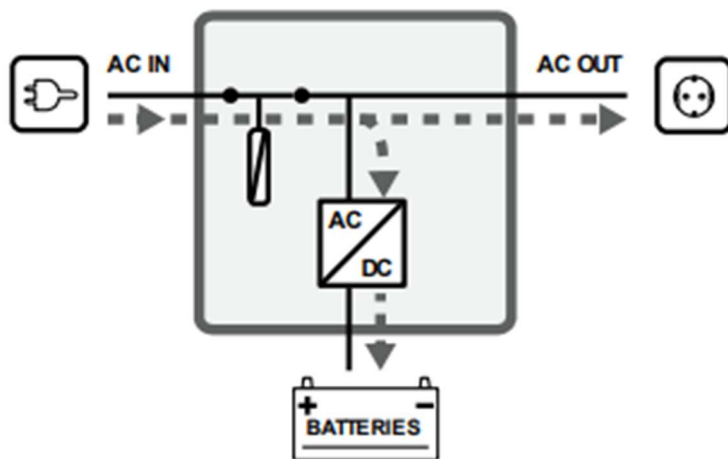


Рисунок 2.1 – Схема реалізації режиму очікування/зарядки

За відсутності мережі або при зміні параметрів вхідного електропостачання інвертор переходить в режим інвертування та формує 230В використовуючи енергію з АКБ. Час автономії залежить від ємності батареї, сумарного навантаження і ККД інвертора. Більшість інверторів відстежують напругу АКБ і відключають навантаження при досягненні порогового значення, щоб запобігти глибокого розряду та продовжити термін служби АКБ.

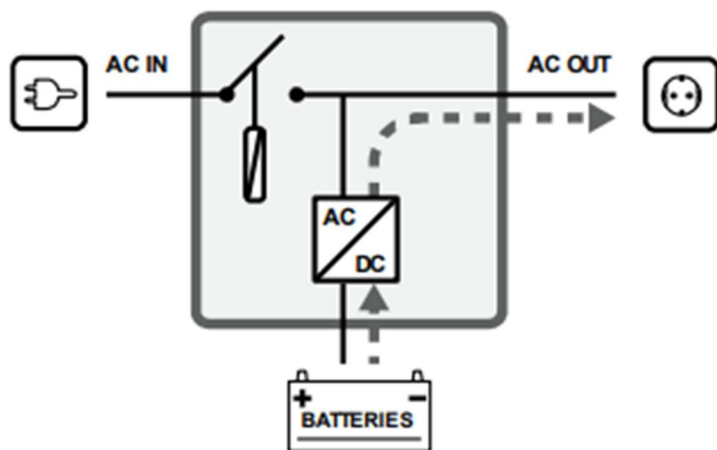


Рисунок 2.2 – Схема реалізації режиму інвертування

Режим байпас в інверторах дозволяє тимчасово обійти сам інвертор і напряму подавати живлення від електромережі до навантаження. Це потрібно для того, щоб обладнання залишалося підключеним до електропостачання навіть тоді, коли інвертор несправний, перевантажений або перебуває на технічному обслуговуванні.

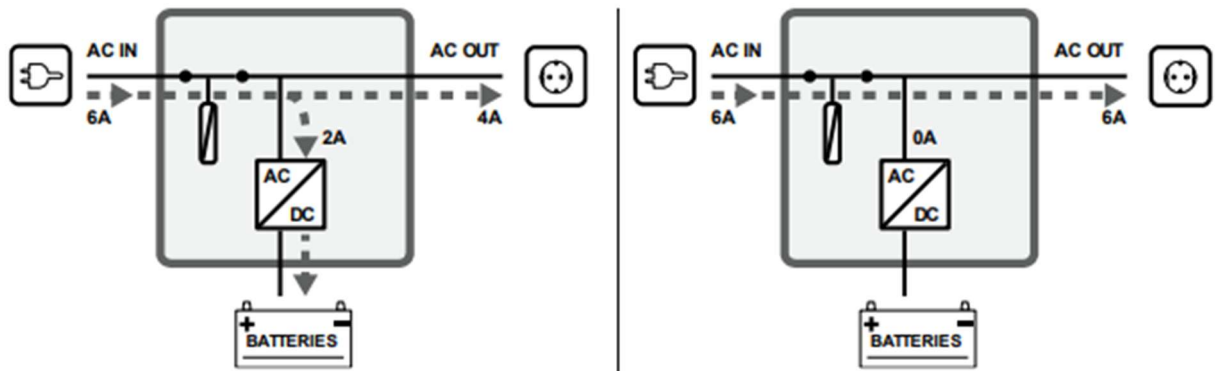


Рисунок 2.3 – Схема реалізації режиму байпас

Гібридний режим в інверторах – це функція, яка дозволяє інвертору використовувати зовнішнє джерело змінного струму для підтримки роботи навантаження та заряджання акумуляторів. Іншими словами, інвертор у цьому режимі не лише перетворює енергію з батарей, а й інтегрує мережеве живлення для більшої гнучкості та стабільності системи [11].

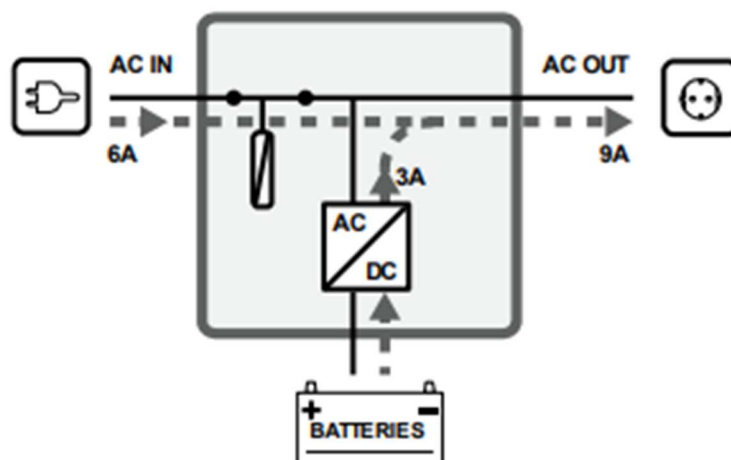


Рисунок 2.4 – Схема реалізації гібридного режиму

## 2.2 Зарядні станції

Другий метод з використанням портативної зарядної станції – це багаторазово перезаряджувальний енергоблок із вбудованою батареєю, інвертором і набором вихідних портів (АС-розетки, 12 В DC, USB-A/C), що дозволяє живити побутові прилади та заряджати гаджети автономно. Її заряджають від мережі, авто або від сонячних панелей (через контролер заряджання) [12].

За їх допомогою забезпечується безперервна робота засобів зв'язку шляхом живлення мобільних пристроїв та іншого телекомунікаційного обладнання, що дає змогу підтримувати комунікацію з родиною та близькими. Крім того, зарядні станції створюють можливість для виконання професійних обов'язків і проходження навчання в дистанційному форматі, що є критично важливим для користувачів, діяльність яких залежить від онлайн-інфраструктури.

Окремо слід відзначити застосування зарядних станцій у сфері медичного забезпечення, зокрема для живлення кисневих концентраторів та інших електричних пристроїв життєзабезпечення. Також вони використовуються для побутових потреб – підключення холодильного обладнання та систем освітлення з метою збереження продуктів і підтримання базового рівня комфорту в житловому приміщенні [13].

Доцільно окреслити основні можливості та сфери застосування зарядних станцій. Вони є автономними та надійними джерелами електроживлення, функціонування яких не потребує використання традиційних видів палива, таких як бензин, дизельне паливо, природний газ або вугілля. Завдяки відсутності процесів згоряння зарядні станції мають знижений екологічний вплив, що дозволяє віднести їх до відносно екологічно безпечних енергетичних рішень.

Залежно від номінальної та пікової потужності, вбудованої в пристрій, зарядна станція здатна стабільно забезпечувати електроживленням широкий спектр побутових електроприладів і електронних пристроїв. До найбільш суттєвих переваг таких систем належать мобільність і портативність, що

забезпечує можливість їх використання в умовах відсутності доступу до централізованої електромережі, зокрема під час подорожей, відпочинку або виїзної роботи.

За конструктивним виконанням і сферою застосування зарядні станції поділяються на портативні та стаціонарні. Портативні моделі характеризуються компактними габаритами та невеликою масою, що спрощує їх транспортування і робить придатними для експлуатації в різноманітних умовах. Вони застосовуються для заряджання ноутбуків, планшетів, смартфонів та інших переносних електронних пристроїв. У деяких конфігураціях портативні зарядні станції можуть комплектуватися сонячними панелями, що забезпечує повністю автономний режим заряджання.

Стаціонарні зарядні станції, як правило, встановлюються в житлових будинках, на невеликих підприємствах, в офісних приміщеннях, аеропортах або торговельно-розважальних центрах і призначені для одночасного живлення більшої кількості споживачів електроенергії [12].

Серед ключових переваг зарядних станцій слід відзначити зручність експлуатації, оскільки відпадає потреба в постійному доступі до електричної розетки для заряджання пристроїв у дорозі або за умов частих відключень централізованого електропостачання. Крім того, такі системи вирізняються енергоефективністю завдяки автоматизованому керуванню процесом заряджання, що сприяє раціональному використанню електроенергії та зменшенню навантаження на електромережу.

Багатофункціональність зарядних станцій забезпечується наявністю декількох вихідних інтерфейсів, що дозволяє одночасно підключати та живити різні типи пристроїв. Важливою характеристикою є й підвищений рівень безпеки, оскільки такі пристрої обладнані системами захисту від короткого замикання, перенапруги, перевантаження та перегріву.

Окремої уваги заслуговує підтримка режимів швидкого заряджання, які дають змогу досягти майже повного заряду акумуляторної батареї протягом приблизно однієї години. Це є особливо важливим в умовах короткочасної

доступності централізованого електропостачання в умовах надзвичайного стану енергетики в Україні, коли зарядна станція має забезпечити максимальний рівень готовності за мінімальний час [12], [13].



Рисунок 2.5 – Різні типи портативних зарядних станцій

Не слід ігнорувати додаткові функціональні можливості зарядних станцій, які, хоча й не є критичними для їх базового призначення, суттєво розширюють функціонал пристрою та підвищують зручність експлуатації. До основних допоміжних функцій належать:

- Цифровий дисплей. У базових моделях зазвичай відображається рівень заряду акумулятора, вхідна потужність, струм і напруга. Більш технологічно оснащені станції можуть мати розширений інтерфейс із таймером зворотного відліку, який показує прогнозований час до повного розрядження батареї за поточного навантаження, а також кількість підключених споживачів.
- Програмне забезпечення для ПК або мобільних пристроїв. Додатки забезпечують доступ до розширеної телеметрії, зокрема детальних звітів про стан акумуляторної батареї, параметри навантаження та можливість віддаленого моніторингу й керування.

- Підтримка бездротової зарядки. Дана функція підвищує зручність користування, однак характеризується зниженим коефіцієнтом корисної дії, який, як правило, становить близько 60–75 %, що призводить до додаткових енергетичних втрат.
- Інтегровані сонячні панелі. Дозволяють здійснювати додаткове підзарядження станції за наявності сонячного випромінювання, підвищуючи рівень енергетичної автономності.
- Підсвітка дисплею та вбудований ліхтарик. Найчастіше реалізується в компактних моделях і підвищує зручність експлуатації в умовах недостатнього освітлення.
- Модулі розширення ємності. Забезпечують можливість підключення додаткових акумуляторних батарей через силові кабелі для збільшення загального енергетичного резерву системи.
- Кабелі та інвертори. Можуть входити до стандартної комплектації зарядної станції, що розширює її сумісність з різними типами електричних навантажень.
- Транспортувальні коліщатка. Застосовуються переважно у важких та великогабаритних стаціонарних моделях для спрощення переміщення пристрою.

