МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. ПОТЕБНІ ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Кваліфікаційна робота

Другий (магістерський) рівень вищої освіти

(рівень вищої освіти)

на тему **Дослідження засобів автономного електрозабезпечення житлового будинку**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1414-з
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
спеціалізації _____
(код і назва спеціальності)
_____Терновий А.В._____

Керівник доцент, доцент, к.техн. наук, _Міняйло Н.О

Рецензент _____Коломієць Д.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя
2025

ЗАВДАННЯ

ЗАВДАННЯ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. ПОТЕБНІ

Кафедра **електричної інженерії та кіберфізичних систем**
Рівень вищої освіти **другий (магістерський)**
Спеціальність **141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**
Освітня програма **Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____Коваленко В.Л.
“___ “ _____ 2025року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Терновому Андрію Віталійовичу

1. Тема роботи Дослідження засобів автономного електрозабезпечення житлового будинку

Керівник роботи Міняйло Н.О кандидат технічних наук, доцент
затверджені наказом ЗНУ від “ 27 ” лютого 2025року № 313-с
2. Строки подання студентом роботи 20 листопада 2025
3. Вихідні дані до роботи аналіз інформаційних джерел, звіт з виробничої переддипломної практики, нормативні документи, ДСТУ, методичні вказівки до написання і оформлення кваліфікаційної робіт для здобувачів ступеня вищої освіти магістра.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Теоретичні основи та аналіз засобів автономного електрозабезпечення (АЕ) житлових будинків. Світові та національні тенденції АЕ будинків. Методика вибору об'єктів дослідження та оптимальної системи АЕ. Вибір обладнання для АЕ житлових будинків. Проектування, експлуатація та економічна ефективність систем АЕ житлових будинків.
5. Перелік графічного матеріалу: типи систем, основні засоби АЕ та генерації будинку, карти ВДЕ в Україні, типові моделі житлових будинків, аналіз енергоспоживання будинку, добове навантаження будинків, аналіз

технічних засобів для АЕ та їх вибір, структурна схема автономної енергосистеми та аналіз її роботи, ТЕП, висновки.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Міняйло Н.О, доцент	03.09.2025	23.09.2025
2	Міняйло Н.О, доцент	23.09.2025	07.10.2025
3	Міняйло Н.О, доцент	07.10.2025	21.10.2025
4	Міняйло Н.О, доцент	21.10.2025	03.11.2025
5	Міняйло Н.О, доцент	03.11.2025	15.11.2025

7. Дата видачі завдання 03.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел по темі кваліфікаційної роботи	03.09.-07.10.2025	виконано
2	Дослідження електричного навантаження для різних видів будинків	07.10.-21.10.2025	виконано
3	Аналіз технічного забезпечення для реалізації системи АЕ	21.10.-03.11.2025	виконано
4	Проектування та дослідження системи АЕ будинку	03.11.-06.11.2025	виконано
5	Розрозробка рекомендацій щодо експлуатації автономної системи	06.11.-09.11.2025	виконано
6	ТЕО спроектованої автономної системи	09.11.-15.11.2025	виконано
7	Підготовка графічного матеріалу кваліфікаційної роботи	05.11.-20.11.2025	виконано
8	Нормоконтроль та перевірка роботи на плагіат	20.11.-25.11.2025	виконано

Студент _____ Терновий А.В.

Керівник роботи _____ Міняйло Н.О.

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Башлій С.В.

РЕФЕРАТ

Терновий А.В. Дослідження засобів автономного електрозабезпечення житлового будинку.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю *141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*, освітня програма *Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*, науковий керівник Міняйло Н.О. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2025.

Об'єкт дослідження – автономні системи електропостачання житлових будинків.

Предмет дослідження – технічні засоби та методи побудови автономних систем живлення на основі відновлюваних джерел енергії.

Мета дослідження – вибір ефективних схем автономного електрозабезпечення житлових будинків із застосуванням генераторів, акумуляторних батарей, сонячних, вітрових та гібридних систем.

Методи дослідження. Аналіз технічних рішень, математичне моделювання енергетичних балансів, розрахунок споживання електроенергії, техніко-економічна оцінка ефективності використання автономних систем.

Робота містить аналіз сучасних технологій автономного енергозабезпечення житлових будинків. Розроблено рекомендації щодо вибору оптимальної схеми електропостачання, експлуатації та потреб споживачів. Визначено перспективність використання гібридних систем, що поєднують сонячну енергетику, акумулятори та резервні генератори.

Ключові слова: АВТОНОМНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЖИТЛОВИЙ БУДИНОК, СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА, ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА, АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ, ГЕНЕРАТОР, ГІБРИДНІ СИСТЕМИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

ABSTRACT

Ternovyi A.V. Research of autonomous power supply systems for residential buildings.

Qualification thesis for obtaining the master's degree in specialty *141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics*, educational program *Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics*, scientific supervisor N.O. Miniailo. Zaporizhzhia National University. Yu.M. Potebnia Engineering Educational and Scientific Institute. Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2025.

Object of research – autonomous power supply systems for residential buildings.

Subject of research – technical means and methods of constructing autonomous power systems based on renewable energy sources.

Purpose of research – substantiation, analysis, and selection of effective schemes of autonomous power supply for residential buildings using generators, batteries, solar, wind, and hybrid systems.

Research methods. Comparative analysis of modern technical solutions, mathematical modeling of energy balances, calculation of electricity consumption, as well as techno-economic efficiency assessment of autonomous systems.

The thesis presents an analysis of modern technologies of autonomous power supply for residential buildings. Recommendations for choosing the optimal power supply scheme depending on operating conditions and consumer needs were developed. The prospects of using hybrid systems that combine solar and wind energy with batteries and backup generators were identified.

Keywords: AUTONOMOUS POWER SUPPLY, RESIDENTIAL BUILDING, SOLAR ENERGY, WIND ENERGY, BATTERIES, GENERATOR, HYBRID SYSTEMS, ENERGY EFFICIENCY, MODELING, RENEWABLE ENERGY SOURCES.

ЗМІСТ

ВСТУП.....10
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА АНАЛІЗ ЗАСОБІВ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ ……...13
1.1. Поняття та класифікація засобів……...13
1.2. Основні засоби автономного електрозабезпечення житлового будинку..14
1.2.1 Засоби сонячного електрозабезпечення…….…….14
1.2.2 Засоби вітрового електрозабезпечення……...…….....18
1.2.3 Засоби водного електрозабезпечення……. 21
1.2.4 Засоби біоенергетики в електрозабезпеченні…….25
1.2.5 Засоби генераторного електрозабезпечення…….……..27
1.2.6. Засоби аккумуляторного електрозабезпечення…….31
1.2.7 Комбіновані (гібридні) засоби автономного електрозабезпечення…. 36

2. СВІТОВІ ТА НАЦІОНАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКІВ …….…….39
2.1. Світові тенденції. ……...39
2.2. Нормативно-правова база…….….41
2.3. Екологічні аспекти автономного електропостачання……...……..42
2.4. Перспективи застосування відновлювальних джерел енергії для електропостачання в Україні……....43

3. МЕТОДИКА ВИБОРУ ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ……..……..47
3.1 Аналіз, вибір та опис житлових будинків…….47
3.2 Аналіз енергоспоживання будинків ……...……..53
3.2.1 Енергоспоживання осінньо-зимового періоду під час екстрених відключень у 2025–2026 ……...61
3.3. Критерії вибору джерел енергії ……...……64

4. АНАЛІЗ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ……..…..69
4.1 Аналіз та обґрунтування вибору обладнання для автономної енергосистеми житлових будинків. …….. 69
4.2 Аналіз та вибір гібридних інверторів……... 70
4.3 Обгрунтування вибору фотогальванічних модулів……..……..72
4.4 Доцільність застосування літій-залізо-фосфатних акумуляторів……...75
4.5 Методика вибору інверторного генератора……..……...77

5. ПРОЕКТУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ……..…….……..81
5.1. Проектування системи автономного енергозабезпечення для житлових будинків …….81
5.2. Дослідження роботи системи автономного енергозабезпечення в літній та зимовий періоди ……..……....86
5.3. Основи компоновки та безпечного монтажу системи автономного енергозабезпечення…….…….……90
5.4. Техніко-економічні показники системи автономного енергозабезпечення житлових будинків ……..…..……91
ВИСНОВКИ ……..97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАН……..……100
ДОДАТКИ……..…….…….103
Додаток А. Перелік електричного обладнання для житлових будинків…...103
Додаток Б. Добове споживання електроприладів……...…105

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЕС - Атомная лектростанція

ГЕС - Гідроелектростанція

ДГУ- Дизель генераторная установка

СЕС - Системи сонячного електрозабезпечення

ВДЕ - Відновлюване джерело енергії

ДБЖ (UPS) - Джерело безперебійного живлення

ККД - Коефіцієнт корисної дії

кВт - Киловатт

МВт - Мегаватт

ГВт - Гігаватт

ТВт -Тераватт

АКБ - Акумуляторна батарея

НКРЕКП - Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг

ПДВ - Податок на додану вартість

MPPT (Maximum Power Point Tracking) – это технология отслеживания точки максимальной мощности, которая используется для повышения эффективности работы солнечных панелей, ветрогенераторов и других источников энергии.

ВСТУП

Актуальність теми. Війна в Україні створила безпрецедентні виклики для енергетичної інфраструктури. Масовані атаки ворога на наші енергетичні об’єкти, зокрема електростанції, трансформаторні підстанції, теплоелектроцентралі, а також захоплення найбільшої атомної електростанції в Європі (Запорізької АЕС), значно знизили надійність електропостачання, обмежили можливості маневрування потужностями та призвели до тривалих відключень електроенергії (блекаутів). Ці події підкреслюють необхідність впровадження резервних джерел енергії, як на рівні великих інфраструктурних об'єктів, так і для окремих домогосподарств.

Основними варіантами реалізації резервного живлення для квартири та будинку — це паливний генератор, акумуляторні системи (акумулятор з інвертором, UPS, Powerstation), сонячна та вітрова електростанція. Найдоступнішими за вартістю є інвертор з акумулятором, генератор і блок безперебійного живлення. Кожний з варіантів реалізації характеризується перевагами та недоліками.

Мета дослідження. Розробка та обґрунтування схеми автономного енергозабезпечення житлового будинку із застосуванням комбінованих джерел електроенергії для забезпечення надійності, енергоефективності та безпеки експлуатації.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети у роботі визначено наступні завдання:

1.Провести аналіз сучасних систем автономного електрозабезпечення та їх конструктивних особливостей;

2.Здійснити порівняльний огляд основних джерел резервного живлення (генератори, акумуляторні системи, сонячні та вітрові електростанції);

3.Визначити переваги та недоліки кожного типу систем з точки зору ефективності, вартості та зручності експлуатації;

4.Обґрунтувати вибір оптимальної схеми комбінованого автономного енергозабезпечення житлового будинку;

5.Надати рекомендації щодо компоновки, монтажу та експлуатації системи.

Об'єкт дослідження – системи автономного енергозабезпечення житлових будинків.

Предмет дослідження – технічні рішення та параметри роботи комбінованих систем автономного електропостачання.

Методи дослідження. Теоретичний аналіз наукових і технічних джерел, аналітичний огляд існуючих систем енергозабезпечення, математичне моделювання режимів роботи, а також розрахунково-порівняльний аналіз техніко-економічних показників різних варіантів автономного живлення.

Наукова новизна. У роботі вперше для умов сучасної енергетичної кризи України запропоновано комплексний підхід до вибору оптимальної схеми автономного енергозабезпечення житлового будинку з урахуванням надійності, енергоефективності та можливості комбінування різних джерел живлення (генератор, акумулятор, сонячна та вітрова енергія).

Практичне значення. Результати дослідження можуть бути використані для проектування та впровадження автономних енергетичних систем у житлових будинках, малих об'єктах соціальної інфраструктури та приватному секторі. Запропоновані технічні рішення сприятимуть підвищенню надійності електропостачання, зниженню залежності від централізованих мереж та раціональному використанню відновлюваних джерел енергії.

Апробація результатів роботи. Положення роботи розглядались на:

- XV Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Молоді вчені 2025 - від теорії до практики»: Матеріали. (м.Дніпро, Журфонд, 2025).
- Науково-практичній конференції «Молода наука – 2025» ІННІ ЗНУ (м. Запоріжжя, 2025).

Публікації. За результатами кваліфікаційної роботи опубліковано 2 тези доповідей:

1. Терновий А. В., Міняйло Н. О., Єрофєєва А. А. Екологічні аспекти використання сонячних панелей. XV Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Молоді вчені 2025 - від теорії до практики»: Матеріали. Дніпро: Журфонд, 2025. С. 390-392. URL: https://drive.google.com/file/d/1PtwIvWScZl130O8Oxg_hRlZFJVSprqIG/vie

2. Терновий А. В., Міняйло Н. О. АКТУАЛЬНІСТЬ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2025» Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2025. Т. 5 С. 195-197. URL: https://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc//2025/tom_5.pdf.

Структура та обсяг дипломної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг роботи становить 106 сторінок машинописного тексту, включає 31 рисунків, 14 таблиць та 2 додатків.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

1.1. Поняття та класифікація засобів

Автономне електрозабезпечення – це комплекс технічних рішень (джерела генерації, системи накопичення енергії, системи управління та перетворення), які забезпечують потреби об’єкта в електроенергії цілком або частково незалежно від централізованої електричної мережі. Мета — забезпечити надійність живлення, підвищити енергетичну автономію, стати резервним джерелом живлення в разі відключення від основної мережі, зменшити залежність від зовнішніх постачальників та/або скоротити викиди парникових газів.

За типом роботи системи поділяють на:

– Повністю автономні (off-grid). Будинок повністю живеться від своїх джерел (від'єднан від мережі), які повинні покривати пікові навантаження та забезпечувати запаси (акумулятори) для нічних/похмурих періодів. Така система потребує значних капіталовкладень і застосовується здебільшого в віддалених будинках, дачах, селах без надійної мережі.

– Резервні (standby). Основне живлення від мережі, а при її відсутності автоматично вмикається резерв. Більш бюджетний варіант для підвищення надійності без повної автономії.

– Гібридні (grid-tied + storage). Це переважна більшість сучасних приватних рішень: комбінація мережі, ВДЕ (сонце/вітер/міні Гес) і накопичувачів(акумуляторів). Можуть працювати в мережевому режимі (продаж/купівля е/е) і в автономному режимі при відключенні. Дає баланс між економією, екологією та надійністю; часто має оптимізаційну логіку (пріоритет сонця → батарея → мережа).

1.2. Основні засоби автономного електрозабезпечення житлового будинку

1.2.1 Засоби сонячного електрозабезпечення

Системи сонячного електрозабезпечення (СЕС) – це комплекси обладнання, які перетворюють сонячну енергію на електричну для живлення електроприладів або накопичення в акумуляторах. Вони складаються з сонячних панелей (фотоелектричних модулів), інвертора, контролера заряду, акумуляторної батареї (в автономних системах) та допоміжного обладнання для підключення до електромережі (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд автономної СЕС для приватного будинку

Сонячні системи є екологічно чистим джерелом енергії, оскільки не створюють шкідливих викидів під час роботи. Вони забезпечують незалежність від центрального електропостачання, що особливо важливо у віддалених районах або в умовах частих відключень електроенергії. Експлуатація таких систем майже не потребує обслуговування, оскільки основні компоненти сонячних панелей мають тривалий термін служби – 20-30 років. Використання сонячної енергії дозволяє значно знизити витрати на оплату електроенергії, а при встановленні двозонного обліку – заряджати акумулятори вночі за зниженим тарифом.

Основним недоліком систем сонячного електрозабезпечення є висока вартість початкових капіталовкладень на закупівлю та встановлення обладнання. Сонячні системи залежать від погодних умов, у похмуру погоду або взимку вироблення енергії знижується. Крім того, автономні системи потребують акумулятори, які мають обмежений ресурс заряджання-розряджання та з часом потребують заміни.

Сонячні панелі мають кілька основних видів, які відрізняються за технологією виготовлення, ефективністю та вартістю (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Основні види сонячних панелей

Монокристалічні панелі виготовляються з цілісного кристалу кремнію, мають високу ефективність (до 22 %) і тривалий термін служби. Вони займають менше місця, але коштують дорожче.

Полікристалічні панелі складаються з кількох кристалів кремнію, мають дещо нижчу ефективність (15-18 %) і меншу вартість у порівнянні з монокристалічними.

Тонкоплівкові панелі виготовляються шляхом нанесення тонкого шару фотоелектричного матеріалу на скло або пластик, мають низьку ефективність (10-12 %), але є більш доступними та легкими.

Гібридні панелі поєднують різні технології, забезпечують високу ефективність навіть у похмуру погоду та мають тривалий термін служби, але є найдорожчими.

Під час встановлення системи сонячного електрозабезпечення важливо правильно розрахувати її потужність відповідно до середньодобового споживання електроенергії. Сонячні панелі слід орієнтувати на південь під оптимальним кутом нахилу для досягнення максимальної генерації енергії. Важливо використовувати якісні інвертори з «чистою синусоїдою», особливо для підключення чутливих приладів, щоб забезпечити їхню стабільну роботу. Якщо система включає акумулятори, перевагу варто віддавати LiFePo4, оскільки вони мають тривалий термін служби, високу енергоефективність і швидко заряджаються.

У мирний час сонячні системи допомагають знизити витрати на електроенергію, дозволяючи заряджати акумулятори в нічний час за зниженим тарифом і використовувати накопичену енергію вдень. Вони є ефективним рішенням для електроживлення заміських будинків, кемпінгів та віддалених об’єктів, які не мають доступу до центральної електромережі.

В умовах надзвичайних ситуацій, зокрема під час відключення електроенергії (блекаутів), сонячні системи забезпечують резервне живлення для критично важливих приладів, таких як освітлення, системи зв’язку та охоронне обладнання. Гібридні системи можуть працювати разом із паливними генераторами, що дозволяє оптимізувати витрати пального та забезпечити автономну роботу протягом тривалого часу.

Типові потужності сонячних систем для житлових будинків становлять від 3 до 12 кВт, залежно від площі даху, енергоспоживання родини та регіональних кліматичних умов. Для прикладу, у приватних домогосподарствах Німеччини, Польщі чи США найчастіше встановлюють системи потужністю 5–10 кВт із батареями ємністю 10–15 кВт·год, що дозволяє забезпечити автономну роботу будинку у вечірній час або під час аварій. У південних країнах Європи, таких як Іспанія, Італія чи Греція, через вищу сонячну інсоляцію встановлюють системи меншої потужності – близько 4–6 кВт, які все одно забезпечують значну частину потреб у електроенергії.

В Україні використання сонячних панелей активно зростає, особливо після запровадження «зеленого тарифу» та у військовий час. Приватні власники будинків встановлюють невеликі системи на 3–10 кВт, часто з можливістю продажу надлишків енергії до мережі. За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження, станом на 2025 рік у країні працює понад 55 тисяч приватних домогосподарств із сонячними електростанціями, загальною потужністю понад 1,4 ГВт. Найактивніший розвиток сонячних станцій у південних регіонах – Запорізькій, Одеській, Миколаївській та Дніпропетровській областях, де кількість сонячних днів на рік перевищує 250.

Переваги таких систем очевидні: вони мають відносно просту конструкцію, не потребують значного технічного обслуговування, працюють без викидів шкідливих речовин і дозволяють суттєво зменшити витрати на електроенергію. Крім того, термін служби якісних панелей сягає 25–30 років, а інвестиції окуповуються в середньому за 5–8 років, залежно від тарифів і вартості обладнання.

Недоліками є варіативність виробітку енергії протягом доби та року, вдень і влітку генерація максимальна, тоді як взимку та вночі вона практично відсутня. Тому для стабільного живлення системи часто доповнюють акумуляторами або інтегрують у гібридні рішення з вітровими чи дизельними генераторами.

Приклади успішного застосування можна побачити не лише у США чи Німеччині, а й у країнах Східної Європи та Україні. Наприклад, у Польщі діє державна програма «Мій струм», яка компенсує частину вартості сонячних установок для населення. В Україні подібні проекти реалізуються у межах програм енергоефективності, зокрема, у громадах Черкаської та Львівської областей створюються цілі «сонячні вулиці», де більшість будинків оснащені власними СЕС.

Таким чином, сонячна енергетика стає одним із ключових напрямів розвитку автономного електропостачання як у світі, так і в Україні. Її

доступність, екологічність і можливість забезпечення енергетичної незалежності роблять фотовольтаїку однією з найперспективніших технологій для житлового сектору.

1.2.2 Засоби вітрового електрозабезпечення

Вітрогенератори (вітрогенераторні установки, вітрові електрогенератори, вітростанції) являють собою системи, що перетворюють кінетичну енергію вітру на електричну енергію. Це екологічно чисте та відновлюване джерело енергії, яке може використовуватися для забезпечення електропостачання житлових будинків та інших об'єктів.

Існує кілька основних типів вітрогенераторів, які розрізняються за конструкцією та принципом дії.

Найпоширенішими є вітрогенератори з горизонтальною віссю обертання ротора (рис.1.3). Вони мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД), простоту регулювання потужності, ефективний захист від сильних поривів вітру та швидкий запуск навіть при слабкому вітрі. Крім того, такі системи мають порівняно невисоку вартість, що робить їх популярними для домашнього використання.



Рисунок 1.3 – Вітрогенератори з горизонтальною віссю обертання

Вітрогенератори з вертикальною віссю обертання мають свої переваги: вони можуть працювати при вітрі будь-якого напрямку, легкі у монтажі та менш шумні (див.рис.1.4). Однак, через конструктивні особливості, вони встановлюються на меншій висоті, що знижує їх ефективність. Завдяки низькому рівню шуму, такі

установки часто використовуються для домашніх потреб.



Рисунок 1.4 – Вітрогенератори з вертикальною віссю обертання

Залежно від конструкції вітроколеса, виділяють пропелерні, карусельні та барабанні вітрогенератори. Найбільш поширеними є пропелерні системи, оскільки інші типи є більш громіздкими та менш ефективними. Крім того, вітрогенератори можуть бути з редуктором (мультиплікатором) або без нього. Безредукторні системи відрізняються низьким рівнем шуму, що робить їх оптимальними для використання в побутових умовах.

Перед встановленням вітрогенератора для будинку важливо враховувати кілька ключових факторів. Необхідно знати про швидкість вітру на різних висотах, частоту поривів та сезонні зміни. Рекомендується отримати статистичні дані про поведінку вітру за останні 20 років у місцевій метеослужбі або скористатися онлайн-ресурсами, такими як інтерактивні карти вітру. Для малопотужних вітроустановок достатньо сезонних спостережень, проте консультація спеціаліста буде корисною для врахування особливостей місцевого рельєфу.

Важливим моментом при виборі вітрогенератора є розрахунок необхідної потужності. Для цього слід визначити середньомісячне споживання електроенергії, враховуючи перелік усіх електроприладів, їхню потужність і час роботи. Як правило, для забезпечення побутових потреб сім'ї з трьох-чотирьох осіб потрібен вітрогенератор потужністю не менше 10 кВт. Однак конкретні потреби можуть відрізнятися залежно від індивідуальних умов.

У районах із слабкими вітрами доцільно використовувати декілька вітроустановок, об'єднаних у мережу з єдиним акумуляторним вузлом. Це дозволяє накопичувати електроенергію під час вітряної погоди та використовувати її у

безвітряні періоди. Важливо правильно розподілити навантаження між окремими установками та групами побутових приладів у будинку для підвищення енергоефективності.

Розташування вітрогенератора має важливе значення для його ефективної роботи. Його слід монтувати на відкритій місцевості, оскільки перешкоди можуть знижувати швидкість вітру та створювати зони турбулентності. Вітряк повинен бути встановлений на висоті щонайменше 3-4 метри вище за будь-яку перешкоду, розташовану не ближче 150 метрів. Крім того, генератор слід розміщувати якомога ближче до акумуляторних модулів для мінімізації енергетичних втрат при транспортуванні електроенергії.

Серед інших важливих аспектів – забезпечення безпеки експлуатації вітрогенератора. Необхідно передбачити захист від ударів блискавки, зледеніння лопатей, а також зміцнити несучі конструкції та фундамент. Домашні вітрогенератори можуть створювати перешкоди для телевізійного сигналу, що також слід враховувати при їх встановленні.

Вибір вітрогенератора залежить від багатьох факторів, включаючи кліматичні умови, особливості місцевості та енергетичні потреби. Сучасні технології дозволяють встановити вітрогенератор практично в будь-якому місці, не вимагаючи глибоких технічних знань. Ефективність та екологічність таких систем роблять їх перспективним рішенням для забезпечення енергетичної незалежності. У будь-якому випадку, консультація з досвідченим фахівцем допоможе уникнути помилок при виборі, монтажі та експлуатації вітроустановки.

У світовій практиці малі вітрові електростанції активно застосовуються у Данії, Нідерландах, Великій Британії, Канаді та США. Наприклад, у прибережних районах Шотландії та Норвегії приватні будинки часто оснащують установками потужністю 2–5 кВт, які забезпечують електроенергією сім’ю протягом більшої частини року. У Канаді фермерські господарства встановлюють малі вітряки на 10–15 кВт, які працюють паралельно із сонячними системами, створюючи ефективний баланс між сезонами.

В Україні також зростає інтерес до вітрової енергетики, хоча її розвиток поки що поступається сонячній через складні кліматичні та дозвільні умови.

Найкращі вітрові ресурси зосереджені у південних та західних регіонах – на узбережжі Чорного й Азовського морів, у Запорізькій, Одеській, Херсонській, Миколаївській, Івано-Франківській та Львівській областях. У цих районах середня швидкість вітру сягає 5–7 м/с, що дозволяє ефективно використовувати побутові турбіни. Наприклад, у селі Новоолександрівка Запорізької області встановлено приватну вітрову установку потужністю 10 кВт, яка забезпечує електроенергією будинок і теплицю, а надлишки енергії накопичуються в аккумуляторах.

У промисловому масштабі Україна також має успіхи – діють великі вітрові парки у Ботієвому та Приморському районах Запорізької області, однак останніми роками зростає попит саме на малі приватні системи, які дозволяють родинам зменшити залежність від мережі та підвищити енергетичну безпеку.

Таким чином, вітрові установки – це ефективне доповнення до інших джерел автономного електропостачання, особливо у регіонах із постійними повітряними потоками. Їх поєднання з сонячними панелями створює збалансовану систему, здатну забезпечити житловий будинок електроенергією впродовж усього року.

1.2.3 Засоби водного електрозабезпечення

Енергія рухомої води – один із найдавніших і найбільш освоєних відновлюваних джерел енергії, який ефективно використовується в приватних домогосподарствах. Для цього застосовуються мікрогідроелектростанції (мікроГЕС) та водяні колеса (рис.1.5).

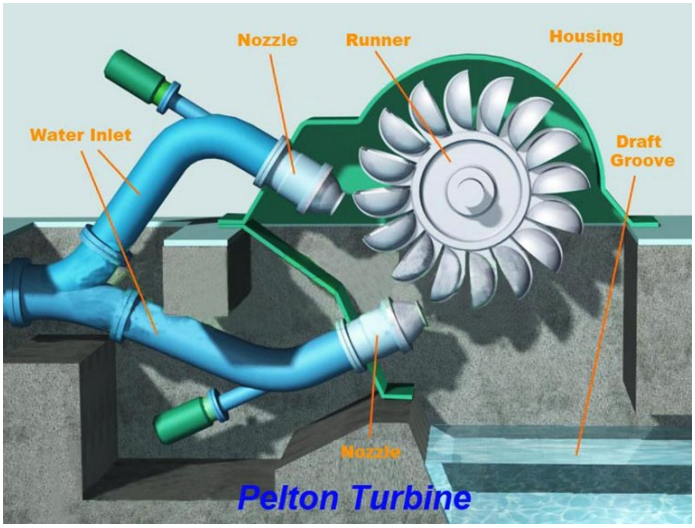


Рисунок 1.5 – Водна турбина (мікроГес)

МікроГЕС складається з кількох ключових елементів: водозабору, напірного трубопроводу, гідротурбіни, генератора, системи керування, акумуляторних батарей для накопичення енергії та інвертора для перетворення постійного струму в змінний. Вода з річки або струмка подається через трубопровід на турбіну, яка обертає генератор. Отриманий постійний струм накопичується в акумуляторах і потім перетворюється в змінний струм для використання в домогосподарстві.

Основні фактори, що впливають на потужність мікроГЕС, це напір води (різниця висот між водозабором і турбіною) і витрата води (об’єм води, що проходить через турбіну за одиницю часу).

Потужність можна розрахувати за формулою:

$$P\ [кВт] = 8 * Q\ [м^3/с] * H\ [м]$$

де Q - витрата води через турбіну в кубічних метрах на секунду ($м^3/с$);

H - напір води в метрах (м).

Наприклад, при напорі 10 м і витраті 50 л/с (0,05 $м^3/с$) можна отримати потужність 4 кВт. Для стабільної роботи мікроГЕС необхідний постійний потік води не менше 20-30 л/с. Важливо враховувати сезонні коливання рівня води та можливість замерзання водойми взимку.

Водяні колеса – це прості та дешеві у виготовленні пристрої, які використовують енергію потоку води для обертання колеса. ККД водяних коліс нижчий, ніж у гідротурбін, і зазвичай не перевищує 30-40%, але їх можна виготовити самостійно з доступних матеріалів, таких як дерево або метал.

Гідроенергетика має низку переваг, зокрема постійне вироблення енергії, тривалий термін служби та низькі експлуатаційні витрати. Вона може використовуватися не лише для вироблення електроенергії, а й для механічних приводів, таких як млини, насоси чи верстати. Проте існують і певні недоліки, зокрема залежність від наявності водного джерела, необхідність отримання дозволів на використання водних ресурсів і ризик пошкодження обладнання під час паводків або льодоходів. Однією з ключових переваг мікро- та міні-ГЕС є відсутність порушень природного ландшафту та навколишнього середовища під час будівництва й експлуатації. Вони не мають негативного впливу на якість води, яка зберігає свої природні властивості та може використовуватися для водопостачання населення. Також такі системи мінімально залежать від погодних умов і можуть забезпечувати споживачів дешевою електроенергією протягом усього року.

Джерелами енергії для малої гідроенергетики можуть бути невеликі річки та струмки, природні перепади висот на озерних водоскидах та іригаційних каналах, технологічні водотоки, такі як промислові та каналізаційні стоки, а також перепади висот у системах водопостачання, водопідготовки та інших трубопроводах, призначених для транспортування рідин.

Потужність малих гідроелектростанцій залежить від швидкості течії та висоти падіння води (так званого гідравлічного напору). У побутових умовах це можуть бути установки від кількох кіловат (наприклад, 2–5 кВт для окремого будинку або ферми) до кількох сотень кіловат – для невеликих населених пунктів чи підприємств. Міні-ГЕС потужністю 10–50 кВт може повністю забезпечити електроенергією невелике село або кілька приватних

садиб. Такі системи часто створюються на основі природних потоків, гірських струмків або невеликих річок.

Основні переваги міні-гідроелектростанцій – стабільність генерації (за наявності постійного стоку води) та тривалий термін служби. На відміну від сонячних чи вітрових установок, які залежать від погодних умов, гідроенергія забезпечує більш рівномірне виробництво протягом року. Сучасні турбіни здатні працювати понад 30–40 років із мінімальним технічним обслуговуванням, що робить такі системи економічно привабливими у довгостроковій перспективі. До того ж, коефіцієнт корисної дії (ККД) гідроустановок є найвищим серед усіх джерел відновлюваної енергії та досягає 80–90%, тоді як у сонячних панелей він рідко перевищує 20–22%.