### **2.3 Джерела безперебійного живлення**

Розглянемо третій метод забезпечення електроживлення, у якому використовується джерело безперебійного живлення (ДБЖ). ДБЖ забезпечує автоматичне та практично миттєве перемикавання навантаження на резервне джерело у разі зникнення напруги в централізованій електромережі. Причинами таких відключень можуть бути як звичайні аварійні збої чи перевантаження мережі, так і масштабні пошкодження енергетичної інфраструктури. Основне призначення ДБЖ полягає в підтриманні безперервної роботи підключених пристроїв або у забезпеченні їх коректного завершення роботи [14], [15].

Резервним джерелом енергії в ДБЖ є вбудовані акумуляторні батареї. Вони дозволяють уникнути аварійного вимкнення обладнання, зберегти працездатність електроприладів та запобігти втраті даних. Окрім цього, деякі моделі ДБЖ оснащені схемами контролю якості електроживлення, здатними виявляти та компенсувати перепади напруги

Залежно від принципу роботи, функціональних можливостей та ціни, виділяють три основні типи джерел безперебійного живлення [14], [15].

ДБЖ резервного типу (off-line, standby) це найпростіший і найдешевший тип безперебійників, який не потребує складного технічного обслуговування. У нормальному режимі навантаження живиться безпосередньо від електромережі, а при її зникненні ДБЖ перемикається на акумулятор, забезпечуючи подальше функціонування підключених пристроїв. Основним недоліком такого типу є відсутність стабілізатора напруги: навіть незначні коливання вхідної напруги призводять до переходу в автономний режим. За умов нестабільної мережі це викликає часті цикли перемикавання, прискорений знос акумулятора та характерні механічні шуми (клацання реле).

Додатковим обмеженням є затримка перемикавання, яка може сягати до 6 мс. Для чутливих споживачів така пауза є критичною, що може призводити до їх вимкнення. У зв'язку з цим резервні ДБЖ не рекомендуються для живлення холодильників, котлів та іншої техніки з підвищеними вимогами до безперервності живлення.

Лінійно-інтерактивні ДБЖ є найбільш поширеним у побутовому та напівпрофесійному сегменті. На відміну від резервних, лінійно-інтерактивні ДБЖ оснащені автоматичним регулятором напруги (AVR), який дозволяє компенсувати коливання напруги без переходу на акумулятор. Такі пристрої здатні працювати в широкому діапазоні вхідних напруг, зазвичай у межах 160–290 В [14].

Лінійно-інтерактивні ДБЖ можуть формувати на виході напругу у вигляді модифікованої або чистої синусоїди. Використання модифікованої синусоїди знижує вартість пристрою, проте може призводити до перегріву та прискореного

знос у електроприладів. Тому для побутової техніки доцільно обирати моделі з правильною синусоїдою.

Серед недоліків слід відзначити збереження затримки перемикачання, яка хоч і менша, ніж у резервних ДБЖ, однак становить приблизно 2–4 мс. Для окремих категорій споживачів цього все ще може бути недостатньо.

ДБЖ подвійного перетворення (on-line) працюють за принципом подвійного перетворення енергії: змінна напруга мережі спочатку випрямляється до постійної, а потім інвертор формує з неї змінну напругу з заданими параметрами. Таким чином на виході забезпечується стабільна напруга незалежно від якості вхідного живлення.

Через наявність мережевого трансформатора, випрямляча та постійно працюючого інвертора такі ДБЖ мають більшу масу та габарити, а також значно вищу вартість. Для зменшення ваги виробники нерідко застосовують трансформатори з алюмінієвою обмоткою. У нормальному режимі основна частина енергії подається безпосередньо на інвертор, а решта використовується для заряджання акумуляторів. У разі зникнення напруги живлення інвертора без затримки здійснюється від батарей.

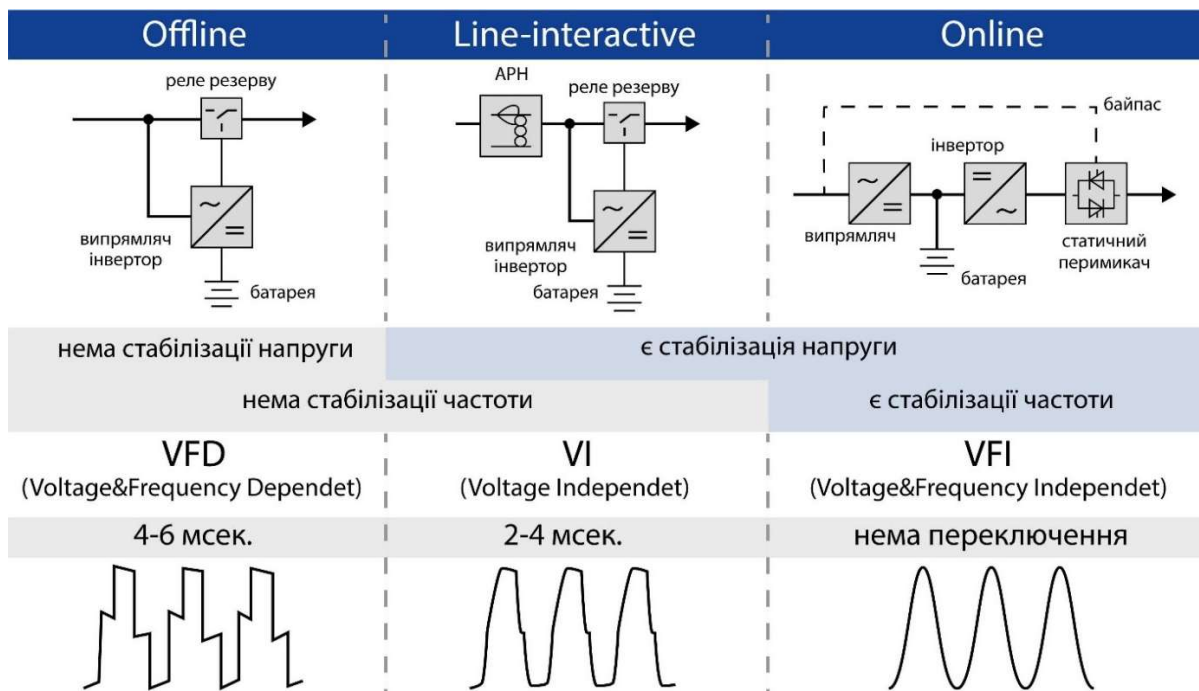


Рисунок 2.6 – Класифікація ДБЖ

Онлайнові ДБЖ застосовуються переважно для потужностей 4000 ВА і вище та значно рідше — в сегменті до 800 ВА. До їх переваг належать відсутність стрибків вихідної напруги, нульовий час перемикання, формування чистої синусоїди, інтегроване регулювання коефіцієнта потужності та сумісність із чутливими споживачами, такими як серверне, медичне обладнання, котли та комп'ютерні системи [14], [15].

Разом із тим, цей тип має і суттєві недоліки: підвищені робочі температури, необхідність ефективного охолодження, скорочений термін служби окремих компонентів, підвищені експлуатаційні витрати, постійний шум від інвертора та вентиляторів, а також найвищу ціну серед усіх типів ДБЖ.

Спільною та однією з найбільш суттєвих проблем для всіх типів ДБЖ є тривалий час заряджання акумуляторів. В умовах частих і тривалих відключень електроенергії вбудовані батареї не встигають повністю зарядитися, а їх ємності зазвичай недостатньо для забезпечення довготривалого автономного живлення. У більшості випадків ДБЖ здатні забезпечити лише короткочасну підтримку роботи обладнання, збереження даних або коректне завершення процесів. Використання додаткових акумуляторних батарей значно підвищує загальну вартість системи [15].

## **2. 4 Гібридні сонячні електростанції**

Розглянемо ще один метод забезпечення безперервного електроживлення квартири багатоквартирного будинку в періоди відключень електроенергії, спричинених масованими атаками на енергетичну інфраструктуру. Цей метод передбачає використання сонячних фотоелектричних панелей з акумуляторними батареями або без них.

Фотоелектрична комірка являє собою напівпровідниковий пристрій, призначений для прямого перетворення енергії електромагнітного випромінювання у електричну енергію на основі фотоелектричного ефекту. Найпоширенішим матеріалом для виготовлення таких комірок є кремній.

Сукупність фотоелектричних комірок, з'єднаних послідовно або паралельно з метою отримання необхідних значень напруги та струму, формує сонячну панель.



Рисунок 2.7 – Різновиди сонячних панелей ДБЖ

Розглянемо можливість функціонування сонячної електростанції без використання акумуляторних батарей та доцільність такого рішення. В автономних системах без накопичувачів енергії обов'язковим є використання автономного інвертора, який не підключається до централізованої електромережі. Вхідні параметри такого інвертора повинні бути узгоджені з електричними характеристиками сонячних панелей, а вихідні — відповідати стандартним значенням змінної напруги 230В. Для забезпечення роботи побутових електроприладів у періоди відключень необхідно використовувати панелі значної потужності. Проте відсутність акумуляторних батарей унеможливорює стабільне та прогнозоване електропостачання, оскільки виробіток сонячної енергії є змінним і напряму залежить від погодних умов, пори доби та сезону. У нічний час, за хмарної погоди або взимку така система не здатна забезпечити гарантоване електроживлення. За відсутності накопичувачів коефіцієнт стійкості системи фактично дорівнює нулю, що суттєво обмежує її практичну цінність [16], [17].

Більш ефективним рішенням є гібридні сонячні системи, які поєднують сонячні панелі, акумуляторні батареї та можливість підключення до централізованої електромережі. Така конфігурація забезпечує підвищену надійність і стійкість електропостачання, що сприяє кращій інтеграції з

енергосистемою та підвищує загальну енергоефективність. У гібридних системах застосовуються гібридні інвертори, які можуть працювати як у мережевому, так і в автономному режимі.

Наявність акумуляторних батарей дозволяє накопичувати електроенергію в періоди надмірної генерації та використовувати її під час пікових навантажень або в нічний час. Це забезпечує економічний ефект за рахунок зменшення споживання електроенергії за максимальними тарифами. Найчастіше в таких системах використовуються літій-іонні акумулятори, які характеризуються тривалим терміном служби, низьким рівнем саморозряду та високим коефіцієнтом корисної дії. Їх доступність зросла завдяки розвитку електромобільної галузі та масовому виробництву компактних і ємнісних акумуляторів.

Гібридний інвертор забезпечує комбіноване живлення з трьох джерел: сонячних панелей, акумуляторних батарей і централізованої мережі. Алгоритми керування дозволяють задавати пріоритети використання енергії — спочатку від фотоелектричних модулів, далі від акумуляторів і лише після цього від мережі. За необхідності запуску потужних електроприладів з високими пусковими струмами можливе короткочасне залучення мережі, що зменшує навантаження на акумулятори та подовжує їх ресурс. Окремі моделі інверторів оснащуються системами моніторингу, які дозволяють відстежувати виробіток та розподіл енергії в режимі реального часу.

Згідно з рекомендаціями, для забезпечення безперебійного живлення в умовах регулярних відключень залишковий заряд акумуляторної батареї не повинен опускатися нижче 20 %, а її номінальна ємність має бути приблизно на 10 % меншою за максимальну допустиму. Оптимально підібрана ємність батарей відповідає середньодобовому споживанню домогосподарства, особливо з урахуванням зимового періоду та вечірніх піків навантаження.

Узагальнюючи, слід відзначити доцільність використання сонячних панелей у квартирі багатоквартирного житлового будинку в більшості випадків є технічно, економічно та експлуатаційно недоцільним. Це зумовлено насамперед

обмеженими можливостями для коректного монтажу та недостатньою площею для розміщення фотоелектричних модулів, оскільки балкони або лоджії не забезпечують ані оптимальної орієнтації відносно сонця, ані необхідного кута нахилу [17], [18].

Ситуація додатково ускладнюється постійним або періодичним затіненням від сусідніх будівель, елементів фасаду, верхніх поверхів і дерев, що призводить до істотного зниження виробітку електроенергії та нестабільності генерації. Фотоелектричні системи є надзвичайно чутливими до затінення, і навіть часткове перекриття модуля може спричинити непропорційне падіння потужності всього ланцюга. Крім того, у квартирних умовах практично неможливо реалізувати повноцінну інтеграцію сонячної установки з електричною мережею будинку, оскільки підключення до внутрішньо-будинкових мереж обмежене нормативними вимогами. Монтаж панелей на фасаді або балконі також може порушувати будівельні та пожежні норми, створювати додаткові навантаження на конструкції та вимагати погоджень із балансоутримувачем або співвласниками будинку. З економічної точки зору встановлена потужність таких систем є незначною, а вартість обладнання – висока. Оскільки споживання електроенергії в квартирі переважно припадає на вечірній і нічний час, фактично неминучою є потреба в акумуляторах, які потребують окремого простору, вентиляції, дотримання температурних режимів і регулярного технічного контролю, що створює додаткові експлуатаційні незручності й ризики. У сукупності всі ці чинники свідчать про те, що сонячні панелі в умовах квартири багатоквартирного будинку не можуть забезпечити стабільне, прогнозоване та економічно виправдане електропостачання і не є доцільним рішенням у порівнянні з альтернативними методами резервного або автономного живлення.

## **2.5 Вітрогенераторні станції**

Вітрогенераторні станції в умовах квартири – тема популярна, але з великою кількістю міфів. Повноцінна та ефективна вітроелектростанція в умовах

квартири практично нереальна, а на практиці – економічно недоцільна. Проте можливість їх ефективної експлуатації в умовах квартири багатоквартирного будинку потребує окремого наукового аналізу [19], [20].

Вітрогенераторна установка функціонує за рахунок перетворення кінетичної енергії повітряних потоків на електричну енергію. Для стабільної роботи такого обладнання необхідна наявність достатньої швидкості та відносної рівномірності вітру. У міському середовищі, зокрема в межах житлової забудови, аеродинамічні умови суттєво відрізняються від відкритої місцевості. Багатоповерхові будівлі, інженерні споруди та інші перешкоди створюють складні турбулентні потоки, що характеризуються низькою швидкістю та нерегулярністю. У внутрішньому просторі квартири рух повітря має переважно вентиляційний характер і не може розглядатися як енергетично значущий чинник [19].



Рисунок 2.8 – Компактний вітрогенератор

Навіть у разі встановлення вітрогенератора на балконі або зовнішніх конструкціях будинку ефективність його роботи залишається обмеженою. Через нестабільність вітрового режиму генерація електроенергії є переривчастою та малопотужною, що не дозволяє розглядати такі установки як повноцінне джерело електропостачання для побутових потреб квартири. У більшості випадків отриманої електроенергії недостатньо для живлення стандартних електроприладів, а її використання має лише допоміжний або демонстраційний характер.

Навіть у разі встановлення вітрогенератора на балконі або зовнішніх конструкціях будинку ефективність його роботи залишається обмеженою. Через нестабільність вітрового режиму генерація електроенергії є переривчастою та малопотужною, що не дозволяє розглядати такі установки як повноцінне джерело електропостачання для побутових потреб квартири. У більшості випадків отриманої електроенергії недостатньо для живлення стандартних електроприладів, а її використання має лише допоміжний або демонстраційний характер.

Окремої уваги потребує питання акустичного та вібраційного впливу вітрогенераторів. Навіть малогабаритні установки створюють механічний шум та передають вібрації на несучі конструкції будівлі. У замкненому житловому середовищі це може призводити до дискомфорту для мешканців та порушення санітарних норм. Крім того, експлуатація обертових механічних систем у межах житлової забудови вимагає суворого дотримання норм безпеки, оскільки існує ризик механічних пошкоджень, зносу кріплень або аварій у разі несприятливих погодних умов [20].

Таким чином, використання вітрогенераторних станцій у квартирних умовах супроводжується суттєвими технічними, експлуатаційними та безпековими обмеженнями. На сучасному етапі розвитку технологій такі установки не можуть забезпечити енергетичної автономії житла та не є економічно доцільними для побутового застосування в умовах багатоквартирних

будинків. Їх використання можливе переважно з навчальною, експериментальною або науково-дослідною метою.

## **2.6 Зберігання енергії для забезпечення резервного електропостачання**

Основне призначення систем накопичення енергії в умовах надзвичайного стану енергетики в Україні полягає у підтриманні живлення критично важливих побутових споживачів під час аварійних або планових відключень електроенергії, а також у забезпеченні контрольованого та безпечного режиму електропостачання.

Найпоширенішим технічним рішенням для квартир є використання локальних систем зберігання енергії на основі акумуляторних батарей. Перевага зазвичай надається літій-іонним або літій-залізо-фосфатним акумуляторам, які вирізняються високою енергоємністю, тривалим ресурсом циклів заряд–розряд, низьким рівнем саморозряду та відносно компактними габаритами. Це особливо важливо з огляду на обмежений простір у квартирах. Акумуляторні системи можуть працювати у зв'язці з мережею, заряджаючись у періоди її доступності, та віддавати накопичену енергію під час відключень або піків споживання [21].

Важливим аспектом є правильний вибір ємності системи зберігання енергії, яка має відповідати режимам споживання конкретної квартири. Як правило, такі системи не розраховані на тривале автономне електропостачання всієї побутової техніки, а призначені для короткочасного резервування або підтримки базових функцій. Надмірне збільшення ємності суттєво підвищує вартість рішення та ускладнює його інтеграцію з точки зору безпеки, вентиляції й тепловідведення. [22], [23].

Окрему увагу слід приділяти питанням електробезпеки та нормативної відповідності. Системи зберігання енергії повинні бути оснащені засобами захисту від перевантаження, короткого замикання, перенапруги та перегріву, а їх підключення до внутрішньої мережі квартири має виконуватися з дотриманням вимог електромонтажних норм. У багатоквартирних будинках також важливо

уникати несанкціонованого впливу на внутрішньо-будинкові мережі, що може створювати ризики для інших споживачів. [23], [27].

Таким чином, зберігання енергії для резервного електропостачання квартир є ефективним інструментом підвищення комфорту та безпеки проживання за умов нестабільного електропостачання. Водночас такі рішення мають чітко визначені технічні та економічні межі застосування і повинні розглядатися як допоміжний, а не повністю автономний засіб енергозабезпечення в багатоквартирних житлових будинках [21], [22], [24].

### **2.6.1 Гелеві акумуляторні батареї (Gel)**

Використання гелевих акумуляторів (GEL) у квартирі багатоквартирного будинку можливе з технічної точки зору, однак має низку суттєвих обмежень, які знижують доцільність такого рішення в умовах житлового приміщення. Гелеві акумулятори належать до класу свинцево-кислотних герметизованих батарей із рекомбінацією газів, у яких електроліт переведений у гелеподібний стан шляхом додавання кремнезему. Завдяки цьому істотно зменшується ризик витікання електроліту, а батарея може експлуатуватися в різних просторових положеннях, що формально робить її придатною для використання в обмежених і закритих приміщеннях, зокрема квартирах [21].

Однією з основних переваг гелевих акумуляторів є їхня відносна безпека порівняно з класичними заливними свинцево-кислотними батареями. За нормальних режимів заряду вони практично не виділяють газів, не потребують доливання електроліту та не створюють відкритих агресивних парів. Це дозволяє розміщувати їх у нежитлових зонах квартири, наприклад у коморах або технічних шафах, за умови наявності мінімальної вентиляції. Крім того, гелеві акумулятори характеризуються глибоким допустимим розрядом, здатністю працювати в буферному режимі та відносно стабільними параметрами напруги під навантаженням, що робить їх сумісними з джерелами безперебійного живлення та автономними інверторними системами [25].

Водночас існує низка критичних недоліків, які обмежують ефективність використання гелевих акумуляторів у квартирних умовах. По-перше, вони мають низьку питому енергоємність порівняно з сучасними літійовими акумуляторами. Для отримання корисної ємності, достатньої хоча б для кількох годин живлення базових побутових споживачів, необхідно встановлювати батарейні блоки значної маси та об'єму. Це створює додаткові проблеми з розміщенням, навантаженням на перекриття та ергономікою житлового простору. По-друге, гелеві акумулятори чутливі до режимів заряду: перевищення допустимої напруги заряду або використання нестабільних зарядних пристроїв може призвести до деградації гелевої структури електроліту, утворення внутрішніх пустот і незворотної втрати ємності. Це висуває підвищені вимоги до якості зарядних контролерів, інверторів і налаштувань зарядних алгоритмів.

Серйозним обмеженням є також обмежена кількість циклів заряд-розряд у разі регулярної глибокої експлуатації. Хоча гелеві акумулятори перевершують класичні AGM або заливні батареї за цим параметром, вони значно поступаються літій-іонним і літій-залізо-фосфатним системам. У сценаріях з частими відключеннями електроенергії, коли акумулятор регулярно розряджається на значну глибину, ресурс гелевого акумулятора швидко вичерпується, що призводить до зростання експлуатаційних витрат і необхідності заміни батарей через відносно короткий час [25], [26].

Не менш важливим фактором є тепловий режим. Гелеві акумулятори чутливі до підвищених температур, а експлуатація у квартирі, особливо влітку або поблизу джерел тепла, може призводити до прискореного старіння. Вони також не придатні для швидкого заряду високими струмами, що є суттєвим недоліком в умовах короткочасної доступності електроенергії. Обмежений струм заряду означає, що акумулятор не встигає швидко відновити ємність між відключеннями, що знижує фактичну готовність системи резервного живлення.

З точки зору безпеки слід зазначити, що хоча гелеві акумулятори формально вважаються герметичними, у разі перезаряду або внутрішнього дефекту можливе виділення водню та підвищення внутрішнього тиску з

відкриттям запобіжного клапана. У погано вентиляованих приміщеннях це створює потенційний ризик, який потребує врахування при проектуванні та експлуатації системи [25], [26].

У довгостроковій перспективі гелеві акумулятори в квартирних умовах слід розглядати як тимчасовий або обмежений за функціональністю варіант, а не як оптимальне рішення для повноцінного резервного електропостачання.

### **2.6.2 Літій-іонні акумуляторні батареї (Li-ion)**

Використання літій-іонної акумуляторної батареї у квартирі багатоквартирного будинку є технічно доцільним і значно ефективнішим рішенням порівняно з гелевими акумуляторами, однак потребує ретельного проектування з урахуванням вимог безпеки, теплового режиму та експлуатаційних обмежень. Літій-іонні акумулятори являють собою електрохімічні накопичувачі енергії з високою питомою енергоємністю, що дозволяє отримати значний запас електроенергії за відносно малих маси та габаритів, що є критично важливим у квартирних умовах із обмеженим простором [22], [23].

Основною технічною перевагою літій-іонних акумуляторних батарей є їхній високий коефіцієнт корисної дії, який зазвичай перевищує 90 %, а також значний ресурс за кількістю циклів заряд–розряд. Залежно від хімічного складу, сучасні батареї здатні витримувати від 350 до більш ніж 450 циклів при допустимій глибині розряду, що робить їх придатними для систем резервного живлення в умовах регулярних відключень електроенергії. Важливою характеристикою є можливість швидкого заряду великими струмами, що дозволяє ефективно відновлювати запас енергії навіть за коротких періодів наявності напруги в мережі, на відміну від свинцево-кислотних аналогів [24].

Літій-іонні акумулятори добре інтегруються з інверторними системами, джерелами безперебійного живлення та гібридними енергосистемами. Завдяки стабільнішій напрузі розряду вони забезпечують більш передбачувану роботу

підключених електроприладів і зменшують втрати енергії на перетворення. Для квартирного застосування це дозволяє підтримувати живлення критично важливих споживачів, таких як освітлення, холодильник, системи зв'язку, циркуляційні насоси або газові котли, протягом тривалого часу без значного зниження напруги на виході інвертора.