Втім, є й певні недоліки. Найголовніше – це географічні обмеження: для ефективної роботи міні-ГЕС потрібен природний водотік з достатнім напором. Такі умови зазвичай зустрічаються у гірських або передгірських районах, на заході України (Карпати, Закарпаття, Івано-Франківська область), у Кримських горах чи на малих річках Поділля. Крім того, будівництво навіть невеликих гідротехнічних споруд може впливати на місцеву екосистему, змінювати русло річки, заважати міграції риби, змінювати рівень води. Тому важливо передбачати екологічні заходи, встановлювати рибопереходи, уникати повного перекриття потоку та дотримуватись природоохоронних норм.

У світовій практиці малі гідроелектростанції широко використовуються у гірських країнах. Наприклад, у Швейцарії, Австрії, Норвегії та Китаї діють тисячі малих ГЕС потужністю від кількох до сотень кіловат, які забезпечують електроенергією фермерські господарства та гірські села. У Непалі та Індії малі гідростанції стали основою для електрифікації віддалених гірських районів, де неможливо прокласти централізовані мережі.

В Україні перші малі ГЕС почали будувати ще у 1930-х роках, особливо в Карпатському регіоні. Після тривалої перерви інтерес до них відновився у 2000-х роках, коли почала діяти державна програма підтримки відновлюваних

джерел енергії. Нині в Україні працює понад 150 малих гідроелектростанцій сумарною потужністю близько 110 МВт. Частина з них – це реконструйовані історичні станції, а частина – нові установки приватного або комунального призначення. Наприклад, у Закарпатській області діє низка приватних міні-ГЕС потужністю 20–100 кВт, які повністю забезпечують енергією місцеві фермерські господарства й туристичні бази.

Малі гідроелектростанції мають великий потенціал розвитку в Україні, особливо у гірських і передгірських районах, де є природні водотоки з достатнім напором. Вони є ефективним рішенням для приватних будинків, розташованих поблизу річок і струмків, оскільки дозволяють отримувати дешеву та екологічно чисту електроенергію. При правильному проектуванні малі ГЕС можуть стати надійним компонентом автономних енергосистем, що поєднують різні джерела (сонячні панелі, вітрові турбіни й акумулятори). Таке поєднання забезпечує повну енергетичну автономність житлових будинків, максимально ефективно використовуючи природні ресурси та гарантує безперебійне електропостачання протягом усього року.

1.2.4 Засоби біоенергетики в електрозабезпеченні

Біоенергетика є одним із найперспективніших напрямів розвитку автономного електрозабезпечення, особливо для сільських територій, агропідприємств і приватних господарств, які мають доступ до органічних відходів. Принцип її дії полягає у перетворенні біомаси, органічних речовин природного походження у біогаз або теплову енергію шляхом мікробіологічних, хімічних або термічних процесів. Найчастіше використовується анаеробне зброджування, коли органічна маса (гній, залишки харчової або сільськогосподарської продукції, відходи тваринництва) у спеціальних реакторах без доступу кисню розкладається бактеріями з утворенням метанового біогазу. Отриманий газ потім спалюється в

когенераційних установках для одночасного виробництва електричної та теплової енергії (рис 1.6).

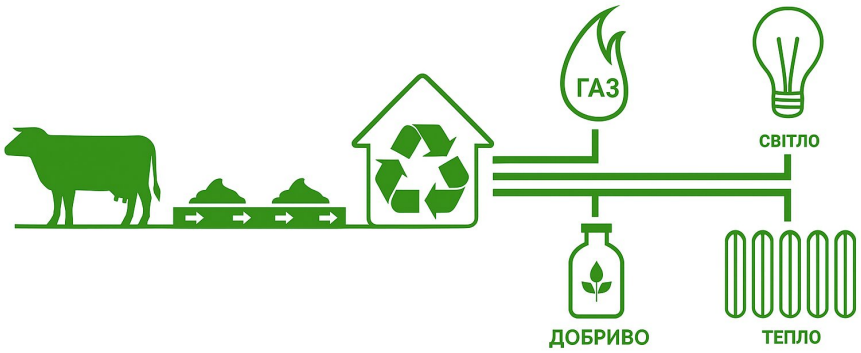


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд виробництва електричної та теплової енергії з біомаси (навозу)

Типові потужності біогазових установок коливаються від кількох кіловат (у невеликих фермерських господарствах) до сотень кіловат або навіть мегават (на промислових комплексах). Для приватного житлового будинку або невеликої ферми доцільно застосовувати установки потужністю 5–30 кВт, які забезпечують базову потребу в електроенергії й теплі. В Україні активно розвиваються фермерські біогазові комплекси, особливо у Вінницькій, Львівській та Полтавській областях. Наприклад, у Вінницькій області діє біогазова станція на основі відходів свиноферми, яка генерує понад 1,5 МВт електроенергії, забезпечуючи енергією не лише ферму, а й прилеглі житлові об’єкти.

Основними перевагами біоенергетики є можливість утилізації органічних відходів, зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище та забезпечення стабільного енергопостачання незалежно від погодних умов. На відміну від сонячних і вітрових систем, генерація з біомаси або біогазу може здійснюватися цілодобово, що робить такі установки

важливим елементом у комбінованих гібридних системах автономного енергозабезпечення.

Водночас існують і недоліки: потреба в постійному забезпеченні сировиною, складність технологічного процесу, необхідність очищення біогазу від домішок (сірководню, вологи, частинок пилу), а також потенційні запахи, що вимагають герметизації та фільтрації. Крім того, економічна доцільність біоенергетики залежить від масштабу, невеликі установки мають відносно високу вартість у перерахунку на 1 кВт потужності, тому часто ефективніше об’єднувати декілька користувачів у спільну енергетичну систему.

У світовій практиці біоенергетика займає важливе місце у структурі «зеленої енергетики». Наприклад, у Німеччині понад 9 тисяч біогазових станцій генерують більше 5 ГВт потужності, а в Данії – близько половини всіх сільськогосподарських відходів переробляються на енергію. У Китаї діють державні програми підтримки фермерських біоенергетичних установок, які забезпечують автономне енергопостачання для мільйонів домогосподарств. В Україні також діє система «зеленого тарифу» для електроенергії, виробленої з біомаси чи біогазу, що стимулює інвестиції в цю галузь.

Отже, біоенергетика є одним із найгнучкіших і найекологічніших шляхів забезпечення автономного електропостачання житлових будинків, особливо в аграрних регіонах. Її розвиток сприяє енергетичній незалежності, скороченню викидів парникових газів і переходу до сталої моделі енергоспоживання.

1.2.5 Засоби генераторного електрозабезпечення

Резервування електропостачання за допомогою паливних генераторів забезпечує надійне енергопостачання у будь-який період, що обмежується лише запасом палива та надійністю роботи генератора. Це рішення дозволяє підтримувати електропостачання під час аварій або відключення мережі,

забезпечуючи безперебійну роботу обладнання.

Існує кілька основних видів паливних генераторів:

Бензинові генератори – оптимальні для періодичних відключень на 5-7 годин. Мобільні моделі забезпечують аварійний мінімум енергоспоживання, а стаціонарні можуть живити весь будинок. Вони доступні за ціною, але створюють шум, є пожежонебезпечними та потребують періодичного відпочинку через ризик перегріву (рис.1.7).

Бензинові генератори можуть бути інверторними, що забезпечує стабільну напругу з "чистою синусоїдою". Вони підходять для живлення чутливих приладів, таких як комп’ютери, медичне обладнання та системи керування, знижуючи ризик пошкодження електроніки.



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд бензинового генератора

Дизельні генератори – підходять для тривалих відключень електроенергії, оскільки мають великий моторесурс і можуть працювати безперервно кілька діб. Вони дорожче бензинових, займають багато місця, потребують додаткових паливних баків та створюють значний рівень шуму (рис.1.8).



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд дизельного генератора

Газові генератори – працюють на природному або зрідженому газі. Вони є більш економічними у тривалій перспективі, займають менше місця та працюють тихіше. Хоча їхня початкова вартість вища, вони мають менший негативний вплив на навколишнє середовище. Також зустрічаються в продажі гібридні генератори (інверторні) Газ+Бензин (рис.1.9).



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд газового генератора

При використанні генераторів важливо враховувати кілька ключових моментів. Рекомендується застосовувати інверторні генератори з "чистою синусоїдою", особливо для живлення чутливих приладів і насосного обладнання, щоб уникнути пошкодження електроніки. Генератор слід підключати через двохпозиційний вимикач, щоб виключити можливість

подачі мережевої напруги на генератор і запобігти його виходу з ладу. Якщо рівень шуму є критично важливим, доцільно обирати генератори в шумоізольованих кожухах. Для підвищення комфорту рекомендується використовувати генератори з функцією автоматичного запуску при зникненні напруги.

При виборі генератора варто враховувати необхідну потужність. Оптимально вибрати генератор з номінальною потужністю на 50-100% більшою за середню потужність споживачів, що забезпечує економічний режим роботи і знижує зношення обладнання. Якщо передбачається запуск насосів без частотних перетворювачів (особливо для свердловин), необхідно передбачити запас потужності у 3-4 рази більше для компенсації пускових струмів. Для підвищення надійності та зниження вартості електроенергії доцільно використовувати двопаливні генератори, які можуть працювати на газі та бензині.

Не можна використовувати генератори в закритих приміщеннях без організації відведення вихлопних газів, адже це створює ризик отруєння чадним газом. Заборонено зберігати паливо в погано вентильованих приміщеннях, оскільки це підвищує ризик вибуху або займання. Крім того, не допускається заправка генератора під час його роботи або в гарячому стані, оскільки це створює небезпеку займання палива.

В Україні генератори широко використовуються в приватних будинках, на фермах, у лікарнях, адміністративних будівлях і торгових центрах, особливо у сільській місцевості або в регіонах з нестабільним електропостачанням. Після масових відключень електроенергії у 2022–2023 роках попит на побутові дизельні та бензинові генератори зріс у кілька разів. На ринку популярні моделі таких виробників, як *Honda, Hyundai,* Konner & Sohnen *Kipor, Fogo, Elemax, SDMO, Matari* тощо, потужністю від 3 до 10 кВт для приватного сектору.

У світі паливні генератори залишаються основним резервним джерелом енергії для лікарень, дата-центрів, військових об’єктів і критичної

інфраструктури. Наприклад, у США та Канаді вони є обов’язковими елементами систем безпеки в житлових комплексах і бізнес-центрах. У скандинавських країнах їх часто поєднують із сонячними панелями та акумуляторними системами, генератори запускаються лише тоді, коли запаси енергії у батареях вичерпуються.

Використання паливних генераторів має як переваги, так і недоліки. Основна перевага – це надійне енергопостачання незалежно від тривалості відключення, яке обмежується лише наявністю палива.

У мирний же час, використання паливних генераторів є мало доцільним через високу собівартість виробленої електроенергії та значні експлуатаційні витрати. Вони мають сенс переважно як резервне джерело живлення під час аварійних відключень електроенергії або в умовах, коли підключення до централізованої мережі неможливе. Таким чином, паливні генератори відіграють важливу роль у системах автономного електропостачання, забезпечуючи стабільність живлення у критичних ситуаціях. Проте через економічні та екологічні обмеження вони поступово поступаються місцем сучасним гібридним системам, що поєднують генераторну генерацію з відновлюваними джерелами енергії (сонячною і вітровою).

1.2.6. Засоби аккумуляторного електрозабезпечення

Системи акумуляторного електрозабезпечення мають низку переваг. Вони значно безпечніші у використанні порівняно з паливними генераторами, не створюють шуму (за винятком незначного шуму від системи охолодження) і не мають рухомих частин, що підвищує їхню надійність. У більшості випадків для таких систем не потрібне окреме приміщення. Вони можуть бути використані для підключення сонячних панелей у майбутньому. Вартість електроенергії, отриманої від акумуляторних систем, є нижчою, ніж у паливних генераторів, і відповідає тарифам електромережі. Портативні пристрої на основі акумуляторів можна використовувати поза межами

будинку. Також акумуляторні системи можуть заряджатися від паливних генераторів, забезпечуючи їхню номінальну потужність і дозволяючи використовувати один генератор для кількох будинків.

Існують різні види систем акумуляторного електрозабезпечення.

1. Джерело безперебійного живлення (ДБЖ, UPS) використовується для забезпечення короткочасного резервного живлення під час відключення електроенергії. Воно захищає чутливі електронні пристрої, такі як комп'ютери та сервери, від стрибків напруги. Зазвичай ДБЖ оснащені свинцево-кислотними акумуляторами з обмеженою кількістю циклів заряджання-розряджання (рис.1.10).



Рисунок 1.10 – Загальний вигляд ДБЖ (UPS)

2. Портативні електростанції, такі як EcoFlow або Bluetti, є мобільними системами, які поєднують інвертор, акумулятор і зарядний пристрій в одному корпусі. Вони можуть заряджатися від електромережі, сонячних панелей або автомобіля та використовуються для автономного живлення під час подорожей або у випадках відсутності електропостачання. Портативні електростанції оснащені літієвими акумуляторами (Li-ion або LiFePo4), які мають великий ресурс (понад 2000 циклів) (див.рис.1.11).



Рис 1.11 – Загальний вигляд powerstation Ecoflow

3. Інвертор та акумуляторні системи є стаціонарними рішеннями, які складаються з окремого інвертора та зовнішніх акумуляторів. Вони можуть використовувати різні типи акумуляторів:

- Автомобільні (свинцево-кислотні): найдоступніші за ціною, проте мають низький ресурс6 (близько 300–500 циклів). Такі АКБ чутливі до глибокого розряду, мають обмежену глибину розряду (до 50%), вимагають наявності вентиляції через можливе виділення газів і характеризуються відносно не великим терміном служби (3–5 років).
- Гелеві (GEL): вдосконалений різновид свинцево-кислотних батарей, у яких електроліт має гелеподібну структуру. Такі АКБ витримують 700–1000 циклів, є менш чутливими до температурних коливань, допускають глибший разряд (до 70%) і служать 6–8 років, але коштують дорожче.
- Літій-іонні (Li-Ion, $LiFePO_4$): найсучасніші й технологічно досконалі акумулятори. Вони мають тривалий термін служби (понад 2000 циклів), високу ефективність (до 95–98%), низьку вагу та здатність до швидкого заряджання. Крім того, літій-залізо-фосфатні ($LiFePO_4$) батареї відзначаються високим рівнем безпеки та термічною стабільністю, що робить їх оптимальними для автономних енергосистем, попри високу вартість (рис.1.12).

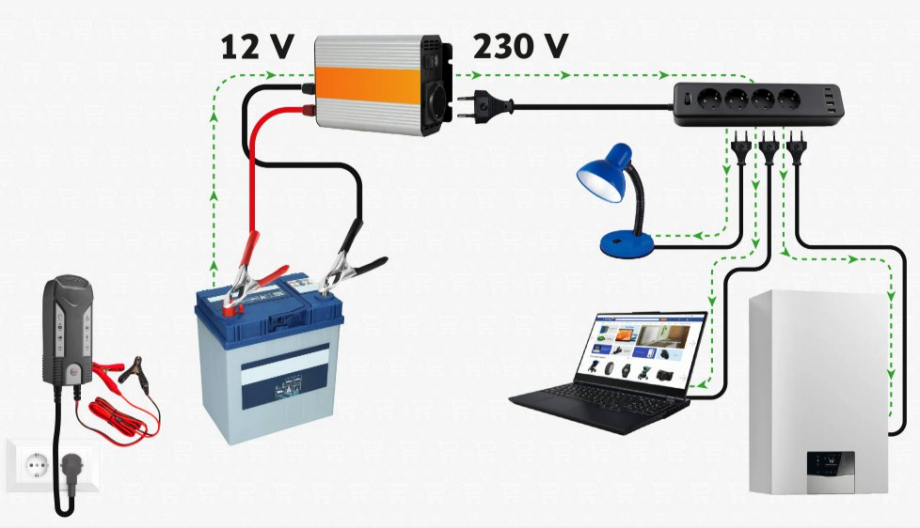


Рисунок 1.12 – Загальний вигляд підключення автомобільного акумулятора та інвертора

Системи акумуляторного електрозабезпечення мають багато переваг. Вони безшумні та екологічні, можуть інтегруватися з сонячними панелями, а також мають нижчу вартість електроенергії у порівнянні з паливними генераторами. Портативність деяких моделей дозволяє використовувати їх поза межами будинку. Проте, ці системи мають і певні недоліки. Вони потребують джерела заряджання, мають обмежену кількість циклів заряджання-розряджання, а початкові капіталовкладення для їх встановлення можуть бути досить високими.