Ключовим елементом безпечної експлуатації літій-іонної акумуляторної батареї є система керування батареєю (BMS). BMS контролює параметри кожної комірки, забезпечує балансування, захист від перевищення напруги, глибокого розряду, перевантаження по струму та перегріву. Саме наявність і якість BMS визначають рівень безпеки використання літій-іонних батарей у житлових приміщеннях. У разі відсутності або некоректної роботи системи керування різко зростає ризик деградації елементів, термічного розгону й, у крайньому випадку, займання [27].

Разом з тим, використання літій-іонних акумуляторів у квартирі має і низку суттєвих обмежень. Найбільш критичним є питання пожежної безпеки. Літій-іонні батареї є енергонасиченими системами, і у разі внутрішнього дефекту, механічного пошкодження або перегріву можливий розвиток термічного розгону з виділенням значної кількості тепла та пожежонебезпечних газів. Тому такі батареї повинні розміщуватися у спеціально відведених місцях, бажано з негорючими поверхнями, достатньою вентиляцією та обмеженим доступом сторонніх осіб. Недотримання температурного режиму, особливо експлуатація за високих температур, суттєво скорочує ресурс батареї й підвищує ризики [27].

Економічний аспект також відіграє важливу роль. Початкова вартість літій-іонних акумуляторних систем значно перевищує вартість свинцево-кислотних рішень аналогічної номінальної ємності. Проте у довгостроковій перспективі ця різниця частково компенсується більшим терміном служби, меншою потребою в обслуговуванні та вищою ефективністю. В умовах квартири, де простір обмежений, а регулярна заміна важких батарей є проблемною, літій-іонні системи часто виявляються економічно виправданішими.

За правильного проєктування літій-іонні акумулятори можуть забезпечити надійне резервне живлення в квартирних умовах, однак вони не є універсальним або безризиковим рішенням і потребують відповідального підходу до встановлення та експлуатації.

### 2.6.3 Літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї (LiFePO<sub>4</sub>)

Використання літій-залізо-фосфатних (LiFePO<sub>4</sub>) акумуляторних батарей у квартирі багатоквартирного будинку є одним із найбільш технічно обґрунтованих і збалансованих рішень для систем резервного електропостачання, особливо в умовах регулярних відключень електроенергії. Акумулятори цього типу належать до сімейства літій-іонних, проте відрізняються специфічною хімічною будовою катода, що визначає їхні ключові експлуатаційні переваги, насамперед у частині безпеки, довговічності та стабільності параметрів, що є критично важливим у житловому середовищі.

Однією з головних причин вибору літій-залізо-фосфатних акумуляторів для квартир є їхня суттєво вища термічна та хімічна стабільність порівняно з класичними літій-іонними батареями. Катодний матеріал LiFePO<sub>4</sub> має міцні фосфатні зв'язки, які істотно знижують ризик термічного розгону навіть у разі перезаряду, короткого замикання або механічного пошкодження. Це означає, що ймовірність займання або вибуху батареї в умовах квартири є значно нижчою, що робить LFP-акумулятори більш прийнятними з точки зору пожежної безпеки та відповідності житловим нормам експлуатації [23], [24].

З технічної точки зору літій-залізо-фосфатні акумулятори характеризуються дуже великим ресурсом за кількістю циклів заряд-розряд. За глибини розряду 80–90 % такі батареї здатні витримувати від 4 000 до 7 000 циклів без критичної втрати ємності, що в разі перевищує показники гелевих і більшості літій-іонних акумуляторів. В умовах квартири, де акумулятор може працювати майже щоденно через часті відключення електроенергії, цей фактор є

визначальним, оскільки дозволяє розраховувати на 10–15 років експлуатації без необхідності заміни батарей [23], [24].

Ще однією вагомою перевагою таких акумуляторів є їхня стабільна та передбачувана крива розряду. Напруга таких батарей залишається практично сталою на значній ділянці циклу розряду, що позитивно впливає на роботу інвертора та підключених побутових електроприладів. Це особливо важливо для чутливих споживачів, таких як газові котли, циркуляційні насоси, холодильники, мережеве обладнання та системи зв'язку, які погано працюють за просідання напруги. На відміну від свинцево-кислотних систем, де напруга різко падає зі зменшенням заряду, LFP-акумулятори забезпечують стабільні електричні параметри майже до моменту повного розряду.

В умовах обмеженого простору квартири суттєве значення має співвідношення корисної ємності до маси та габаритів. Хоча літій-залізо-фосфатні акумулятори дещо поступаються класичним літій-іонним за питомою енергоємністю, вони все одно в кілька разів ефективніші за гелеві батареї. Це дозволяє розмістити акумуляторний блок великої ємності у відносно компактному корпусі без надмірного навантаження на підлогу та конструкції будівлі, що є важливим для багатоквартирних будинків [23], [27], [30].

З погляду експлуатації вони добре пристосовані до буферного та циклічного режимів роботи, характерних для квартирних систем резервного живлення. Вони допускають швидкий заряд великими струмами без суттєвої деградації, що має принципове значення у випадках, коли електроенергія з'являється лише на короткі проміжки часу. Це дозволяє максимально ефективно використовувати доступну енергію мережі для відновлення заряду батареї між відключеннями [27], [28], [30].

Хоча початкова вартість літій-залізо-фосфатних акумуляторів залишається вищою за свинцево-кислотні аналоги, економічна доцільність такого вибору проявляється в довгостроковій перспективі. Значно більший термін служби, відсутність необхідності регулярного обслуговування, вищий ККД та менші втрати енергії призводять до нижчої вартості одного циклу використання [29].

Таким чином, літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї є оптимальним вибором для систем резервного електропостачання квартир багатоквартирних будинків. Вони поєднують високий рівень безпеки, тривалий ресурс, стабільні електричні характеристики та прийнятні габарити, що робить їх технічно та експлуатаційно більш доцільними за гелеві, AGM і більшість класичних літій-іонних рішень. За умови використання якісної системи керування батареєю (BMS) та коректного проектування всієї системи LFP-акумулятори забезпечують найкращий баланс між надійністю, безпекою та ефективністю в умовах житлової квартири.

## **2.7 Висновки до розділу 2**

У проектно-конструкторському розділі розглянуто основні технічні рішення для забезпечення резервного електропостачання квартири багатоквартирного будинку в умовах нестабільного електропостачання. Серед наявних способів забезпечення резервним електроживленням найбільш доцільними для квартирної застосування є інверторні системи з акумуляторними батареями, оскільки вони забезпечують автоматичне перемикання на резервне джерело, стабільні параметри вихідної напруги, зручність експлуатації та можливість безпечного використання в житлових приміщеннях.

У роботі також оглянуто застосування портативних зарядних станцій, джерел безперебійного живлення, гібридних сонячних електростанцій і вітрогенераторних установок. Встановлено, що зарядні станції є зручним і мобільним рішенням для короткочасного живлення малопотужних споживачів, однак їх функціональні можливості обмежені ємністю вбудованих акумуляторів. Джерела безперебійного живлення доцільно використовувати переважно для захисту окремих чутливих споживачів, але вони не є оптимальним рішенням для тривалого живлення побутових навантажень квартири. Використання сонячних панелей і вітрогенераторів у квартирних умовах багатоквартирного будинку

визнано технічно та економічно недоцільним через обмежені можливості монтажу, нестабільність генерації, нормативні обмеження та складність інтеграції з внутрішньою мережею.

Окрему увагу приділено системам зберігання енергії та вибору типу акумуляторних батарей. У результаті порівняльного аналізу встановлено, що гелеві акумулятори мають обмежене застосування через значну масу, менший ресурс і нижчу ефективність, а класичні літій-іонні батареї потребують підвищеної уваги до питань пожежної безпеки. Найбільш раціональним рішенням для систем резервного електропостачання квартири визначено літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO<sub>4</sub>), які характеризуються високою хімічною та термічною стабільністю, значним ресурсом циклів, стабільними електричними параметрами та придатністю до експлуатації в умовах житлового приміщення.

Отже, за результатами проектно-конструкторського розділу обґрунтовано, що оптимальним технічним рішенням для резервного електропостачання квартири багатоквартирного будинку є система на основі інвертора з акумуляторною батареєю типу LiFePO<sub>4</sub>. Таке рішення найбільш повно відповідає вимогам надійності, безпеки, енергоефективності та практичності, що створює основу для подальшого виконання розрахунків параметрів системи та розроблення її структурної схеми.

## 3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Опис об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є система енергозабезпечення квартири у багатоквартирному будинку, що включає всі компоненти, які забезпечують генерацію, зберігання та розподіл електричної енергії для підвищення енергонезалежності та надійності електропостачання під час надзвичайного стану енергетики в Україні.

В якості резервного джерела енергії передбачено використання інвертора в парі з акумуляторною батареєю, тоді як основним джерелом живлення є централізована електрична мережа [31].

Об'єкт дослідження розташований у багатоквартирному житловому будинку, що знаходиться у м. Тернопіль, по вул. Тролейбусна 3б. Будинок має різну поверховість та квартирну структуру, тому у роботі розглядається система електропостачання квартири загальною площею 50,12 м<sup>2</sup>.

Будинок газифікований, тому в квартирі використовується газова плита. План квартири наведено на рисунку 3.1. У квартирі проживає сім'я із трьох осіб.

Розрахункове електричне навантаження такої квартири становить 7 кВт. Для визначення параметрів системи електропостачання виконується розрахунок сумарної потужності всіх електроприладів, що експлуатуються в квартирі.

Під час розрахунків враховано, що вся побутова техніка, встановлена у квартирі, належить до класу енергоефективності А і вище, що дозволяє знизити загальне енергоспоживання. Крім того, система освітлення побудована на основі світлодіодних ламп, які за рівня світлового потоку, еквівалентного лампі розжарювання потужністю 100 Вт, споживають лише близько 7 Вт електричної потужності.

У таблиці 2.1 наведено перелік основних електроприладів квартири. Під час визначення загальної кількості освітлювальних приладів було враховано всі

можливі джерела освітлення, наявні у приміщеннях квартири, зокрема стельові та настінні світильники.

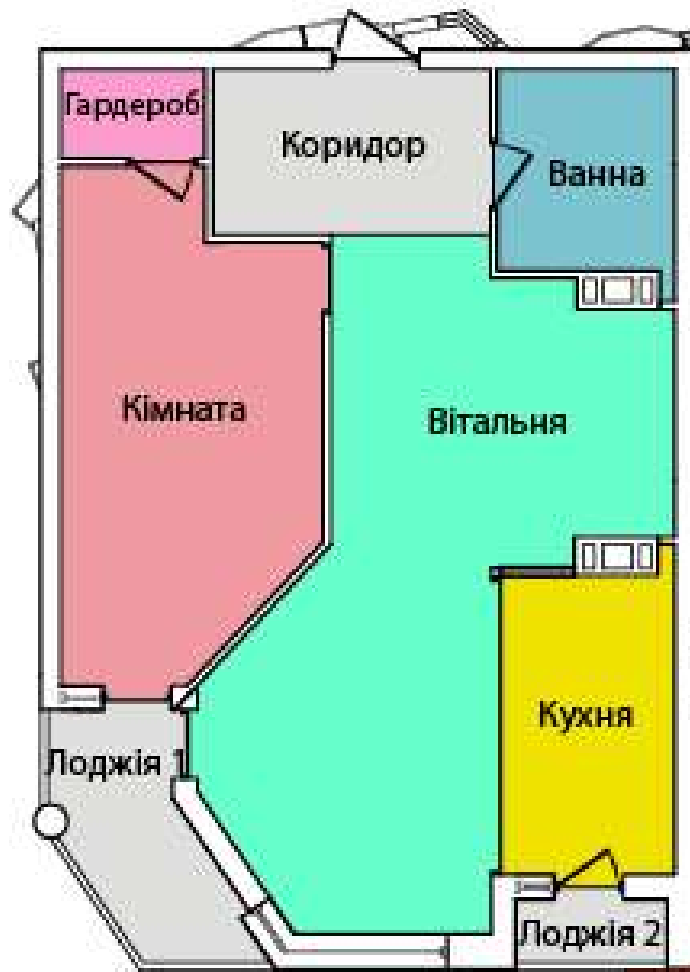


Рисунок 3.1 – План квартири багато квартирного будинку

Таблиця 3.1 – Перелік основних електроприладів

Електроприлади	Номінальна потужність, Вт	Кількість
1	2	3
Котел	160	1
Холодильник	180	1
Чайник	1200	1
Пральна машина	1800	1
Витяжка	120	1
Мікрохвильова піч	840	1

1	2	3
Кавова машина	920	1
Фен	800	1
Робот-пилосос	25	1
Телевізор	120	2
Зарядний пристрій	20	3
Праска	1200	2
Ноутбук	60	2
Освітлення вітальні	14	1
Освітлення кухні	7	1
Освітлення кімнати	7	1
Освітлення ванни	7	1
Освітлення гардеробу	7	1
Освітлення коридору	7	1
Освітлення лоджії	7	2

### 3.2 Визначення навантаження та споживання електричної енергії

Максимальне навантаження змінного струму для квартири відповідно до даних таблиці 3.1 становить  $P_{\text{макс}} = 7731 \text{ Вт}$ .