При використанні акумуляторних систем слід дотримуватися певних рекомендацій. Рекомендується використовувати інвертори з "чистою синусоїдою" для чутливих приладів. Необхідно забезпечити підключення через двопозиційний вимикач для захисту інвертора. Потужність інвертора і батареї слід вибирати на 50-100% більше за середнє споживання. Важливо використовувати кабелі достатнього перерізу для підключення батарей і передбачити двозонний облік для економії на нічних тарифах.

Деякі дії суворо заборонені при використанні акумуляторних систем. Не можна підключати генератори до мережі через систему "вилка-вилка", оскільки це може призвести до аварій і займання. Також не слід

використовувати свинцеві акумулятори у закритих приміщеннях через ризик накопичення вибухонебезпечних газів.

У мирний час акумуляторні системи дозволяють зменшити витрати на електроенергію за рахунок заряджання в нічний час і використання вдень. Портативні зарядні станції забезпечують автономне живлення у віддалених місцях, що робить їх незамінними в умовах відсутності стаціонарного електропостачання.

У світі акумуляторні системи зберігання енергії широко застосовуються для підвищення енергоефективності та автономності житлових будинків. У США, зокрема в штатах Каліфорнія та Гаваї, активно використовуються домашні системи накопичення енергії, такі як Tesla Powerwall і LG Chem RESU. Вони інтегруються із сонячними панелями та дозволяють накопичувати електроенергію для використання у вечірні години або під час відключень. Держава підтримує впровадження таких систем через податкові пільги до 30% і програму SGIP, яка надає субсидії на встановлення батарей.

У Німеччині ринок побутових систем зберігання енергії розвивається особливо швидко. У 2024 році кількість приватних акумуляторних установок перевищила 1 мільйон. Типова система складається з фотоелектричних панелей і батареї ємністю 6–10 кВт·год, що забезпечує електроенергією будинок у вечірній час. Держава стимулює громадян через кредитні програми KfW Bank і державну ініціативу Solarpaket, спрямовану на розвиток відновлюваної енергетики.

В Японії після аварії на АЕС «Фукусіма» відбулося активне впровадження домашніх систем зберігання енергії, які виробляють компанії Panasonic та Kyocera. У країні діють національні стандарти інтеграції систем у форматі «розумного дому» (HEMS – Home Energy Management System), що дозволяє поєднувати сонячні панелі, акумулятори та системи автоматичного керування навантаженням.

В Австралії побутові акумуляторні системи набули поширення у штатах Вікторія та Південна Австралія. Там реалізується модель Virtual Power Plant

(віртуальна електростанція) – об’єднання великої кількості домашніх енергосистем в одну мережу. Це дозволяє не лише забезпечити власні потреби, а й продавати надлишкову енергію до загальної енергосистеми країни.

Таким чином, світовий досвід показує, що використання акумуляторних систем у поєднанні з відновлюваними джерелами енергії є ключовим напрямом розвитку сучасної енергетики, який забезпечує енергетичну незалежність, стабільність і зниження викидів вуглецю.

1.2.7 Комбіновані (гібридні) засоби автономного електрозабезпечення

Комбіновані (гібридні) засоби автономного електрозабезпечення використовують різні відновлювальні джерела енергії для забезпечення стабільного та ефективного електропостачання (рис.1.13). Ці системи поєднують сонячні панелі, вітрові турбіни, мікроГЕС, акумулятори та генератори, що дозволяє забезпечити високу надійність енергопостачання навіть у випадках, коли одне джерело не може забезпечити достатню потужність. Сонячні панелі генерують електричну енергію за рахунок сонячної радіації, забезпечуючи постійну подачу енергії вдень.Вітрові турбіни забезпечують виробництво енергії з вітру, працюючи навіть при відсутності сонячного світла, що робить їх важливими для місцевостей з сильними вітрами. МікроГЕС використовують рух води в річках чи струмках для генерування енергії, що є стабільним джерелом навіть в умовах низької сонячної активності або без вітряних днів. Акумулятори зберігають надлишкову енергію, вироблену вдень або під час сильного вітру, і забезпечують її доступність вночі або в моменти, коли інші джерела енергії не генерують достатньо енергії. Генератори, як резервні джерела енергії, можуть працювати на різних видах палива і забезпечують електричну енергію у разі відсутності інших джерел, зокрема, у нічний час або під час поганих погодних умов.

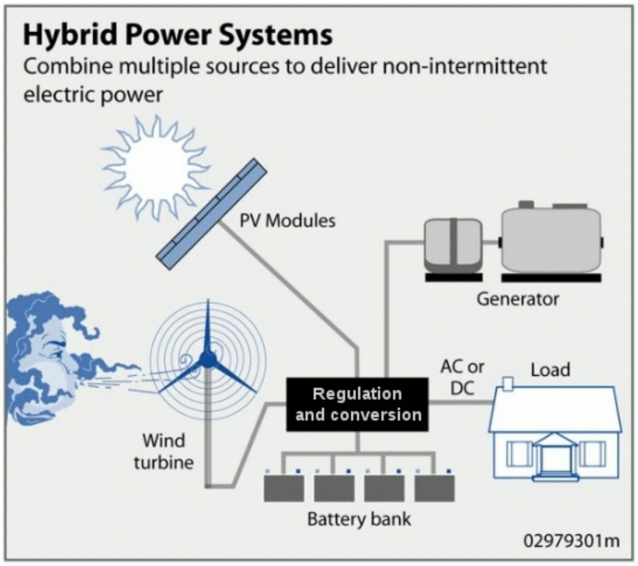


Рисунок 1.13 – Комбінована (гібридна) система електрозабезпечення

Таке поєднання забезпечує стабільне виробництво електроенергії, оскільки пікові періоди роботи кожного джерела припадають на різний час доби та року. Завдяки цьому енергетична ефективність системи зростає, а коливання рівня генерації зменшуються.

Крім того, така система сприяє зниженню залежності від централізованої мережі, підвищенню енергонезалежності та оптимізації витрат на електроенергію. Використовуючи можливості нічного тарифу, можна заряджати акумулятори або генерувати енергію в періоди низького споживання, що підвищує загальну ефективність енергопостачання.

Ключовим елементом таких систем є гібридний інвертор, який координує роботу всіх джерел живлення. Він автоматично розподіляє потоки енергії між сонячними панелями, акумуляторними батареями, мережею та навантаженням, вибираючи оптимальне джерело живлення залежно від умов (наявність сонця, рівень заряду АКБ, стан мережі тощо).

Схема роботи гібридного інвертора включає такі етапи:

1. Енергія від сонячних панелей надходить до контролера заряду.
2. Контролер регулює напругу та струм, заряджаючи АКБ у безпечному режимі.

3. Коли акумулятор заряджений, надлишкова енергія подається до інвертора, який перетворює постійний струм у змінний і передає його на споживачів або у мережу.

Контролер заряду виконує функції захисту:

- запобігає перезаряду АКБ, що може пошкодити батареї;
- не допускає глибокого розряду, який скорочує термін служби;
- блокує зворотний струм у нічний час, коли сонячні панелі не працюють.

Таким чином, комбіновані (гібридні) системи автономного електрозабезпечення є надійним, екологічно чистим та економічно вигідним рішенням для забезпечення енергонезалежності. Вони дозволяють ефективно використовувати природні ресурси та зменшити вплив нестабільності одного окремого джерела енергії на загальну систему електропостачання.

2. СВІТОВІ ТА НАЦІОНАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКІВ

2.1 Світові тенденції

Світові тенденції розвитку автономного електрозабезпечення демонструють стрімке зростання ролі відновлюваних джерел енергії, передусім сонячної та вітрової генерації. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), лише у 2024 році глобально було введено в експлуатацію понад 550–600 ГВт нових потужностей з відновлюваних джерел, причому більшу частину склали фотоелектричні системи (PV) та вітрові електростанції. Сумарна встановлена потужність сонячної генерації у світі перевищила 2,2 ТВт, що на 600 ГВт більше, ніж роком раніше. З них Китай забезпечив близько 357 ГВт — майже 60 % нової глобальної потужності, що зробило країну світовим лідером за обсягами PV-установок. Це сприяло значному зниженню вартості сонячних панелей та масштабній індустріалізації виробництва. Інші країни також активно розвивають сонячну генерацію: Європейський Союз додав приблизно 62,6 ГВт, США – 47,1 ГВт, Індія – 31,9 ГВт. Паралельно зростає й застосування систем накопичення енергії: у першій половині 2025 року глобальна встановлена потужність батарейних сховищ зросла на 54 % порівняно з аналогічним періодом попереднього року, а до кінця року очікується введення понад 412 ГВт·год нових потужностей зберігання електроенергії.

Китай не лише має найбільшу встановлену потужність фотоелектричних станцій, а й активно розвиває технологічну базу виробництва, понад 80 % світових сонячних панелей виробляються саме в Китаї. У 2024 році країна ввела рекордну кількість нових PV-потужностей, що вплинуло на світовий ринок, здешевлення модулів та доступність технологій для домогосподарств. Багато китайських регіонів, таких як Гуандун, Цзянсу та Шаньдун, реалізують програми повної електрифікації житлового сектору з використанням дахових

PV-систем та локальних акумуляторів, що дозволяє будинкам бути частково або повністю автономними.

У США спостерігається активне розширення домашніх PV-систем і акумуляторних накопичувачів, особливо в штатах з високою сонячною активністю — Каліфорнія, Аризона та Техас. Каліфорнія є прикладом ефективної політики стимулювання домашньої енергетики: у 2024 році встановлено рекордну кількість сонячних систем та акумуляторів для приватних домогосподарств, що дозволяє зменшити навантаження на мережу в пікові години вечірнього споживання і підвищити енергетичну незалежність користувачів. Місцеві програми, зокрема *Self-Generation Incentive Program (SGIP)*, частково компенсують вартість встановлення батарей, стимулюючи населення переходити на гібридні системи «сонце + батарея + мережа». До кінця 2024 року понад 20 % нових житлових систем у США оснащені акумуляторними накопичувачами енергії.

Німеччина демонструє системний підхід до розвитку відновлюваної енергетики, активно підтримуючи встановлення PV на приватних дахах і акумуляторів для домогосподарств. Держава запровадила «зелений тариф» і в 2024–2025 роках реалізувала пакет реформ «Solarpaket», який спрощує процедури підключення систем та надає пільгові кредити й гранти для їх придбання. Завдяки цьому понад 3 млн домогосподарств встановили власні PV-системи потужністю 5–15 кВт, що дозволяє частково забезпечувати себе енергією навіть уночі.

В Україні після 2022 року, у зв’язку з частими відключеннями електроенергії, тисячі домогосподарств почали встановлювати сонячні панелі, інвертори й системи зберігання енергії. Кількість приватних домогосподарств із даховими PV-системами перевищила 70 000, а сумарна потужність перевищує 1,2 ГВт. Найбільше таких установок у Київській, Дніпропетровській, Львівській та Одеській областях. Наприклад, у Дніпропетровській області налічується понад 7 800 установок, у Закарпатській

– понад 5 200, у Київській – близько 5 100. Поширюються також гібридні системи, які поєднують PV, вітрогенератори й дизель-генератори для резерву.

Типовий сучасний приклад автономного рішення: одноповерховий або двоповерховий житловий будинок у помірному кліматі оснащується сонячною електростанцією потужністю 5–8 кВт і акумулятором ємністю 10–15 кВт·год. Це дозволяє покривати споживання протягом дня, в вечірні години й пережити короткочасні відключення електромережі. Для повної автономії, особливо взимку, систему доповнюють додатковим генератором. Таке поєднання підвищує енергетичну незалежність, зменшує витрати на електроенергію та сприяє переходу до екологічно чистої моделі споживання.

2.2 Нормативно-правова база

В Україні нормативно-правова база щодо відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) за останні роки активно вдосконалюється та спрямована на стимулювання розвитку як приватного, так і корпоративного сектора. Основу регулювання становить Закон України «Про альтернативні джерела енергії» та його зміни 2025 року, які визначають правила виробництва електроенергії з ВДЕ, порядок підключення до електромережі, облік виробленої електроенергії та механізми фінансової підтримки. Для приватних домогосподарств ключовим інструментом є «зелений тариф», який дозволяє продавати надлишки електроенергії у мережу та отримувати щомісячну компенсацію.

З 1 квітня 2024 року НКРЕКП встановила нові ставки «зеленого тарифу» для приватних СЕС потужністю до 30 кВт. Також Закон № 10357 виключив вимогу обов’язкового розташування електростанцій на дахах чи фасадах для застосування «зеленого тарифу», тепер для домогосподарств із потужністю до 30 кВт тариф діє незалежно від місця розміщення панелей. Відповідно до постанов НКРЕКП, ставки «зеленого тарифу» встановлюються без урахування ПДВ.

У період 2022–2025 років, враховуючи воєнний стан та обмеження енергопостачання, Міністерство енергетики видало низку наказів і меморандумів, що уточнюють процедуру виплат, правила безпечного підключення обладнання та дистанційний облік виробленої електроенергії. Законодавство також регламентує вимоги до двонаправлених інверторів, захисні механізми від перевантажень і аварійних ситуацій, а також застосування сертифікованих лічильників з віддаленим моніторингом.

При проектуванні автономних та гібридних систем енергопостачання в Україні також орієнтуються на міжнародні стандарти та директиви. Європейські норми, такі як IEC 61727 та EN 50549, регламентують безпечне підключення PV-систем до мережі та роботу інверторів у двох напрямках, а ISO 50001 встановлює принципи енергоефективного управління. Рекомендації Міжнародного енергетичного агентства (IEA) та IRENA допомагають оптимізувати системи накопичення енергії та балансування генерації. Дотримання цих стандартів забезпечує надійну і безпечну експлуатацію обладнання, правильний облік виробленої електроенергії та законну можливість продажу надлишків.

2.3 Екологічні аспекти автономного електропостачання

Одним із ключових мотивів переходу на автономні та відновлювані джерела енергії є зменшення негативного впливу на довкілля та здоров’я людей. Виробництво електроенергії з викопного палива супроводжується значними викидами парникових газів: наприклад, виробництво 1 кВт·год електроенергії на вугільних електростанціях у середньому генерує близько 740–920 г CO_2-еквіваленту, а на газових – 400–500 г CO_2/кВт·год, залежно від технології та країни. У порівнянні з цим, життєвий цикл сонячних панелей призводить лише до десятків грамів CO_2 на кВт·год, а вітрові турбіни мають ще менші показники. Це означає, що використання PV і вітроенергетики

дозволяє значно скоротити викиди на одиницю виробленої електроенергії і зменшити вплив на глобальне потепління.

Крім скорочення парникових газів, застосування відновлюваних джерел енергії позитивно впливає на здоров’я людей. Знижується рівень забруднення повітря твердими частками, оксидами азоту та сірки, що сприяє зменшенню респіраторних та серцево-судинних захворювань. Водночас зменшується ризик зміни клімату та екологічних катастроф, пов’язаних з викопним паливом.