Для оцінювання рівня енергоспоживання виконується розрахунок добового споживання електричної енергії побутовими приладами  $W_{\text{доб.змін}}$ , який визначається шляхом множення номінальної потужності кожного електроприладу на тривалість його роботи протягом доби. Відповідні результати наведено у таблиці 3.2.

Під час проведення розрахунків необхідно враховувати особливості режимів роботи окремих приладів. Зокрема, холодильник перебуває в роботі протягом 24 годин на добу, однак його фактична споживана потужність

упродовж цього часу є меншою за номінальну, оскільки компресор функціонує періодично. У зв'язку з цим для розрахунку доцільно використовувати паспортне значення добового енергоспоживання.

Пилосос не належить до приладів щоденного використання. У середньому його експлуатація становить три рази на тиждень по 30 хвилин, тобто загалом 1,5 години на тиждень. Відповідно, середня тривалість його роботи в перерахунку на одну добу становить приблизно 0,2 години.

Пральна машина також використовується нерегулярно. У середньому виконується цикл прання тричі на тиждень, що відповідає трьом циклам на тиждень. Таким чином, середня інтенсивність її використання в добовому розрахунку визначається відповідно до кількості циклів прання за тиждень, приведених до одного дня і становить приблизно 0.42 години на добу.

Таблиця 3.2 – Добове споживання основних електроприладів

Електроприлади	Номінальна потужність, Вт	Кількість, шт	Загальна потужність, кВт	Години роботи на добу, год	Електроенергія, що споживається за добу, кВт год
1	2	3	4	5	6
Котел	160	1	0,16	4	0,64
Холодильник	180	1	0,18	-	0,6
Чайник	1200	1	1,2	0,2	0,24
Пральна машина	1800	1	1,8	0,42	0,75
Витяжка	120	1	0,12	2	0,24
Мікрохвильова піч	840	1	0,84	0,2	0,17
Кавова машина	920	1	0,92	0,1	0,092
Фен	800	1	0,8	0,2	0,16

1	2	3	4	5	6
Робот-пилосос	25	1	0,025	0,2	0,005
Телевізор	120	2	0,24	2	0,48
Зарядний пристрій	20	3	0,06	1	0,06
Праска	1200	2	1,2	0,2	0,24
Ноутбук	60	2	0,12	4	0,48
Освітлення вітальні	14	1	0,014	4	0,056
Освітлення кухні	7	1	0,007	5	0,035
Освітлення кімнати	7	1	0,007	3	0,021
Освітлення ванни	7	1	0,007	1	0,007
Освітлення гардеробу	7	1	0,007	0,5	0,0035
Освітлення коридору	7	1	0,007	0,2	0,0014
Освітлення лоджії	7	2	0,014	0,2	0,028
Всього					4,31

Як видно з таблиці 3.2 добове споживання електричної енергії побутовими приладами  $W_{\text{доб.змін}} = 4,31 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ .

Для розрахунку необхідної енергії постійного струму  $W_{\text{доб.пост}}$  використовується значення добового енергоспоживання навантаження змінного струму, скориговане з урахуванням втрат потужності в інверторі [31], [32].

$$W_{\text{доб.пост}} = W_{\text{доб.змін}} \cdot K_{\text{інв}} = 4,31 \cdot 1,09 = 4,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вхідну напругу інвертора приймаємо рівною  $U_{\text{інв}} = 12 \text{ В}$ . Поділивши отримане значення добового споживання енергії постійного струму  $W_{\text{доб.пост}}$  на

величину вхідної напруги інвертора, визначаємо потрібну кількість ампер-годин за добу, необхідну для забезпечення заданого електричного навантаження.

$$W_{A\cdot\text{год}} = \frac{W_{\text{доб.пост}}}{U_{\text{інв}}} = \frac{4,71}{12} = 0,39 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

Добовий графік навантаження даної квартири багатоквартирного будинку зображено на рисунку 3.2.

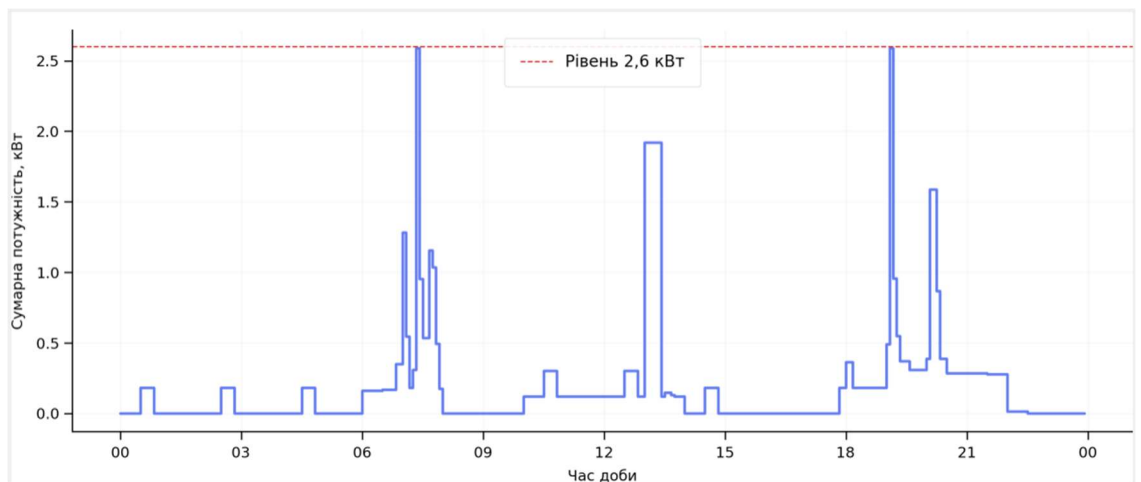


Рисунок 3.2 – Добовий графік навантаження квартири

### 3.3 Визначення необхідної ємності та кількості акумуляторів

Необхідно визначити ємність акумуляторної батареї з урахуванням кількості годин автономного забезпечення навантаження електроенергією –  $n$ . Визначимо це з графіків аварійних відключень, що представлені в розділі 1. Максимальна тривалість періоду без надходження енергії від основного джерела становить – 6 год на день. Прийmemo  $n = 0,66$ . У такому разі найбільший обсяг енергії, який акумуляторна батарея повинна забезпечити без підзаряджання, дорівнюватиме:

$$W_{\text{max}} = W_{A\cdot\text{год}} \cdot n = 0,39 \cdot 0,66 = 0,26 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

Під час розрахунку слід врахувати глибину розряду батареї  $K_{розр}$ . Для літій-залізо-фосфатних акумуляторів (LFP) у розрахунках рекомендується використовувати значення глибини розряду 0,8. Це означає, що в робочому режимі батарея може віддавати до 80 % ємності без суттєвого впливу на ресурс, зберігаючи приблизно 20% залишкового заряду [31], [32], [35].

З урахуванням глибини розряду батареї потрібна ємність складе:

$$W_{потр} = \frac{W_{\max}}{K_{розр}} = \frac{0,26}{0,8} = 0,325 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

Ємність LFP-акумуляторів залежить від температурних умов експлуатації. При зниженні температури навколишнього середовища доступна ємність батареї зменшується, тоді як за температур, близьких до номінальних, вона наближається до паспортного значення. Зокрема, за температури 25°C ємність приймається як номінальна, при 0°C вона становить близько 80 %, а при -20°C – приблизно 50 % від номінальної. у діапазоні від 25°C до 0°C: втрачається близько – 0,8 %/°C. Візьмемо для розрахунку стандартну температуру квартири 20°C. [36]. Отже, приймемо коефіцієнт  $K_{нс} = 0,98$ .

$$W_{АКБ} = \frac{W_{потр}}{K_{нс}} = \frac{0,325}{0,98} = 0,331 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

Для аналізу було обрано три варіанти LFP-елементів виробника EVE ємністю понад 300 А·год: MB31, LF304, LF324. Мета порівняння — визначити найбільш доцільний варіант для застосування в системі резервного електроживлення. Дані представлено в таблиці 3.3.

Отже, з позиції врахованих параметрів, ціни за 1 А·год та добового графіка навантажень, то найдоцільнішим варіантом для подальшого розгляду є EVE LF334. Для акумуляторної збірки на 12 В їх потрібно 4шт [33], [34].

Таблиця 3.3 – Характеристики акумуляторів EVE

Параметри	EVE MB31	EVE LF324	EVE LF334
Ємність, А·год	314	324	334
Номинальна напруга, В	3.20	3.22	3.22
1	2	3	4
Діапазон температур, °С	-35 – 65	-35 – 65	-35 – 65
Термін служби, циклів	8000	4000	4000
Габарити, см	17.4×7.2×20.7	20x5,7x21,8	20x5,7x21,8
Ціна за шт	3295	3192	3204



Рисунок 3.3 – Акумуляторні елементи EVE LF334

Для акумуляторної збірки на основі чотирьох послідовно з'єднаних елементів EVE LF334 доцільним є застосування JKong (JKONG) Smart BMS із номінальним струмом 300 А, зокрема моделі класу JK-B2A8S30P, що підтримує 3S–8S LiFePO<sub>4</sub> батареї, активне балансування 2 А, контроль температури, захист

від перезаряду, глибокого розряду, короткого замикання та перевантаження по струму. Така BMS є сумісною з 4S-збіркою LF334, для якої номінальна напруга батареї становить близько 12.88 В, а ємність — 334 А·год. Використання BMS на 300 А є обґрунтованим з огляду на необхідність забезпечення високих струмів у 12-вольтовій системі та наявність запасу по струму для короткочасних пікових навантажень. Водночас, оскільки для LF334 стандартний безперервний режим розряду відповідає 0.5С, тобто близько 167 А, струм 300 А доцільно розглядати переважно як короткочасний або піковий режим, а не як постійний робочий. Отже, застосування JKong BMS на 300 А у парі з EVE LF334 є технічно доцільним, особливо для систем, де потрібна висока пікова потужність, активне балансування та розширені функції моніторингу [35], [40], [41].



Рисунок 3.4 – Моніторинг параметрів АКБ

### 3.4 Визначення мінімального струму зарядки АКБ

Необхідно визначити потрібну кількість енергії яка потрібна для зарядки акумуляторної батареї з після урахування кількості годин автономного забезпечення навантаження електроенергією та коефіцієнтом корисної дії інвертора–  $W_{необ}$ .

$$W_{необ} = W_{маx} \cdot K_{інв} = 0.26 \cdot 1,09 = 0.284 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

З графіків аварійних відключень, що представлені в розділі 1, мінімальна тривалість періоду з надходженням енергії від основного джерела становить –  $t$  2,5 год на день. Знаходимо мінімальний струм заряду акумуляторної батареї:

$$I_{мін} = \frac{W_{необ}}{t} = \frac{284}{2} = 142 \text{ А}$$

На підставі добового графіка електричного навантаження квартири встановлено, що основне споживання електроенергії відбувається нерівномірно протягом доби. Базове навантаження більшу частину часу знаходиться в межах 0,1–0,4 кВт, тоді як короткочасні пікові навантаження в ранкові та вечірні години досягають значень близько 2,6 кВт. При цьому сумарне добове споживання становить приблизно 4,31 кВт·год.

Для умов експлуатації прийнято режим електропостачання 2 години наявності напруги та 6 годин її відсутності. У період відключення живлення електропостачання забезпечується за рахунок акумуляторної батареї. Середнє навантаження при цьому становить:

$$P_{сер} = \frac{W_{доб змін}}{t} = \frac{4,31}{24} = 0,18 \text{ кВт}$$

Це призводить до споживання за один шестигодинний цикл приблизно:

$$W_{\text{год}} = P_{\text{сер}} \cdot t = 0.18 \cdot 6 = 1.08 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

З урахування пікових навантажень, споживання може складати від 1.08 до 1.6 кВт·год.

Під час відновлення електропостачання акумуляторна батарея повинна компенсувати втрати енергії, що виникли під час попереднього періоду розряду. [35], [42]

Розглянемо, що відбувається при використанні зарядного струму 100 А, напрузі 12 В, та ККД інвертора 1.09 потужність заряджання становить:

$$P_{100} = \frac{U_{\text{інв}} \cdot I_{100}}{1,09} = \frac{12 \cdot 100}{1,09} = 1.11 \text{ кВт}$$

За двогодинний період це забезпечує передачу до акумулятора близько:

$$W_{\text{зар}} = P_{100} \cdot t = 1,11 \cdot 2 = 2.22 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Порівняння отриманих значень показує, що енергія, яка подається на акумулятор під час заряджання, перевищує енергію, спожиту за час відключення. Це забезпечує не лише повну компенсацію розряду акумуляторної батареї, але й створює певний запас енергії для наступних циклів роботи. Таким чином, система не переходить у режим накопичення дефіциту енергії.

Отже, зарядний струм величиною 100 А є достатнім для забезпечення стабільної роботи системи резервного електроживлення квартири при заданому графіку відключень.

### 3.5 Вибір інвертора

Інверторно-зарядні пристрої Mastervolt серій Mass Combi Pro, Mass Combi Ultra та CombiMaster є сучасними багатофункціональними рішеннями для автономних та гібридних систем електроживлення, що поєднують функції інвертора, зарядного пристрою і автоматичного перемикачів джерел живлення. Всі розглянуті моделі працюють із акумуляторними системами напругою 12 В та забезпечують синусоїдальну вихідну напругу 230 В, що дозволяє жити як побутове, так і чутливе електронне обладнання.



Рисунок 3.5 – Лінійка інверторів Mastervolt

Модель Mass Combi Pro 12/3000-150 (230 V) належить до професійного класу обладнання і характеризується високою надійністю та універсальністю застосування. Номінальна потужність інвертора становить 3000 Вт, із піковим значенням до 6000 Вт, що дозволяє працювати з потужними навантаженнями. Пристрій оснащений інтелектуальним триступеневим зарядним пристроєм зі

струмом до 150 А. Завдяки використанню цифрового сигнального процесора (DSP) забезпечується практично миттєве перемикання між мережею, генератором і акумуляторами без переривання живлення. Важливою функцією є Power Assist, яка запобігає перевантаженню мережі або генератора, компенсуючи нестачу потужності за рахунок енергії акумуляторів. Також пристрій має два входи змінного струму та окремі виходи, що дозволяє ефективно управляти різними типами навантажень і джерел живлення. Можливість паралельного та трифазного підключення робить дану модель придатною для великих енергетичних систем потужністю до 35 кВт [37].

Mass Combi Ultra 12/3000-150 (230 V) є вдосконаленою версією серії Pro і призначений для використання в сучасних автономних системах із інтеграцією відновлюваних джерел енергії. Основні електричні параметри цієї моделі аналогічні (потужність 3000 Вт і зарядний струм до 150 А), однак ключовою відмінністю є наявність вбудованого MPPT-контролера сонячних панелей. Такий контролер дозволяє підвищити ефективність використання сонячної енергії до 30 % у порівнянні зі стандартними рішеннями. Крім того, система автоматично надає пріоритет сонячній генерації для зарядки акумуляторів, що підвищує енергоефективність та зменшує експлуатаційні витрати. Подібно до моделі Pro, пристрій підтримує функцію Power Assist, має швидке перемикання джерел живлення та можливість масштабування у паралельні або трифазні системи. Таким чином, Mass Combi Ultra є оптимальним рішенням для гібридних та оф-грід систем енергопостачання [38].

Модель CombiMaster 12/3000-100 (230 V) є більш доступною та компактною альтернативою, орієнтованою на побутові та напівпрофесійні застосування. Вона забезпечує потужність до 3000 ВА (близько 2600 Вт) і має максимальний зарядний струм 100 А. Незважаючи на менші параметри, пристрій здатний запускати навіть чутливі та важкі навантаження завдяки високій якості синусоїдальної напруги. Вбудована система автоматичного перемикання між мережею, генератором і інвертором забезпечує безперервне живлення споживачів. Також реалізована функція Power Assist для роботи з обмеженими

джерелами електроенергії. Важливою перевагою є компактність і мала маса (близько 9,3 кг), що спрощує монтаж і експлуатацію. Крім того, CombiMaster підтримує інтеграцію з системами моніторингу MasterBus, CZone та NMEA 2000, що розширює можливості керування [39].

Таблиця 3.4 – Характеристики інверторів Mastervolt

<b>Параметри</b>	<b>Mass Combi Pro</b>	<b>Mass Combi Ultra</b>	<b>CombiMaster</b>
Потужність	3000 Вт	3000 Вт	2600 Вт
Зарядний струм	150 А	150 А	100 А
Сонячний контролер	Ні	Так	Ні
Рівень застосування	Професійний	Професійний Off-Grid	Побутово- професійний
Масштабування	Так	Так	Ні

Отже, усі три розглянуті моделі мають спільну функціональну основу, однак відрізняються рівнем технічних можливостей і сферою застосування. Mass Combi Pro є універсальним рішенням професійного рівня, яке забезпечує високу потужність і гнучкість системи. Mass Combi Ultra додає до цих можливостей інтегровану роботу з сонячною енергетикою, що робить його найбільш ефективним у сучасних автономних системах. У свою чергу, CombiMaster є більш економічним і компактним варіантом, який забезпечує достатню функціональність для побутових або менш складних енергосистем [37], [38], [39].

Таким чином, використання CombiMaster 12/3000-100 у квартирі є доцільним завдяки поєднанню достатньої потужності, автоматизації роботи, компактності, енергоефективності та можливості інтеграції в сучасні системи управління. Цей пристрій дозволяє організувати надійне резервне електроживлення без значного ускладнення інфраструктури та з оптимальним співвідношенням вартості і функціональності.

Схема підключення інвертора зображено на рисунку 3.6.

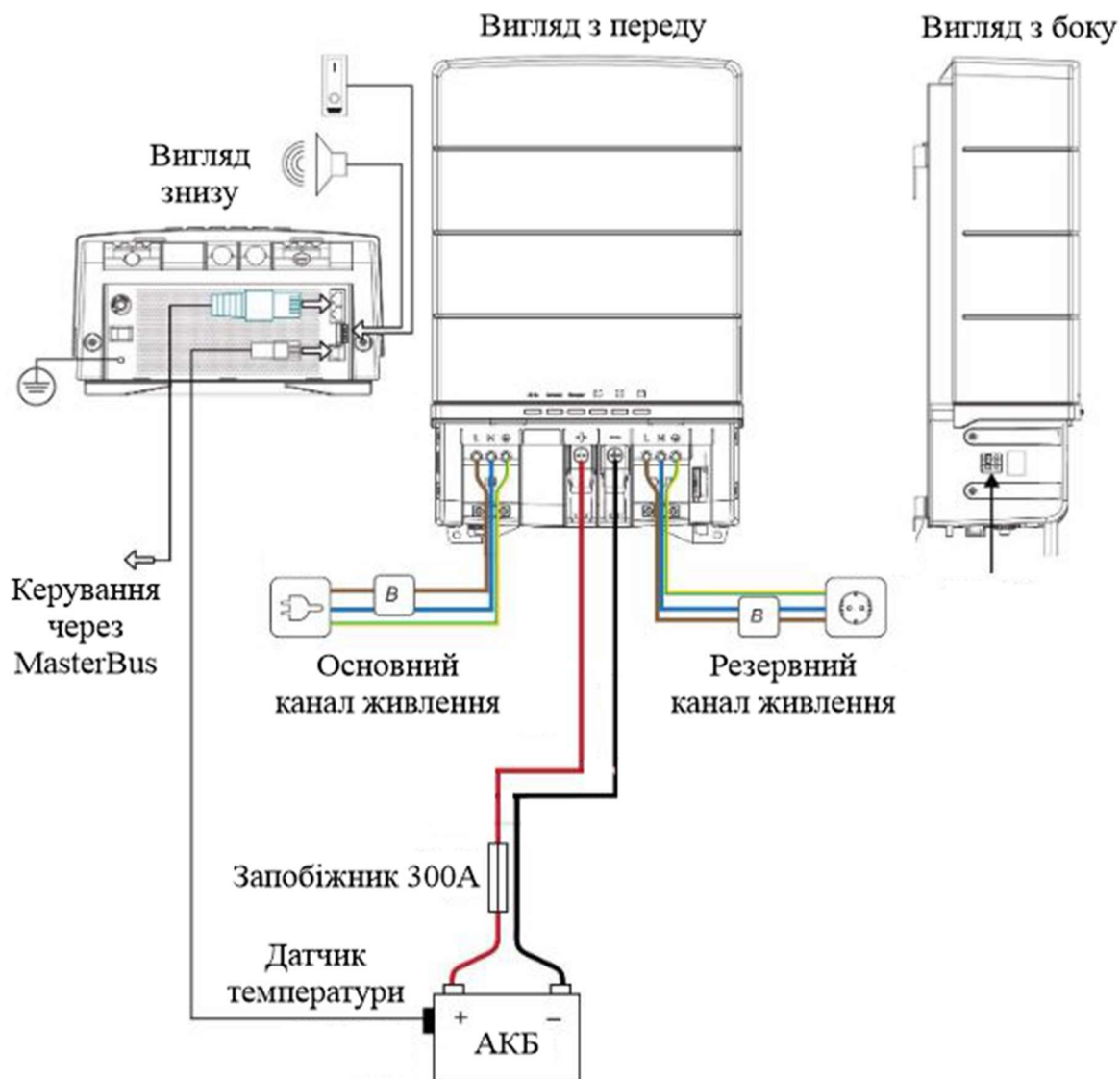


Рисунок 3.6 – Схема підключення інвертора Mastervolt CombiMaster 12/3000

### 3.6 Висновок до розділу 3

У розрахунковому розділі проведено розрахунок електроспоживання квартири та обґрунтовано параметри системи резервного електроживлення. Визначено, що максимальне навантаження становить 7,73 кВт, а середньодобове споживання електроенергії — 4,31 кВт·год, що дозволило сформулювати реалістичну модель енергоспоживання з урахуванням режимів роботи побутових приладів.

З урахуванням втрат в інверторі розраховано необхідну енергію з боку акумуляторної батареї — 4,7 кВт·год. Враховуючи тривалість можливих відключень (до 6 годин), глибину розряду та температурні коефіцієнти, визначено необхідну ємність акумуляторної системи на рівні 331 А·год. За результатами порівняння акумуляторних елементів обрано EVE LF334, які забезпечують оптимальне поєднання ємності, ресурсу та вартості. Сформована батарея з чотирьох елементів (4S) у поєднанні з BMS JK-B2A8S30P на 300 А гарантує безпечну роботу, балансування та можливість покриття пікових навантажень.