Разом із тим, деякі технології мають потенційні негативні наслідки. Виробництво сонячних панелей та батарей потребує значної енергії, рідкоземельних елементів та хімічних процесів, а неправильна утилізація відпрацьованих модулів може призвести до забруднення довкілля. Також великі гідроелектростанції з водосховищами мають локальний вплив на екосистеми річок, змінюючи їхній гідрологічний режим і біорізноманіття. Тому при плануванні автономних систем важливо передбачати належну утилізацію обладнання, регулювання відходів і екологічні оцінки для мінімізації побічних ефектів.

Загалом, перехід на автономні та відновлювані джерела енергії дозволяє поєднувати енергетичну незалежність з екологічною безпекою, знижуючи шкідливий вплив на довкілля та здоров’я населення, а також сприяє сталому розвитку енергетичних систем.

2.4 Перспективи застосування відновлювальних джерел енергії для електропостачання в Україні

Перспективи застосування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для електропостачання в Україні мають надзвичайно високий потенціал і є однією з ключових стратегічних галузей розвитку енергетики країни.

Україна продовжує активну інтеграцію ВДЕ у свій енергетичний баланс. Станом на 2025 рік загальна встановлена потужність відновлюваних джерел

сягнула майже 10 ГВт, із яких понад 56% припадає на сонячну енергію, а близько 33% на вітрову. Відновлювана енергетика вже зараз забезпечує більш ніж 8% електроенергії країни, а уряд планує довести цей показник до 25% до 2030 року. Для цього реалізуються масштабні інвестиції – понад 12 млрд доларів було залучено до галузі, а також впроваджуються нові проекти вітрової та сонячної генерації, зокрема «Вітропарки України».

Ключовими перевагами ВДЕ в Україні є:

– Великий енергетичний потенціал. За даними Атласу енергетичного потенціалу, Україна може розмістити наземні вітроелектростанції з сумарною потужністю понад 400 ГВт, що значно перевищує існуюче споживання. Сонячні установки на дахах житлових і промислових будівель можуть виробляти до 82 ТВт·год електроенергії на рік.

– Економічна вигода. Вартість виробництва зеленої електроенергії значно знизилася, а норма прибутковості сонячних електростанцій зробила їх вигідним інструментом як для бізнесу, так і для приватного сектору.

– Створення робочих місць і розвиток регіонів. Розвиток ВДЕ сприяє появі тисяч нових робочих місць у сфері проектування, монтажу та обслуговування систем.

– Зменшення залежності від імпорту енергоносіїв та підвищення енергетичної безпеки країни.

Особливу увагу приділяють розвитку сонячної енергетики через високу інсоляцію території. Завдяки кліматичним умовам і технологічним інноваціям сонячні системи на українських дахах та відкритих майданчиках демонструють високий потенціал ефективності.

Вітрова енергетика стрімко розвивається у західних та південних регіонах країни, де географічні умови дозволяють реалізувати потужні проекти. Наприклад, у Львівській та Одеській областях зводяться великі вітропарки.

Урядова стратегія також підтримує розвиток біоенергетики та малих гідроелектростанцій як додаткових складових відновлювального енергетичного балансу.

Нижче наведені приклади карт потенціалу ВДЕ в Україні, які ілюструють розподіл інсоляції (рис.2.1) та вітрових ресурсів (рис 2.2):

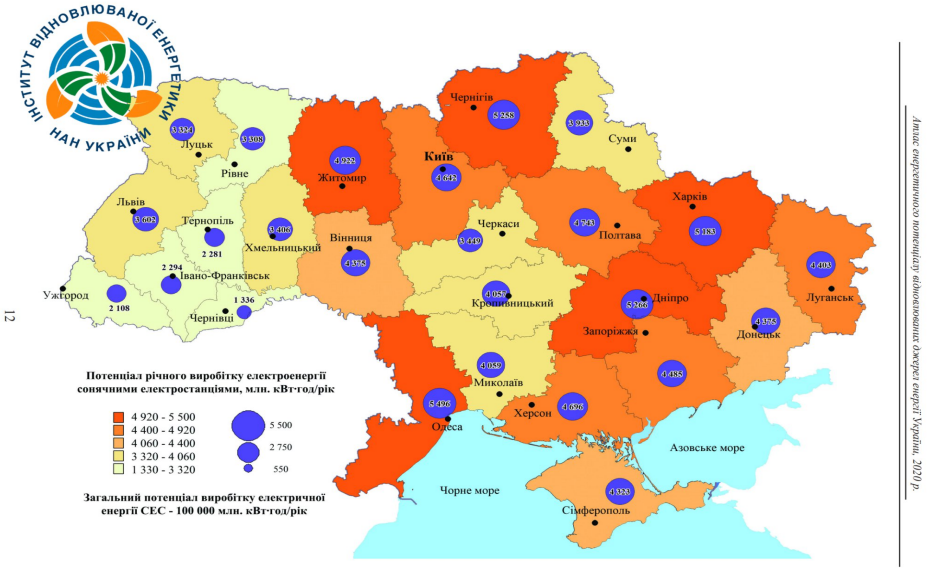


Рисунок 2.1 – Карта сонячної інсоляції України з показниками середнього річного надходження сонячної радіації (кВт·год/м²)

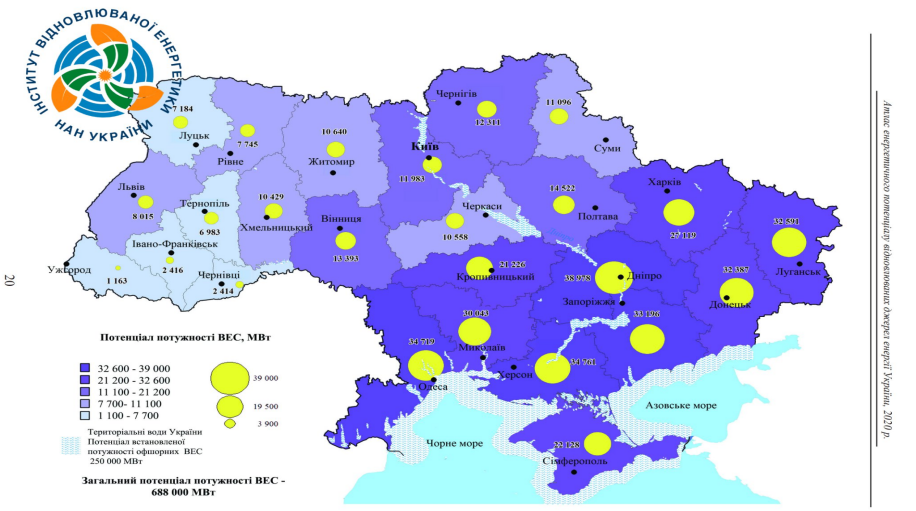


Рисунок 2.2 – Карта вітрового потенціалу України з найбільш перспективними регіонами для встановлення вітроелектростанцій

Ці карти допомагають визначити оптимальні регіони для розвитку сонячних та вітрових електростанцій, що сприяє ефективному плануванню інвестицій та розвитку енергетичної інфраструктури.

Отже, перспективи застосування ВДЕ в Україні є яскравими і перспективними завдяки потужному природному потенціалу, державній підтримці, активним інвестиціям та зростаючому попиту на чисту енергію, що сприяє стійкому розвитку енергосистеми та підвищенню енергетичної незалежності країни.

3. МЕТОДИКА ВИБОРУ ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Аналіз, вибір та опис об’єктів дослідження

В Україні спостерігається велика різноманітність домогосподарств і площі житлових будинків, що безпосередньо впливає на рівень споживання електроенергії та потреб в автономному електроживленні.

За даними Державної служби статистики України, середній розмір домогосподарства становить близько 2,6 особи. Проте існують суттєві відмінності між міськими та сільськими районами. У містах у середньому проживає 2,2–2,4 особи на одне домогосподарство, тоді як у сільській місцевості цей показник вищий 2,9–3,2 особи. У західних регіонах країни, де традиційно поширені багатосімейні родини, середня кількість членів у домогосподарстві може досягати 3,5–4 осіб. Подібна тенденція пояснюється соціально-економічними чинниками: у містах переважно малі домогосподарства (одинокі особи, молоді сім’ї без дітей), тоді як у сільських районах частіше проживають кілька поколінь під одним дахом, що впливає на енергоспоживання – як за кількістю побутових приладів, так і за тривалістю їх використання.

Враховуючи соціально-демографічні особливості, доцільно розділити домогосподарства на три основні категорії:

– Малі сім’ї, 1–2 особи (одинокі мешканці або пари без дітей);

– Середні сім’ї, 3–4 особи (найпоширеніша модель сучасної родини з дітьми);

– Великі сім’ї, 5 і більше осіб (багатодітні родини або кілька поколінь, що проживають разом).

Ця класифікація дозволяє точніше оцінити потреби в електроенергії для різних типів житла.

Щодо площі житлових будинків, то статистика демонструє значну варіативність. За даними Держстату та аналізу ринку приватного житла:

– Малі будинки мають площу до 80 м² – це компактні садиби, дачі або сучасні енергоефективні будинки для невеликих сімей;

– Середні будинки – від 90 до 160 м², що є найпоширенішим варіантом для родин із 3–4 осіб;

– Великі будинки – понад 160 м², як правило, двоповерхові споруди, розраховані на кілька поколінь або великі родини.

У середньому площа нового приватного житлового будинку в Україні становить 150–160 м², тоді як середня площа квартири лише близько 58 м², тобто майже втричі меньше. Це підкреслює важливість окремого підходу до енергозабезпечення приватного сектору, де більші площі потребують більшої потужності автономних систем.

Для подальшого аналізу в роботі прийнято три типові моделі житлових будинків, які найбільш точно відображають реальну структуру споживання електроенергії в Україні:

– Малий будинок – 2 особи, площа 70 м² (рис.3.1);

– Середній будинок – 3–4 особи, площа 120 м² (рис 3.2);;

– Великий будинок – 5 і більше осіб, площа 200 м² (рис 3.3);

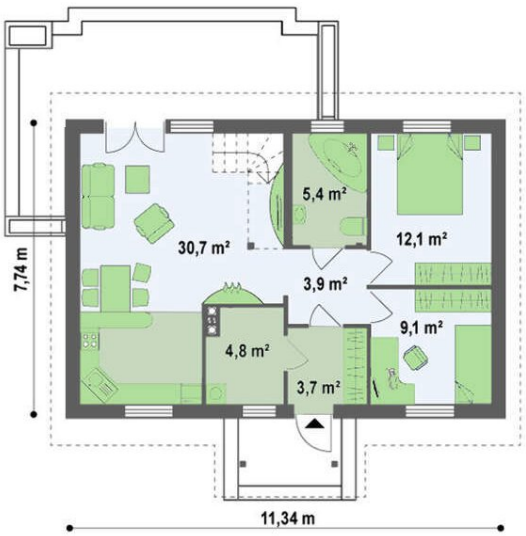


Рисунок 3.1 – Типовий малий будинок на 70 м²



Рисунок 3.2 – Типовий середній будинок на 120 м²

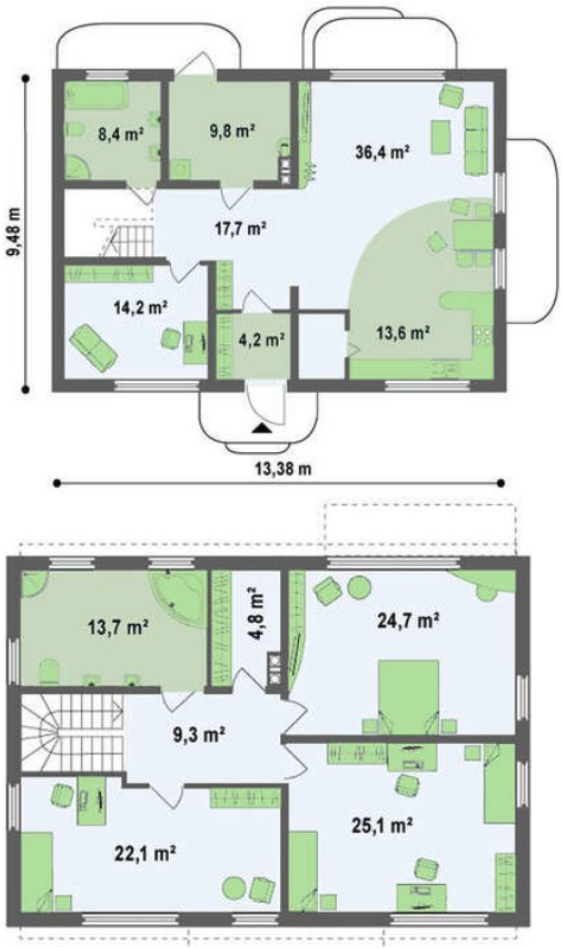


Рисунок 3.3 – Типовий великий двух поверховій будинок на 200 м²

Близько половини житлових будинків в Україні опалюються природним газом, що залишається основним джерелом теплової енергії у більшості

населених пунктів. Приблизно третина домогосподарств використовує тверде паливо — дрова, вугілля або пелети. Менша частка споживачів, близько 10–15 %, переходить на електричне опалення або комбіновані системи, де поєднуються електрика, теплові насоси та сонячні колектори. Такий розподіл свідчить про поступовий перехід до більш енергоефективних і екологічних рішень, проте газ і тверде паливо поки що залишаються основними джерелами тепла для українських домогосподарств.

Тому в межах даного дослідження буде проведено детальний аналіз споживання електроенергії та потреб в автономному енергозабезпеченні для трьох типових житлових будинків – малого, середнього та великого. Для розрахунків передбачається, що основним джерелом теплопостачання в опалювальний період є природний газ, який наразі використовується приблизно в половині українських домогосподарств. Такий підхід дозволяє об’єктивно оцінити реальні потреби споживачів в електроенергії для побутових приладів, систем освітлення, вентиляції, кондиціонування та допоміжного обладнання. Дослідження охоплює різні регіони України – південний, центральний і західний, які істотно відрізняються кліматичними умовами, енергетичним потенціалом та структурою споживання, що дає змогу всебічно оцінити ефективність автономних систем у різних природно-кліматичних зонах країни.

Південний регіон України, зокрема Одеська область, має сприятливі умови для розвитку відновлюваної енергетики. Клімат тут помірно теплий, із м’якими зимами та спекотним літом. Середньорічна температура становить близько +10–11 °C, а кількість сонячних годин сягає 2300–2500 на рік, що забезпечує високий рівень сонячної інсоляції, близько 5500 кВт·год/м²·рік. Це дозволяє активно використовувати сонячну енергетику. Одним із прикладів є сонячна електростанція Bolgrad Solar Park потужністю близько 34 МВт, яка розташована в Одеській області. Потенційна частка сонячної генерації у структурі автономного енергопостачання може становити близько 55 %. Вітрові ресурси регіону також значні, особливо в прибережних районах, де

середньорічна швидкість вітру досягає 5–7 м/с. У регіоні діє вітряний парк Ovid Wind, що складається з дев’яти турбін. Вітрові установки можуть забезпечити близько 30 % енергетичного балансу автономної системи.

Крім того, на малих річках і зрошувальних каналах можливе використання міні-ГЕС, хоча їхня частка невелика, близько 5 %. Такі системи можуть виконувати допоміжну роль, стабілізуючи енергопостачання у періоди низької сонячної або вітрової активності.

Біоенергетика також має потенціал розвитку. У сільській місцевості можливе встановлення біогазових установок, що працюють на відходах рослинництва та тваринництва. Їхня частка може становити близько 10 % загального виробництва енергії в автономній системі.