Порівняльний аналіз інверторів показав, що для умов квартири найбільш доцільним є використання CombiMaster 12/3000-100. Даний пристрій забезпечує необхідну потужність для більшості побутових споживачів, автоматичне перемикання джерел живлення та стабільну якість електроенергії, при цьому відзначається компактністю та економічною доцільністю. На відміну від більш потужних і функціонально складних моделей, його застосування не потребує ускладнення системи та повністю відповідає вимогам житлового об'єкта.

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Акумуляторні батареї типу LiFePO<sub>4</sub> (літій-залізо-фосфатні) належать до літій-іонних систем, але характеризуються вищою термічною та хімічною стабільністю порівняно з багатьма іншими літій-іонними хіміями, тому вважаються одними з найбезпечніших серед поширених літієвих акумуляторів. Водночас навіть такі батареї можуть становити небезпеку у разі короткого замикання, механічного пошкодження, перезаряду, надмірного розряду, порушення температурного режиму або використання невідповідного зарядного обладнання. [43], [44], [45]

Під час заряджання LiFePO<sub>4</sub> акумуляторів у житлових приміщеннях необхідно забезпечити умови, що мінімізують ризик пожежі, ураження електричним струмом, пошкодження батареї, виходу з ладу системи керування батареєю (BMS) та блокування шляхів евакуації. Безпечна експлуатація передбачає дотримання інструкції виробника, використання штатного зарядного пристрою, контроль стану батареї та нагляд за процесом заряджання. [45]

### 4.1 Основні небезпечні та шкідливі чинники

Під час заряджання LiFePO<sub>4</sub> акумуляторів у житлових умовах потенційно небезпечними чинниками є:

- електричний струм у разі дотику до струмовідних частин або порушення ізоляції; [43], [44]
- коротке замикання клем, яке може спричинити різке нагрівання провідників, пошкодження батареї або загоряння; [43], [44]
- перезаряд або надмірний розряд, які небезпечні для літієвих елементів і можуть призвести до деградації, аварійного відключення або пошкодження акумулятора; [43], [44]
- механічне пошкодження корпусу, прокол, удар або падіння батареї; [43], [45]

- перегрівання внаслідок заряджання у неналежних температурних умовах, встановлення поблизу джерел тепла або накривання батареї й зарядного пристрою; [44], [45], [46]
- пожежна небезпека у разі використання несправного зарядного пристрою, пошкодженої батареї, несертифікованих компонентів або перевантаженої електромережі. [45], [46]

## 4.2 Вимоги безпеки під час заряджання

Перед початком заряджання необхідно переконатися, що акумуляторна батарея не має тріщин, здуття, слідів механічного пошкодження, підтікання, деформацій, корозії на контактах або ознак перегрівання. Якщо батарея має будь-які ознаки несправності, її заряджання забороняється. [44], [45], [46]

Для заряджання слід використовувати лише зарядний пристрій, призначений саме для  $\text{LiFePO}_4$ , або рекомендований виробником акумулятора. Для більшості 12,8-вольтових  $\text{LiFePO}_4$  батарей типовим способом є заряд  $\text{CC/CV}$  (constant current / constant voltage), а типовий діапазон напруги заряджання становить 14,4–14,6 В, якщо інше не зазначено в паспорті виробу. [43], [44]

Перед підключенням необхідно перевірити справність розетки, кабелів, клем, ізоляції та наявність надійного контакту, а також правильність полярності. Не допускається використання пошкоджених проводів, саморобних перехідників, ненадійних контактів або підключення з переполюсовкою. [43], [44]

У житловому приміщенні заряджання слід організувати в сухому, чистому, прохолодному місці, подалі від прямих сонячних променів, нагрівальних приладів, відкритого вогню та легкозаймистих матеріалів. Акумулятор не повинен розміщуватися в місцях, де він може перекрити двері, коридор або інший шлях евакуації. [45], [46]

Якщо будинок або квартира мають стару електропроводку, доцільно, щоб можливість підключення перевірів кваліфікований електрик, оскільки застарілі внутрішні мережі можуть не відповідати навантаженню сучасних зарядних пристроїв. Не рекомендується використовувати подовжувачі, трійники та багаторозеткові адаптери як постійне рішення для заряджання. [46]

Під час заряджання LiFePO<sub>4</sub> акумулятора необхідно забезпечити постійний або періодичний нагляд. Не допускається залишати батарею на заряджанні на тривалий час без контролю, особливо вночі, під час сну або за відсутності людей у приміщенні. [45], [46]

Заряджання повинно відбуватися безпосередньо від справної стаціонарної розетки, а не через перевантажені мережеві фільтри чи сумнівні перехідники. Під час роботи не можна накривати зарядний пристрій або акумулятор тканиною, папером чи іншими предметами, що погіршують відведення тепла. [46]

Для більшості типових LiFePO<sub>4</sub> модулів заряджання повинно виконуватися за температури не нижче 0 °C, а в багатьох інструкціях для 12,8-вольтових батарей верхня межа температури заряду становить близько 45 °C. Перегрівання під час заряджання є підставою для негайного відключення батареї та перевірки її стану. [44], [46]

Батарея LiFePO<sub>4</sub> повинна бути оснащена або використовуватись у складі системи з BMS (Battery Management System), яка виконує функції захисту від перезаряду, надмірного розряду, короткого замикання, перегрівання та дисбалансу елементів. У технічній літературі BMS розглядається як ключовий елемент безпеки для літєвих батарейних систем. [43], [44]

Під час заряджання забороняється:

- допускати коротке замикання клем металевими предметами; [43], [44]
- використовувати нештатний або несумісний зарядний пристрій; [45], [46]
- розбирати, проколювати, бити, кидати або деформувати корпус батареї; [43], [44]

- використовувати батарею з ознаками пошкодження або сильного нагрівання; [45], [46]
- підключати батарею до джерел змінного струму напряму; [44], [46]
- розміщувати батарею біля джерел тепла, у гарячому автомобілі або під прямим сонячним промінням; [44], [46]
- використовувати заряджання в умовах, коли пристрій або батарея блокують вихід із приміщення. [45], [46]

Після завершення заряджання зарядний пристрій необхідно від'єднати від мережі та від акумулятора, якщо інше прямо не передбачено конструкцією системи. Не слід утримувати батарею під зарядом довше, ніж це потрібно за інструкцією виробника. [45], [46]

Для тривалого зберігання LiFePO<sub>4</sub> акумуляторів часто рекомендується підтримувати стан заряду близько 50 % SOC, а саме зберігання здійснювати в сухому, прохолодному місці, подалі від горючих матеріалів і джерел тепла. Необхідно уникати як повного розряду, так і тривалого зберігання у повністю зарядженому стані, якщо виробник радить інший режим консервації. [44], [46]

Використані або пошкоджені LiFePO<sub>4</sub> батареї не можна викидати разом із побутовими відходами. Їх слід передавати на спеціалізовані пункти збору або перероблення батарей, а перед транспортуванням бажано ізолювати клеми, щоб уникнути випадкового короткого замикання. [43], [45], [46]

### 4.3 Дії в аварійних ситуаціях

Якщо під час заряджання батарея стала надмірно гарячою, змінила форму, почала виділяти запах, дим, потріскувати або шипіти, необхідно негайно припинити заряджання, відключити живлення, не торкаючись пошкоджених частин без потреби, та ізолювати небезпечну зону на безпечній відстані. [44], [45], [46]

У разі виникнення димлення, загоряння або підозри на аварійний стан батареї не слід намагатися самостійно ремонтувати акумулятор або

продовжувати його використання. Якщо пожежа вже розвинулася або є ризик її розвитку, необхідно евакуювати людей із приміщення та викликати екстрені служби. [45], [46]

Якщо корпус батареї пошкоджено і є контакт із внутрішніми речовинами, потрапляння на шкіру або в очі потребує негайного промивання великою кількістю чистої води та звернення за медичною допомогою. Також забороняється самостійно розкривати пошкоджену батарею або торкатися її вмісту руками без засобів захисту [46].

Отже, заряджання акумуляторних батарей LiFePO<sub>4</sub> у житлових приміщеннях може бути відносно безпечним лише за умови дотримання вимог виробника, використання сумісного зарядного пристрою, наявності BMS, справної електропроводки, контролю температурного режиму та відсутності факторів, що ускладнюють евакуацію людей у разі пожежі. Незважаючи на підвищену стабільність LiFePO<sub>4</sub> хімії, нехтування правилами монтажу, заряджання та зберігання може призвести до небезпечних аварійних ситуацій, тому під час експлуатації таких батарей у побуті необхідно суворо дотримуватися вимог пожежної та електричної безпеки.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі досліджено проблему забезпечення резервного електропостачання квартири багатоквартирного будинку в умовах надзвичайного стану енергетики в Україні, що набуло особливої актуальності через систематичні атаки на енергетичну інфраструктуру, дефіцит потужностей та тривалі відключення електроенергії.

У ході виконання роботи проаналізовано основні способи резервного енергозабезпечення квартири, зокрема інверторні системи з акумуляторними батареями, зарядні станції, джерела безперебійного живлення, гібридні сонячні електростанції та вітро-генераторні установки. За результатами порівняльного аналізу встановлено, що для умов багатоквартирного житлового будинку найбільш доцільним і практичним рішенням є застосування інверторної системи з акумуляторною батареєю, яка забезпечує автоматичне перемикання на резервне живлення, стабільні параметри вихідної напруги, зручність експлуатації та можливість безпечного використання в житлових приміщеннях.

Проведений аналіз показав, що використання зарядних станцій і джерел безперебійного живлення може бути ефективним лише для окремих малопотужних або чутливих споживачів, однак вони не забезпечують повноцінного тривалого резервного живлення всієї квартири. Водночас застосування сонячних панелей і вітро-генераторів у квартирних умовах багатоквартирного будинку визнано технічно, економічно та нормативно малоефективним через складність монтажу, нестабільність генерації, вимоги безпеки та обмежені можливості інтеграції з внутрішньо-будинковими мережами.

Особливу увагу в роботі приділено вибору системи накопичення енергії. На основі аналізу встановлено, що гелеві акумулятори мають обмежене застосування через значну масу, нижчу енергоефективність і менший ресурс, а класичні літій-іонні акумулятори, хоча й характеризуються високою питомою енергоемністю, потребують підвищеної уваги до питань пожежної безпеки.

Найбільш раціональним рішенням для квартирної резервної електропостачання визначено літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї (LiFePO<sub>4</sub>), які поєднують високий рівень термічної та хімічної стабільності, значний ресурс циклів заряд–розряд, стабільні електричні характеристики та безпеку експлуатації в житловому середовищі.

У розрахунковій частині роботи визначено основні параметри системи резервної електропостачання квартири площею 50,12 м<sup>2</sup>, у якій проживає сім'я з трьох осіб. Встановлено, що максимальне електричне навантаження квартири становить 7,73 кВт, а середньодобове споживання електроенергії — 4,31 кВт·год. На основі цих даних обґрунтовано вибір акумуляторної батареї ємністю 334 А·год, напругою 12 В та відповідного інверторного обладнання, здатного забезпечити резервне живлення критично важливих побутових споживачів у періоди тривалих відключень електроенергії.