Загалом для Одеської області характерне поєднання кількох джерел: сонячної, вітрової, біогазової та гідроенергетики. Така комбінація дозволяє ефективно забезпечувати автономне живлення навіть у пікові години споживання, особливо влітку, коли навантаження зростає через роботу систем охолодження.

Центральний регіон України, зокрема Полтавська область, має помірний клімат із чітко вираженими порами року. Середньорічна температура становить близько +8,5…+9 °C, а кількість сонячних годин сягає 1900–2100 год на рік, що відповідає середньому рівню сонячної інсоляції, близько 4800 кВт·год/м²·рік. Це забезпечує добрі умови для використання сонячних електростанцій, які можуть покривати близько 45–50 % потреби автономного енергопостачання. У регіоні вже функціонують кілька промислових сонячних станцій, зокрема СЕС “Ланнівська” та СЕС “Машівська”, які демонструють стабільну роботу протягом року.

Вітровий потенціал Полтавщини нижчий, ніж у прибережних районах півдня, середньорічна швидкість вітру становить близько 3,5–4,5 м/с. Однак малі вітротурбіни можуть ефективно використовуватися для локальної підтримки енергосистеми, особливо у відкритій місцевості. Частка вітрової енергії в балансі автономного живлення може досягати 10–15 %.

Завдяки наявності великої кількості дрібних річок і каналів у регіоні можливе встановлення міні-ГЕС, які здатні забезпечити 5–10 % потреби домогосподарств у електроенергії. Такі установки ефективні в осінньо-зимовий період, коли сонячна активність нижча.

Біоенергетика у Полтавській області має значний потенціал через високий рівень розвитку сільського господарства. Біогазові установки, що працюють на відходах тваринництва, соломі, кукурудзяних стеблах і лушпинні соняшнику, можуть забезпечити 25–30 % енергетичних потреб. Прикладом є біогазовий комплекс “Діамант-Агро” у Решетилівському районі, який виробляє енергію для власних потреб і частково подає її в мережу.

Отже, для центрального регіону України доцільно використовувати комбіновані системи: сонячні панелі, акумулятори, малі вітрові установки, міні-ГЕС та біоенергетичні комплекси. Такий підхід забезпечує стабільне енергопостачання протягом року, зменшує залежність від централізованих мереж і сприяє розвитку енергонезалежних домогосподарств.

Західний регіон України, зокрема Львівська область, має помірно вологий клімат із прохолодним літом та тривалим опалювальним сезоном, який триває близько 180–200 днів на рік. Середньорічна температура становить близько +7…+8 °C, а рівень сонячної інсоляції нижчий, ніж у південних областях, приблизно 3600 кВт·год/м²·рік при середній кількості 1700–1900 сонячних годин на рік. Через це сонячна енергетика може забезпечити орієнтовно 30–35 % потреби автономної системи. У регіоні діють кілька невеликих сонячних станцій, зокрема СЕС “Яворів” і СЕС “Дубляни”, що демонструють ефективність навіть за умов меншої сонячної активності.

Вітровий потенціал Львівщини, особливо у Карпатських районах, є досить високим, середньорічна швидкість вітру сягає 6–8 м/с на гірських і відкритих ділянках. Це дає змогу використовувати вітрові турбіни, здатні забезпечити близько 25–30 % енергетичних потреб автономного об’єкта. Прикладом є Сколівський вітропарк, де випробовуються невеликі установки для локального енергопостачання.

Завдяки численним річкам і потокам у гірській місцевості регіон має високий потенціал для розвитку міні-ГЕС, які можуть покривати 15–20 % потреб у електроенергії. Подібні установки ефективно працюють у зимово-весняний період, коли рівень опадів і водний потік збільшується.

Біоенергетика є особливо актуальною для сільських районів Львівської області. Біогазові комплекси на основі відходів сільського господарства та лісової промисловості, а також котли на біомасі (деревина, пелети) можуть забезпечити 20–25 % енергетичного балансу. Прикладом є біогазові установки у господарствах Жовківського та Буського районів, які виробляють електроенергію та тепло для власних потреб.

Таким чином, у Західному регіоні доцільно застосовувати комбіновану автономну систему, яка поєднує сонячні панелі, акумулятори, вітрові установки, міні-ГЕС та біоенергетичні джерела. Така система враховує низьку сонячну активність узимку та підвищене енергоспоживання в холодний період, забезпечуючи стабільне електропостачання протягом року.

Такий комплексний підхід дозволяє точно визначити потреби різних типів житлових будинків і підібрати оптимальні параметри сонячних панелей, акумуляторів, малих вітрових установок, міні-ГЕС та біоенергетичних систем для ефективного автономного енергозабезпечення у різних кліматичних умовах України.

3.2 Аналіз енергоспоживання будинків

Першим етапом у виборі оптимальної системи автономного енергозабезпечення є аналіз енергоспоживання житлового будинку. Для цього визначаються основні електроприлади, які використовуються в домогосподарстві, їхня номінальна потужність, середня тривалість роботи протягом доби та загальне добове споживання електроенергії.

Розрахунок проводиться для трьох типів житлових будинків, що були визначені у попередньому розділі:

– малий будинок – площа 70 м² (2–3 особи в сім’ї);

– середній будинок – площа 120 м² (3–4 особи);

– великий будинок – площа 200 м² (4–6 осіб).

Для кожного типу будинку буде сформовано таблиці потужність електроприладів будинку та добового споживання електроенергії з урахуванням типових приладів (освітлення, холодильник, пральна машина, бойлер, кондиціонер, електроплита тощо). Це дозволить побудувати графік добового навантаження та визначити пікові години споживання, що є критичним для подальшого підбору потужності джерел енергії та акумуляторів.

Для будинку середньої площини надаємо перелік електроприладів їх номінальну потужність (таблиця 3.1) та розраховуємо загальну потужність (таблиця 3.2). Аналогічну інформацію предсталено для будінків малої та велікої площин яка представлена у табліцях Б.1 та Б.2.

Таблиця 3.1 – Перелік електроприладів середнього будинку (120 м²)

Найменування електроприладів	Номінальна потужність, кВт/ч	Кількість	Загальна потужність, кВт/ч
1	2	3	4
Холодильник	0,12	1	0,12
Телевізор	0,07	2	0,14
Ноутбук	0,07	2	0,14
Посудомийна машина	1,5	1	1,5
Пральна машина	1	1	1
Мікрохвильова піч	1	1	1
Електрочайник	1,5	1	1,5
Праска	1,5	1	1,5
Робот пилосос	0,05	1	0,05
Кондиціонер	1	1	1
Бойлер	1,5	1	1,5

Продовження табл.3.1

1	2	3	4
Насос опалення	0,25	1	0,25
Освітлення			
Коридор	0,012	4	0,048
Кухня	0,012	7	0,084
Вітальня	0,012	7	0,084
Спальня 1	0,012	4	0,048
Спальня 2	0,012	4	0,048
Спальня 3	0,012	4	0,048
Бойлерна	0,012	4	0,048
Тераса	0,012	6	0,072
Санвузол	0,012	2	0,024
Ванна	0,012	4	0,048
Передпокій	0,012	4	0,048
Ганок	0,012	1	0,012
Разом			**10,312**

На основі даних таблиці 3.1 визначено, що максимальне навантаження змінного струму складає 10,312 кВт. Далі виконаємо розрахунок добового енергоспоживання електроприладів, помноживши їхню потужність на середню тривалість роботи протягом доби (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Добове енергоспоживання електроприладів (120 м²)

Найменування електроприладів	Номінальна потужність, кВт/ч	Кількість	Загальна потужність кВт/ч	Години работи за добу, год	Кількість споживавння електроенергії за добу, кВт
1	2	3	4	5	6
Холодильник	0,12	1	0,12	24	0,75
Телевізор	0,07	2	0,14	4	0,56

Продовження табл.3.2

1	2	3	4	5	6
Ноутбук	0,07	2	0,14	4	0,56
Посудомийна машина	1,5	1	1,5	0,5	0,73
Пральна машина	1	1	1	0,75	0,75
Мікрохвильова піч	1	1	1	0,2	0,2
Електрочайник	1,5	1	1,5	0,2	0,3
Праска	1,5	1	1,5	0,2	0,3
Робот пилосос	0,05	1	0,05	2	0,1
Кондиціонер	1	1	1	4	4
Бойлер	1,5	1	1,5	5	7,5
Насос опалення	0,25	1	0,25	16	4
Освітлення					
Коридор	0,012	4	0,048	5	0,24
Кухня	0,012	7	0,084	5	0,42
Вітальня	0,012	7	0,084	5	0,42
Спальня 1	0,012	4	0,048	4	0,192
Спальня 2	0,012	4	0,048	4	0,192
Спальня 3	0,012	4	0,048	4	0,192
Бойлерна	0,012	4	0,048	0,2	0,0096
Тераса	0,012	6	0,072	1	0,072
Санвузол	0,012	2	0,024	1	0,024
Ванна	0,012	4	0,048	1	0,048
Передпокій	0,012	4	0,048	1	0,048
Ганок	0,012	1	0,012	3	0,036
Разом					**21,6436**

Холодильник працює цілодобово, проте його фактичне енергоспоживання нижче за номінальне. Тому для розрахунків

використовуємо паспортне значення добового споживання. Кондиціонер не працює безперервно, а вмикається за необхідності. У середньому він використовується 4 години на добу в літній період. Фактичне енергоспоживання може змінюватися, оскільки пристрій автоматично регулює інтенсивність роботи залежно від температури в приміщенні. Тому для розрахунку беремо середню тривалість роботи та потужність відповідно до паспортних даних. Пральна машина для розрахунку енергоспоживання беремо середню тривалість роботи машини та потужність нагрівального елемента відповідно до паспортних даних. У випадку прання при низьких температурах споживання енергії менше, ніж при пранні на 60°C або 90°C, оскільки більша частина електроенергії витрачається на нагрівання води.

Як ми бачимо з таблиці 2 добове енергоспоживання електроприладів - 21,65 кВт

Щоб визначити на який час доби припадає пік навантаження і протягом якого часу він триває, побудуємо добовий графік навантаження будинків (рис 3.4).

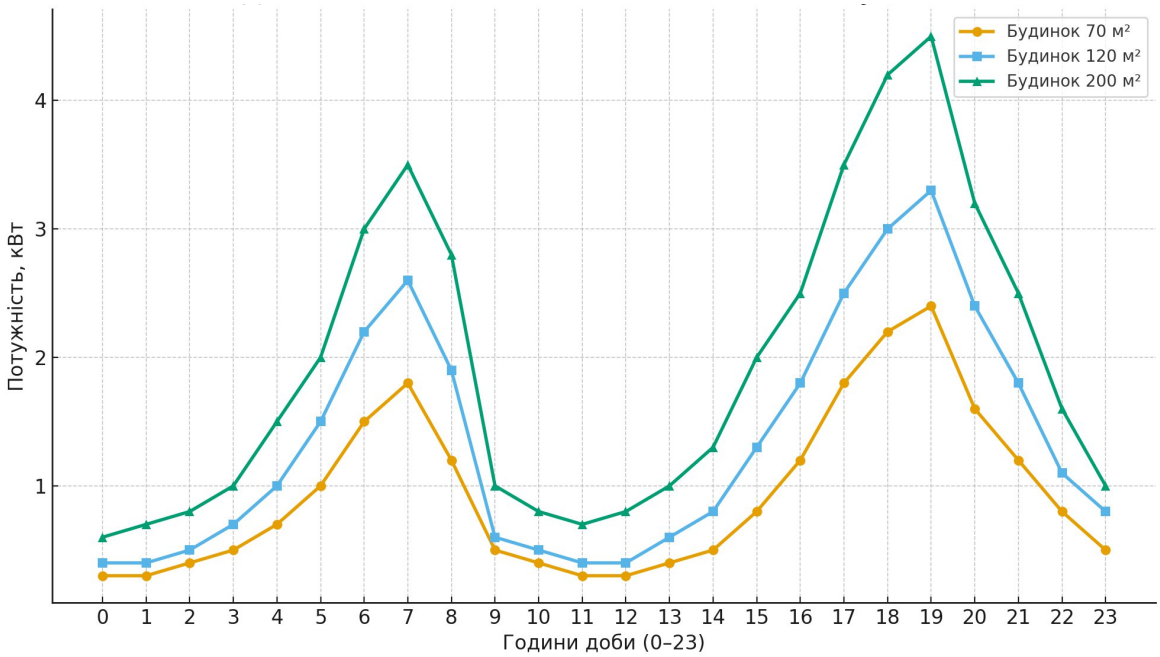


Рисунок 3.4 – Добове почасове навантаження будинків

Проведемо аналіз зміни електричного навантаження протягом доби для трьох типів житлових будинків площею 70 м², 120 м² та 200 м².

Добовий графік навантаження (рис 3.4) відображає зміну споживання електроенергії протягом доби залежно від площі будинку та кількості побутових приладів.

У нічний період (0:00–6:00) навантаження залишається мінімальним – від 0,3 до 1,5 кВт, працюють лише холодильник, бойлер (циклічно), насос опалення та мінімальне освітлення.

У ранковий період (6:00–9:00) спостерігається перший пік споживання. Потужність зростає до 1,8 кВт для будинку 70 м², 2,6 кВт для 120 м² та 3,5 кВт для 200 м². Це пояснюється одночасною роботою електрочайника, праски, мікрохвильової печі, телевізора, ноутбуків і бойлера.

У денний час (10:00–15:00) навантаження зменшується від 0,4 до 1,3 кВт, оскільки більшість мешканців відсутні вдома, працюють лише холодильник, кондиціонер, насоси опалення та базове освітлення.

Увечері (17:00–22:00) фіксується основний пік електроспоживання 2,4 кВт для 70 м², 3,3 кВт для 120 м² і 4,5 кВт для 200 м². Це зумовлено активною роботою побутових приладів (пральна машина, посудомийна, телевізор, освітлення, бойлер, кондиціонер).

Після 22:00 навантаження поступово спадає, залишаються працювати холодильник, бойлер і мінімальне освітлення.

Таким чином, добовий аналіз показує, що збільшення площі будинку прямо пропорційно підвищує рівень споживання електроенергії, особливо у вечірній період. Отримані дані дозволяють розрахувати пікові навантаження автономних систем живлення: 2,4 кВт для 70 м², 3,3 кВт для 120 м² і 4,5 кВт для 200 м². Це значення важливе при проектуванні систем сонячного живлення, паливних генераторів або інших резервних джерел.

Для більшої картини добового навантаження, зробимо ще детальний аналіз зміни електричного навантаження протягом доби у пікові зимові (рис 3.5) та літні періоди (рис 3.6).

Такий підхід дозволяє повніше оцінити залежність споживання електроенергії від пори року, температурних умов і побутових звичок

мешканців, а також визначити оптимальні режими роботи систем автономного енергозабезпечення.