Отже, мету роботи досягнуто: обґрунтовано та запропоновано технічне рішення системи резервної електропостачання квартири багатоквартирного будинку на основі інвертора та акумуляторної батареї типу LiFePO<sub>4</sub> із системою керування BMS. Запропонована система відповідає вимогам надійності, безпеки, енергоефективності та практичності, а тому може бути рекомендована для практичного впровадження в умовах нестабільного електропостачання, спричиненого надзвичайним станом енергетики в Україні.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Over four years of full-scale war, russia has launched more than 60 massive attacks on Ukraine's energy sector - DiXi Group. DiXi Group. URL: <https://dixigroup.org/en/over-four-years-of-full-scale-war-russia-has-launched-more-than-60-massive-attacks-on-ukraines-energy-sector> (дата звернення: 27.02.2026).
2. Analysts map Russia's systematic push for Ukrainian blackouts. The new voice of Ukraine. 25.02.2026. URL: <https://english.nv.ua/nation/four-campaigns-of-attacks-on-ukraine-s-power-grid-analysts-reveal-logic-behind-russian-strikes-50586889.html> (дата звернення: 27.02.2026). (дата звернення: 27.02.2026).
3. Martin N. Ukraine updates: Russia strikes war-hit nation's power grid. dw.com. URL: <https://www.dw.com/en/russia-strikes-ukraine-power-grid/live-75852955> (дата звернення: 27.02.2026).
4. Energy is the new frontline of security: Lessons from Ukraine's battle-tested system. World Economic Forum. URL: <https://www.weforum.org/stories/2026/01/frontline-security-energy-lessons-ukraine/> (дата звернення: 27.02.2026).
5. Ukraine's energy system under attack – Ukraine's Energy Security and the Coming Winter – Analysis - IEA. IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security-and-the-coming-winter/ukraines-energy-system-under-attack> (дата звернення: 27.02.2026).
6. Персоналізовані графіки погодинних відключень електропостачання. АТ "Тернопіль облenerго". URL: <https://poweron.toe.com.ua/> (дата звернення: 27.02.2026).
7. Ukrinform. Power supply situation critical in Ternopil region following Russia's attack – regional authorities. Ukrinform - Ukrainian National News Agency. URL: <https://www.ukrinform.net/rubric-ato/3931840-power-supply-situation-critical-in-ternopil-region-following-russias-attack-regional-authorities.html> (дата звернення: 27.02.2026).

8. Tumanova A. Schedules will be in effect in all regions: Ukrenergo announced whether electricity will be cut off on January 13. Ukrainian National News (UNN). URL: <https://unn.ua/en/news/schedules-will-be-in-effect-in-all-regions-ukrenergo-announced-whether-electricity-will-be-cut-off-on-january-13> (дата звернення: 27.02.2026).

9. Постанова № 312 від 14.03.2018 Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії ZAKONONLINE URL: [https://zakononline.ua/documents/show/374294\\_\\_\\_787105](https://zakononline.ua/documents/show/374294___787105) (дата звернення: 27.02.2026).

10. Зарядні станції: переваги, різновиди та можливості пристроїв | project.finance.ua. URL: <https://www.project.finance.ua/zaryadnistanциyi> (дата звернення: 14.03.2026)

11. Що таке джерело безперебійного живлення (ДБЖ) та як його вибрати?. GAZIK - інтернет-магазин. URL: <https://gazik.ua/shcho-take-dzherelobezperebiinoho-zhyvlennia-dbzh-ta-yak-yoho-vybraty/> (дата звернення: 13.03.2025).

10. Victron Energy. VEConfigure Manual. Charger Settings. URL: [https://www.victronenergy.com/media/pg/VEConfigure\\_Manual/en/charger-settings.html](https://www.victronenergy.com/media/pg/VEConfigure_Manual/en/charger-settings.html) (дата звернення: 13.03.2026).

11. Victron Energy. Quattro-II 2x120V. Operation. URL: [https://www.victronenergy.com/media/pg/Quattro-II\\_2x\\_120V/en/operation.html](https://www.victronenergy.com/media/pg/Quattro-II_2x_120V/en/operation.html) (дата звернення: 13.03.2026).

12. Jackery. The Ultimate Guide to Portable Solar Battery Charger. URL: <https://uk.jackery.com/blogs/buying-guide/solar-battery-charger-portable> (дата звернення: 13.03.2026).

13. Jackery. User Guide. URL: <https://my.jackery.com/user-guide> (дата звернення: 13.03.2026).

14. Eaton. Choosing the Optimal UPS Topology. URL: <https://www.eaton.com/us/en-us/products/backup-power-ups-surge-it-power->

distribution/backup-power-ups/choosing-the-optimal-ups-topology-.html (дата звернення: 13.03.2026).

15. Eaton. UPS Basics: Everything You Ever Wanted to Know About Uninterruptible Power Supplies. URL: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/markets/buildings/critical-power/documents/eaton-ups-basics-whitepaper-WP153005EN-en-gb.pdf> (дата звернення: 13.03.2026).

16. IEA PVPS. Performance of Partially Shaded PV Generators Operated by Optimized Power Electronics. 2024. URL: <https://iea-pvps.org/key-topics/performance-of-partially-shaded-pv-generators-operated-by-optimized-power-electronics-2024/> (дата звернення: 13.03.2026).

17. Cook J.J., Jena S., Qasim M.S., O'Shaughnessy E. Observations and Lessons Learned From Installing Residential Roofing-Integrated Photovoltaics. NREL, 2023. URL: <https://docs.nrel.gov/docs/fy23osti/85230.pdf> (дата звернення: 13.03.2026).

18. Heeter J., Sekar A., Fekete E., Shah M., Cook J.J. Affordable and Accessible Solar for All: Barriers, Solutions, and On-Site Adoption Potential. NREL, 2021. URL: <https://docs.nrel.gov/docs/fy21osti/80532.pdf> (дата звернення: 13.03.2026).

19. U.S. Department of Energy. Small Wind Guidebook. URL: <https://www.energy.gov/cmei/systems/windexchange/small-wind-guidebook> (дата звернення: 13.03.2026).

20. U.S. Department of Energy. Frequently Asked Questions on Small Distributed Wind Systems. URL: <https://www.energy.gov/cmei/systems/frequently-asked-questions-small-distributed-wind-systems> (дата звернення: 13.03.2026).

21. National Renewable Energy Laboratory. Battery Power for Your Residential Solar Electric System. URL: <https://docs.nrel.gov/docs/fy02osti/31689.pdf> (дата звернення: 13.03.2026).

22. NREL. Residential Battery Storage | Electricity | 2024b ATB. URL: [https://atb.nrel.gov/electricity/2024b/residential\\_battery\\_storage](https://atb.nrel.gov/electricity/2024b/residential_battery_storage) (дата звернення: 13.03.2026).

23. International Energy Agency. Batteries and Secure Energy Transitions. Paris: IEA, 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions> (дата звернення: 13.03.2026).

24. International Energy Agency. Global Energy Review 2026: Technology – Battery Storage. Paris: IEA, 2026. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2026/technology-battery-storage> (дата звернення: 13.03.2026).

25. Battery University. BU-403: Charging Lead Acid. URL: <https://batteryuniversity.com/article/bu-403-charging-the-lead-acid-battery> (дата звернення: 13.03.2026).

26. Battery University. BU-804b: Sulfation and How to Prevent It. URL: <https://batteryuniversity.com/article/bu-804b-sulfation-and-how-to-prevent-it/> (дата звернення: 13.03.2026).

27. БАБЮК, С. (2024). ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНОГО ГІСТЕРЕЗИСНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК LLC ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences, 337(3 (2)), 119-125.

28. Srinivasan R., Demirev P.A., Carkhuff B.G., Santhanagopalan S., Jeevarajan J.A., Barrera T.P. Thermal Safety Management in Li-Ion Batteries: Current Issues and Perspectives. NREL / Journal of The Electrochemical Society, 2020. URL: <https://docs.nrel.gov/docs/fy21osti/78128.pdf> (дата звернення: 13.03.2026).

29. Zaverukha, R. R., Ph, M. I., Chaplii, D. V., Vorobets, V. Y., & Kliuk, V. V. СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ АКУМУЛЯТОРОНОЇ БАТАРЕЇ (АКБ). In Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів,(Тернопіль, 11-12 грудня 2025)/М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін].– Тернопіль: ФОП Паляниця ВА, 2025–593. Actual problems of modern

technologies: book of abstracts of the XIV International scientific and practical conference of young researchers and students,(Ternopil, December, 11th-12th, 2025)/Ministry (p. 162).

30. Chapliy, D., Babiuk, S., Zaverukha, R., & Kotyk, M. (2024). IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF LLC CONVERTERS USING THE METHOD OF HYBRID HYSTERESIS CONTROL. Collection of scientific papers «SCIENTIA», (December 13, 2024; Zagreb, Croatia), 192-197.

31. National Renewable Energy Laboratory. Battery Power for Your Residential Solar Electric System. URL: <https://docs.nrel.gov/docs/fy02osti/31689.pdf> (дата звернення: 20.04.2026).

32. NREL. Residential Battery Storage | Electricity | 2024b | ATB. URL: [https://atb.nrel.gov/electricity/2024b/residential\\_battery\\_storage](https://atb.nrel.gov/electricity/2024b/residential_battery_storage) (дата звернення: 20.04.2026).

33. International Energy Agency. Batteries and Secure Energy Transitions. Paris: IEA, 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions> (дата звернення: 20.04.2026).

34. International Energy Agency. Global Energy Review 2026: Technology – Battery Storage. Paris: IEA, 2026. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2026/technology-battery-storage> (дата звернення: 20.04.2026).

35. Battery University. BU-808: How to Prolong Lithium-based Batteries. URL: [https://batteryuniversity.com/learn/article/how\\_to\\_prolong\\_lithium\\_based\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries) (дата звернення: 20.04.2026).

36. Battery University. BU-502: Discharging at High and Low Temperatures. URL: <https://batteryuniversity.com/article/bu-501a-discharging-at-high-and-low-temperatures> (дата звернення: 20.04.2026).

37. Mastervolt. Mass Combi Pro 12/3000-150 (230 V). URL: <https://www.mastervolt.com/products/mass-combi-pro/mass-combi-pro-12-3000-150-230-v/> (дата звернення: 22.04.2026).

38. Mastervolt. Mass Combi Ultra 12/3000-150 (230 V). URL: <https://www.mastervolt.com/products/mass-combi-ultra/mass-combi-ultra-12-3000-150-230-v/> (дата звернення: 22.04.2026).

39. Mastervolt. CombiMaster 12/3000-100 (230 V). URL: <https://www.mastervolt.com/products/combimaster/combimaster-12-3000-100-230-v/> (дата звернення: 22.04.2026).

40. EVE Energy. Prismatic LFP Cell. URL: <https://www.evebattery.com/en/prismatic-lfp-cell> (дата звернення: 20.04.2026).

41. JIKONG BMS. JKBMS B2A8S30P 3S–8S Active Balance BMS, 300A, 2A Active Balance. URL: <https://jikongbms.com/product/jkbms-b2a8s30p-3s-8s-active-balance-bms-balance-current-2a-continuous-current-300a-lifepo4-li-ion-lto-battery/> (дата звернення: 24.04.2026).

42. Battery University. BU-401a: Fast and Ultra-fast Chargers. URL: <https://batteryuniversity.com/article/bu-401a-fast-and-ultra-fast-chargers/> (дата звернення: 24.04.2026).

43. Lithium iron phosphate (LiFePO<sub>4</sub>) battery manual / Victron Energy. URL: [https://www.victronenergy.com/upload/documents/Manual-Lithium-iron-phosphate-%28LiFePO<sub>4</sub>%29-battery-EN-NL-FR-DE-ES-A5.pdf](https://www.victronenergy.com/upload/documents/Manual-Lithium-iron-phosphate-%28LiFePO4%29-battery-EN-NL-FR-DE-ES-A5.pdf) (дата звернення: 30.05.2026).

44. LiFePO<sub>4</sub> Instruction Manual / AIMS Power. URL: <https://www.aimscorp.net/documents/LFP%20-B%20041321.pdf> (дата звернення: 30.05.2026).

45. Lithium-Ion Battery Safety for Electronic Devices / U.S. Fire Administration. URL: <https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/lithium-ion-battery-safety-handout.pdf> (дата звернення: 30.05.2026).

46. Lithium-Ion Batteries: Educating your community / U.S. Fire Administration. URL: <https://www.usfa.fema.gov/a-z/lithium-ion-batteries/community-education/> (дата звернення: 30.05.2026).