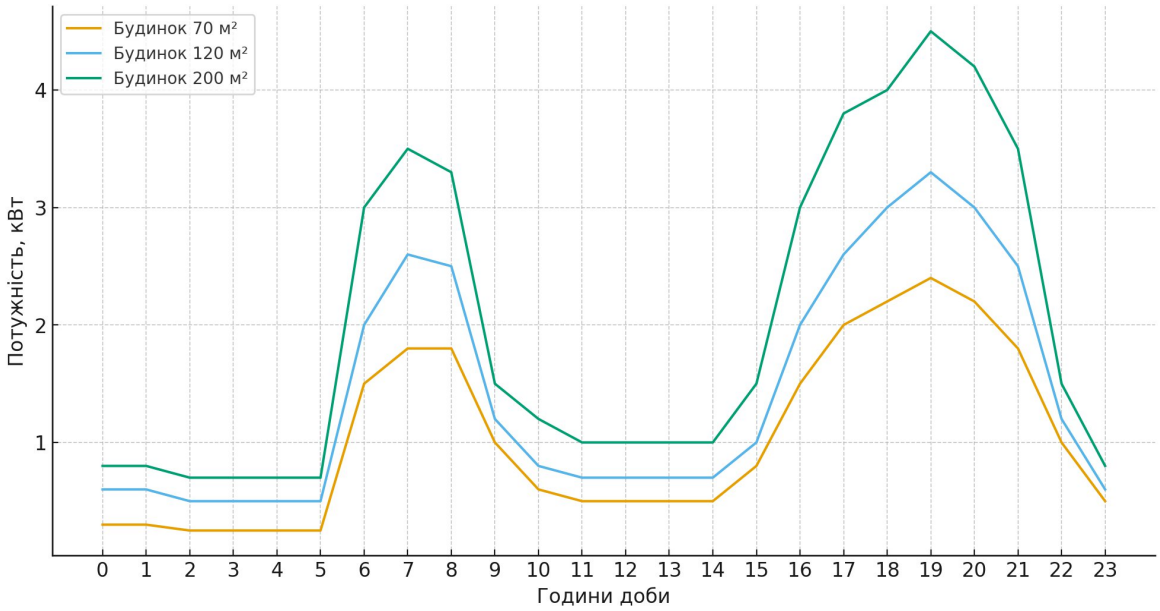


Рисунок 3.5 – Добове пікове почасове навантаження (Літній період)

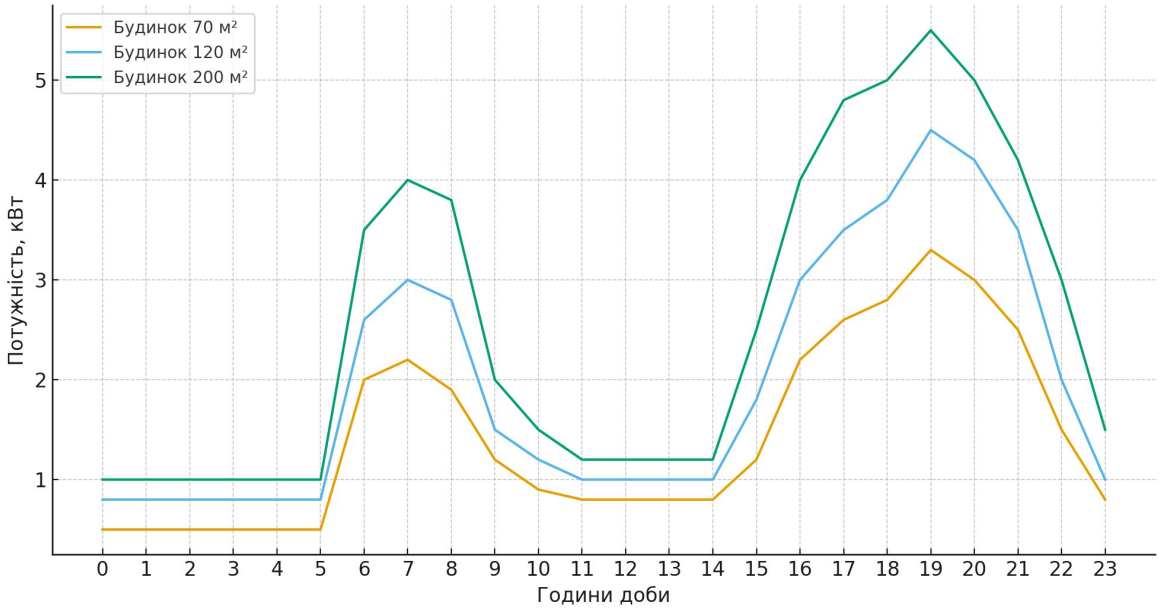


Рисунок 3.6 – Добове пікове почасове навантаження (Зимній період)

Ці графіки (рис.3.5 та рис.3.6) відображають зміну споживання електроенергії протягом 24 годин залежно від площі будинку, кількості побутових приладів, характеру їх використання та пори року. Що в них можна побачити.

У нічний період (з 0:00 до 5:00) навантаження залишається мінімальним – від 0,3 до 1,5 кВт. У цей час працюють лише холодильник, циркуляційний насос системи опалення (взимку), а також бойлер, який періодично нагріває воду. Освітлення мінімальне, більшість побутових приладів вимкнено. Для літнього періоду характерне ще менше навантаження вночі, близько 0,25–1,0 кВт, оскільки опалення не використовується, а бойлер працює рідше через вищу температуру води.

У ранкові години (6:00–9:00) спостерігається перший пік електроспоживання. Влітку ранкового навантаження додається кондиціонер, який вмикається в перші години після сходу сонця, коли температура починає зростати. Потужність зростає до 1,8 кВт для будинку 70 м², 2,6 кВт для 120 м² і 3,5 кВт для 200 м². Це пояснюється одночасною роботою електрочайника, мікрохвильової печі, праски, телевізора, ноутбуків та знову ж таки бойлера.

У зимовий період додаткове навантаження створюють системи опалення — електроконвектори або теплі підлоги. Денний проміжок часу (10:00–15:00) характеризується зниженням споживання електроенергії до 0,4–1,3 кВт, адже більшість мешканців відсутні вдома, працюють лише холодильники, насоси, охолодження або опалення в автоматичному режимі. У літній період середнє денне споживання дещо вище через активну роботу кондиціонерів, тоді як узимку воно стабільніше, але з помітними коливаннями, пов’язаними з автоматичною роботою опалювальних приладів.

Вечірній період (17:00–22:00) є найнапруженішим. Тут фіксується основний пік навантаження 2,4 кВт для будинку 70 м², 3,3 кВт для 120 м² і 4,5 кВт для 200 м². Це зумовлено активною роботою побутових приладів: пральної машини, посудомийної, освітлення, телевізорів, ноутбуків, бойлера та кондиціонера.

У зимовий час до цього додається електрообігрів приміщень, що може збільшити пікову потужність на 20–40 %, тоді як у літній період частина навантаження зміщується на денні години через кондиціонування.

Після 22:00 навантаження поступово зменшується: більшість приладів вимикається, залишаються працювати холодильник, бойлер (періодично) і насоси.

Отже, проведений аналіз показує, що збільшення площі будинку прямо пропорційно впливає на рівень споживання електроенергії, як у пікових, так і в середніх значеннях. У зимовий період спостерігається загальне підвищення добового споживання на 25–35 % у порівнянні з літнім, а пікове навантаження для великого будинку сягає 5,5–6,0 кВт проти 4,5 кВт улітку.

Такі результати мають важливе значення при проектуванні систем автономного електропостачання, зокрема, при визначенні потужності сонячних панелей, вітрових турбін, інверторів та акумуляторних батарей. Для ефективного використання енергії рекомендується:

– переносити роботу енергоємних приладів (пральної, посудомийної машин, бойлера) на нічний період, коли навантаження мінімальне;

– застосовувати акумуляторні системи накопичення енергії, які заряджаються вдень (від сонячних панелей) і забезпечують живлення в години пікового споживання;

– використовувати автоматичні системи керування навантаженням, які дозволяють рівномірніше розподіляти споживання протягом доби.

Таким чином, добовий аналіз підтверджує, що зимові пікові навантаження виникають у ранковий та вечірній час і пов’язані з опаленням та бойлерами, тоді як літні навантаження здебільшого з роботою кондиціонерів у денний період. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації структури гібридних енергосистем і розробки ефективних стратегій енергозбереження.

3.2.1 Енергоспоживання осінньо-зимового періоду під час екстрених відключень у 2025–2026

У реаліях осінньо-зимового періоду 2025–2026 років в Україні, через

масовані ракетні обстріли критичної енергетичної інфраструктури, значна частина регіонів країни працює в умовах почасових стабілізаційних відключень електроенергії. Для підтримання балансу в енергосистемі ймовірне запровадження 1–3 черг відключень тривалістю в середньому 3–4 години кожна, такий графік відключень може мати такі часові вікна (рис 3.7):

– 6:00–10:00 ранкове відключення;

– 15:00–19:00 денне відключення;

– 23:00–02:00 вечірнє відключення.

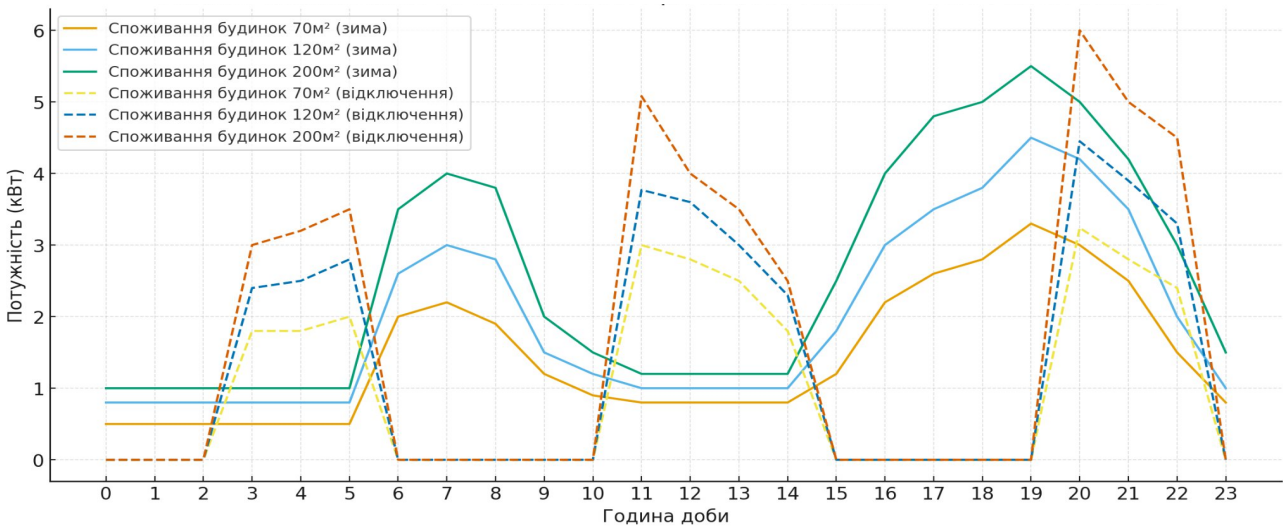


Рисунок 3.7 – Добове погодинне навантаження житлових будинків з урахуванням стабілізаційних відключень

Ці часові інтервали частково або повністю збігаються з природними піками електроспоживання в побутовому секторі, що значно впливає на характер графіка навантаження.

Під час відключення споживання електроенергії в будинках знижується до нуля, на графіку ці періоди позначені відсутністю лінії навантаження. Проте після відновлення електропостачання фіксується різкий стрибок споживання — компенсоване споживання після включення світла.

Це пояснюється тим, що мешканці відразу запускають енергоємні прилади (пральні та посудомийні машини, бойлери, обігрівачі,

електрочайники, освітлення, зарядні пристрої тощо). Таким чином, короткочасне зменшення навантаження під час відключення призводить до накопичення енергетичного попиту, який різко реалізується одразу після відновлення живлення.

На основі змодельованого графіка можна відзначити такі тенденції:

1. Ранковий пік (після 10:00) – споживання зростає на 35–40 % вище звичайного рівня, оскільки вмикаються бойлери, освітлення, електрочайники, кухонна техніка. У цей момент формується найвищий короткочасний імпульс навантаження на мережу, який може перевищувати 4,0–4,5 кВт для будинків 70,120 м² та понад 5,5 кВт для будинку 200 м².

2. Вечірній пік (після 19:00) – характерний повторний стрибок споживання, коли мешканці намагаються «наздогнати» побутові справи: запуск пральних і посудомийних машин, підігрів води, приготування їжі. Навантаження зростає на 15–20 % порівняно зі звичайним вечірним періодом.

3. Нічний пік (після 02:00) – хоча більшість користувачів вже спить, відновлення подачі електроенергії стимулює відкладене споживання: зарядка електропристроїв, робота бойлерів і обігрівачів. Навантаження підвищується на 2-3 рази, та утримується ще 1–2 години після включення.

Таким чином, реальні графіки споживання в умовах відключень мають імпульсний характер – замість рівномірної кривої формується серія коротких, але різких піків після кожного періоду знеструмлення. Це створює додаткове навантаження на енергосистему в моменти її відновлення, що може призводити до локальних перевантажень мереж, спрацьовування захисної автоматики та нерівномірного розподілу напруги.

З енергетичної точки зору, така поведінка користувачів потребує:

– оптимізації запуску побутових приладів після включення світла (поступовий запуск із затримкою 10–15 хвилин);

– застосування розумних систем керування енергією, які автоматично розподіляють споживання після відновлення живлення;

– використання систем автономного живлення (АКБ, інвертори,

генератори) для зменшення стрибків навантаження та забезпечення роботи критичних приладів під час відключення.

Отже, в умовах енергетичної нестабільності осені-зими 2025–2026 рр. важливо враховувати не лише середнє, а й динамічне навантаження після відновлення електропостачання. Це має бути ключовим параметром при розрахунку гібридних систем енергозабезпечення, які повинні витримувати короткочасні пікові перевантаження в 1,5–2 рази вищі за номінальне середнє споживання.

3.3. Критерії вибору джерел енергії

Вибір оптимальних джерел автономного енергозабезпечення для житлових будинків базується на аналізі природно-кліматичних умов регіону, доступності відновлюваних ресурсів та економічної доцільності впровадження енергетичних технологій. Для кожного регіону України існують специфічні особливості, що визначають частку участі окремих джерел у гібридній системі: сонячної, вітрової, гідроенергетичної та біоенергетичної.

Одеська область (південний регіон): Південна частина України має найвищий рівень сонячної активності, середня річна інсоляція становить 4,5–5,0 кВт·год/м²/день, що робить сонячні панелі основним джерелом електроенергії для автономної системи. Крім того, регіон характеризується стабільними помірними вітрами (у середньому 4–6 м/с), що дозволяє ефективно використовувати вітрові турбіни невеликої потужності (1,5–3 кВт) для забезпечення енергоспоживання у вечірній та нічний час. Враховуючи відсутність значних водних ресурсів, міні-ГЕС в Одеському регіоні маловероятна, однак може бути передбачено біогенератор як резервне джерело для компенсації дефіциту енергії у похмурі або безвітряні дні. Таким чином, оптимальна комбінація джерел для південного регіону становить приблизно (рис.3.8):

– сонячна енергія 60–65%;

– вітрова 25–30%;

– біоенергія 10–15%.

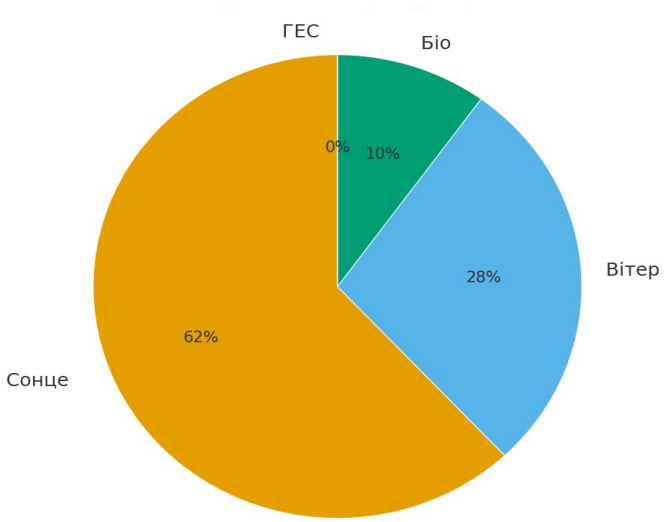


Рисунок 3.8 – Оптимальна комбінація джерел для південного регіону

Завдяки сприятливому клімату та високій сонячній активності, система в цьому регіоні потребує менших інвестицій у акумуляторні накопичувачі та резервні установки, що позитивно впливає на загальний бюджет проекту.

Полтавська область (центральний регіон). Центральна частина України характеризується помірною інсоляцією — 3,5–4,0 кВт·год/м²/день і стабільними вітрами середньої інтенсивності (3–4,5 м/с). У таких умовах сонячні панелі залишаються основним джерелом електроенергії, проте їхня ефективність знижується у зимовий період, що потребує підсилення системи вітрогенераторами та резервним біопаливним генератором.

Наявність дрібних річок та ставків відкриває можливість встановлення міні-гідроустановок, які здатні забезпечувати базове навантаження протягом доби.

Орієнтовний енергетичний розподіл у гібридній системі для центрального регіону може бути таким (рис.3.9):

– сонячна енергія 45–50%;

– вітрова 25%;

– гідроенергія 10–15%;

– біоенергія 15–20%.

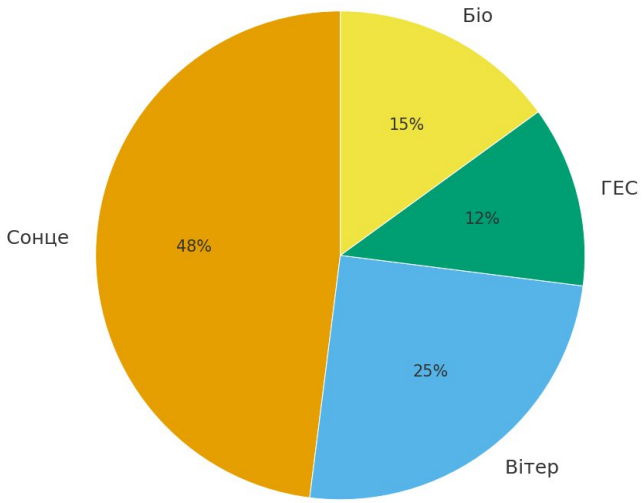


Рисунок 3.9 – Оптимальна комбінація джерел для центрального регіону

За бюджетними показниками, система для центрального регіону вимагає збалансованого підходу: необхідно передбачити більшу кількість акумуляторів, ніж у південному варіанті, але менше резервного біогенераторного обладнання, ніж у північних умовах.

Львівська область (північний регіон). Львівщина належить до регіонів із найменшою сонячною активністю, середня інсоляція становить лише 2,5–3,0 кВт·год/м²/день, проте тут спостерігаються стійкі вітри (у гірських і передгірських районах до 5–7 м/с) та наявні водні ресурси, придатні для встановлення міні-ГЕС. Це визначає доцільність переорієнтації системи на вітрову та гідроенергетику як основні джерела з меншою часткою сонячних панелей.

Для компенсації сезонних коливань та забезпечення стабільного живлення доцільно включити біогенератор, який може працювати на відходах сільського господарства чи твердому біопаливі.

Оптимальний розподіл енергетичних джерел для північного регіону може бути наступним (рис.3.10):

– вітрова енергія 40–45%;

– гідроенергія 25–30%;

– сонячна 20%;

– біоенергія 10–15%.

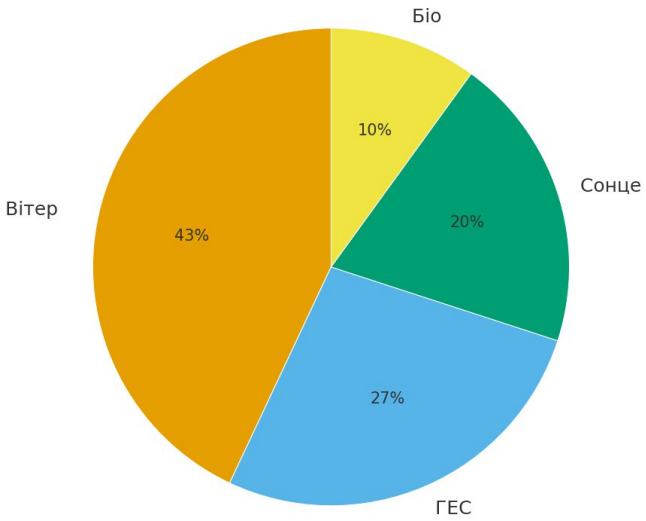


Рисунок 3.10 – Оптимальна комбінація джерел для центрального регіону

У зв’язку з нижчою ефективністю сонячної генерації та необхідністю використання більш потужних акумуляторних систем, проекти автономного енергозабезпечення у північних регіонах мають вищу вартість, проте забезпечують стабільну роботу системи навіть у зимовий період.

Таким чином, підбір джерел автономного енергозабезпечення має здійснюватися з урахуванням регіональних кліматичних умов, доступності природних ресурсів, економічної доцільності інвестицій, а також чинних правових вимог, екологічних та санітарних норм, що регламентують встановлення та експлуатацію енергетичного обладнання та охорону довкілля.

Будинки які ми розглядаємо в кваліфікаційній роботі знаходяться в міській забудові, де через щільну забудову та обмежену площу встановлення вітрових турбін, біостанцій і міні-ГЕС є недоцільним або неможливим, оскільки:

– відсутні вільні території для безпечного розміщення обладнання;

– санітарні норми шуму, вібрації та запахів не дозволяють експлуатацію поруч із житлом;

– міні-ГЕС потребує наявності водойми або русла струмка, яких у місті зазвичай немає;

– діють містобудівні обмеження та екологічні вимоги, що забороняють зміну ландшафту чи вплив на довкілля.

Тому в умовах міста найбільш реальним, економічно доцільним і безпечним варіантом автономного енергозабезпечення є встановлення сонячних панелей на дахах або прибудинкових територіях та паливного генератора.

У наведених прикладах із трьох регіонів площа сонячних панелей визначається пропорційно природно-кліматичним умовам, що впливають на рівень сонячної радіації в кожному регіоні.

4. АНАЛІЗ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

4.1 Аналіз та обґрунтування вибору обладнання для автономної енергосистеми житлових будинків

Сучасний етап розвитку автономних та гібридних енергетичних систем характеризується активним впровадженням високотехнологічного обладнання, до якого належать гібридні інвертори, фотогальванічні модулі (сонячні панелі), акумуляторні системи накопичення електроенергії та резервні паливні генератори. Формування надійної, стабільної та економічно доцільної системи енергозабезпечення житлових будинків потребує ретельного технічного аналізу доступних на ринку рішень та обґрунтованого вибору обладнання, що забезпечує високу ефективність перетворення енергії, довговічність, технологічну сумісність і можливість масштабування системи.

Особливо важливим є забезпечення повної взаємодії між ключовими елементами автономної енергосистеми, оскільки від сумісності інвертора, сонячних модулів, акумуляторної батареї та резервного генератора залежить стабільність роботи системи за умов змінного енергоспоживання, коливань напруги та інтенсивності сонячного випромінювання. Крім того, вибір обладнання повинен відповідати сучасним стандартам безпеки, вимогам до енергоефективності та нормативам щодо експлуатації в умовах українського клімату.

З огляду на вищезазначене, доцільним є аналіз пропозицій, представлених на ринку України, з метою визначення оптимальних виробників та моделей обладнання для побудови автономних систем енергозабезпечення житлових будинків різної площі. Проведений порівняльний огляд технічних характеристик, експлуатаційних параметрів, гарантійних показників та вартості дозволяє обґрунтувати вибір найбільш ефективного обладнання, що забезпечує стабільну роботу системи, її

довготривалу надійність та економічну доцільність у реальних умовах експлуатації.

4.2 Аналіз та вибір гібридних інверторів

Аналіз українського ринку гібридних інверторів показав, що найбільш поширени виробники в нас є Deye, Solax, Growatt, Sungrow, Victron, Huawei, Must. Вони відрізняються між собою технічними характеристиками, функціональністю, особливостями роботи з акумуляторними системами, якістю сервісної підтримки. Порівняння основних виробників гібридних інверторів представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняння основних виробників гібридних інверторів

Виробник	ККД	Режими роботи	Гібридність	Сумісність з АКБ	Характеристика
Deye	98.4-98.6%	On/Off-Grid/UPS	Повна	CAN/RS485, HV/LV	Найкраще співвідношення
Solax	96-98%	On/Off-Grid	Часткова	HV батареї	Вища ціна
Growatt	95-98.4%	On/Off-Grid	Середня	Обмежена	Бюджетне
Sungrow	98.7-99%	On/Off-Grid	Часткова	HV	Промисловий
Victron	93-97.5%	Off-Grid/UPS	Висока	LV, гнучка	Преміум стабільність
Huawei	97-98.6%	On/Off-Grid	Обмежена	Власні HV	AI-оптимізація
Must	95-97%	On/Off-Grid/UPS	Середня	LV/HV LiFePO4	Найбюджетніше рішення

Китайські виробники Deye, Solax, Growatt та Must займають найбільшу частку ринку побутових гібридних систем завдяки оптимальному співвідношенню вартості та функціональності. Victron Energy представляє преміальний сегмент із надзвичайно високою стабільністю та масштабованістю, однак вартість повної системи значно перевищує середній бюджет побутових проектів. Huawei демонструє високу якість і довговічність, але їх лінійка має обмежений гібридний режим та меншу гнучкість у роботі з акумуляторами сторонніх виробників. Must — бюджетний китайський бренд з моделями 3-10 кВт (PV18000 VHM3035), простою установкою та сумісністю з популярними LiFePO4, але нижчим ККД, малий ресурс, менша якість зборки та компонентів та базовим моніторингом порівняно з іншими.

Головними критеріями вибору інверторів для автономних систем житлових будинків є ефективність не менше 97%, наявність MPPT-трекерів, можливість роботи в режимах on-grid, off-grid та UPS, підтримка високовольтних акумуляторів, сумісність із протоколами CAN/RS485, можливість паралельної роботи, наявність сервісу в Україні та стійкість до перевантажень.

З урахуванням зазначених характеристик оптимальним рішенням для автономного електропостачання приватних будинків є інвертори фірми Deye. Інвертори Deye здатні стабільно працювати з фотомодулями високої напруги та є оптимальним рішенням для систем, де значна частка електроенергії виробляється сонячними панелями.

Серія Deye представлена широким модельним рядом гібридних інверторів, що підтримують як LP (Low Voltage), так і HV (High Voltage) батареї. Моделі LP призначені для роботи з низьковольтними акумуляторами (зазвичай 40–60 В), вони більш універсальні, дешевше, простіше і сумісни з найбільш популярними інтерторами (Growatt SPH, Victron, Must, Voltronic, Axioma). Тоді як HV-моделі забезпечують сумісність з батареями високої напруги (зазвичай 200–600 В), що дозволяє підключати більші акумуляторні системи та зменшувати струм у кабелях, але мають основні недоліки, це вищі ціна, складніший сервіс

Для приватних будинків, розглянутих у кваліфікаційній роботі, найбільш доцільним є використання моделей серії SG04LP3, які добре зарекомендували себе на ринку. Ця серія підтримує низьковольтні акумуляторні батареї (40–60 В), забезпечує ефективне відстеження максимальної потужності сонячних панелей через 1–2 MPPT (з можливістю інтеграції декількох груп панелей з різним орієнтуванням) та дозволяє організувати як однофазне, так і трифазне підключення. Завдяки високій ефективності інвертора (до 97,6 %) та широкому діапазону вхідної напруги MPPT досягається максимальне використання сонячної енергії протягом доби, що забезпечує стабільну та ефективну роботу автономної енергосистеми.

4.3. Обгрунтування вибору фотогальванічних модулі

Сучасний український ринок фотогальванічних модулів характеризується значною конкуренцією серед виробників, що пропонують високоефективні монокристалічні модулі, оптимізовані для приватних та промислових систем електропостачання. Провідні позиції займають такі компанії, як LONGi Solar, JA Solar, JinkoSolar, Canadian Solar та Trina Solar, які формують основну частку світового і українського ринку постачання фотомодулів. Ці виробники стабільно демонструють високі показники коефіцієнта корисної дії, низьку деградацію та відповідність міжнародним стандартам IEC. Порівняльний аналіз основних виробників наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняння основних виробників сонячних модулів

Виробник	ККД модулів	Технологія	Деградація	Орієнтовна ціна (грн)
LONGi	21–23%	PERC / n-type	≤0,4%/рік	4300–4700
JA Solar	20,5–21,5%	PERC	≤0,55%/рік	4000–4500
JinkoSolar	20–22%	PERC / HOT	≤0,5%/рік	4100–4600
Canadian Solar	19–21%	PERC	≤0,55%/рік	4800–5200

Trina Solar	20–22,5%	Vertex PERC	≤0,5%/рік	4600–5000

Щоб обрати виробника фотомодулів для наших проектів, звернемо увагу на такі параметри як:

– стабільність роботи в умовах високих температур;

– мінімальний рівень деградації;

– технологія виготовлення кремнію;

– гарантійні зобов’язання виробника;

– сумісність з високовольтними гібридними інверторами (наприклад, Deye, SMA, Huawei);

– наявність офіційної підтримки в Україні.

Аналіз зведених характеристик показує, що модулі компанії LONGi Solar демонструють найкраще співвідношення ефективності, ціни та довговічності. Саме LONGi є світовим лідером з виробництва монокристалічних пластин і одним із головних розробників технологій PERC та TOPCon. Технологія PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) передбачає застосування пасивованого заднього шару, який зменшує рекомбінаційні втрати та підвищує поглинання світла, що призводить до збільшення коефіцієнта корисної дії та покращеної роботи за низької освітленості. У свою чергу, технологія TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact) базується на використанні тонкого тунельного оксидного шару та пасивованих контактів, що забезпечує значно вищу ефективність перетворення, менші температурні втрати та підвищену стабільність електричних параметрів упродовж усього життєвого циклу модуля. Завдяки застосуванню цих технологій модулі LONGi характеризуються однією з найнижчих норм деградації — до 0,4%/рік, що є критично важливим для систем, розрахованих на тривалу автономну експлуатацію.

У зв’язку з цим основним виробником, на базі якого здійснюється подальший вибір фотомодуля, обрано LONGi Solar.

Щоб вибрати, який фотомодуль будемо використовувати в наших проектах, проаналізуємо асортимент лінійки фотомодулів компанії LONGI Solar в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Порівняльна таблиця лінійки фотомодулів LONGI Solar

Параметр	Hi-MO 4 (PERC)	Hi-MO 5 (Half-Cell)	Hi-MO 6 (HPBC / n-type)	Hi-MO 7 (TOPCon)
Технологія кремнію	p-type PERC	p-type Half-Cell	n-type HPBC	n-type TOPCon
ККД	19–20,6%	20,5–21,5%	до 23%	22–23,2%
Деградація 1-го року	~2%	1,50%	≤1%	≤1%
Лінійна деградація/рік	~0,55%	0,45%	0,40%	0,35–0,4%
Підсумкова деградація за 25–30 років	~15%	12–13%	10–11%	8–10%
Температурний коефіцієнт Pmax	−0,35…−0,37%/°C	−0,34%/°C	−0,30%/°C	−0,29…−0,30%/°C
Робота при високих температурах	середня	висока	дуже висока	найкраща
Робота при низькому освітленні	добра	дуже добра	відмінна	відмінна
Стійкість до затінення	середня	висока (Half-Cell)	висока	висока
Сумісність з HV-інверторами (Deye, SMA, Huawei)	так	так	так	так
Гарантія	12 років продукт / 25 років потужність	12 років продукт / 25 років потужність	15 років продукт / 30 років потужність	15–25 років продукт / 30 років потужність
Ціновий діапазон	найнижчий	середній	високий	високий

Для автономних систем житлових будинків критично важливою є не лише ефективність фотомодулів, але й їх надійність, стійкість до температурних впливів, деградації, а також сумісність з гібридними інверторами. Враховуючи ці критерії, а також найкращий баланс між ціною, оптимальним вибором є модулі лінейки Hi-MO 5 - LONGi LR5-54HPH-415M, які поєднують високу ефективність (21,3%), мінімальну деградацію (≤1,5% у перший рік та ≤0,4% щорічно), використання Half-Cell технології та підтверджену сумісність з лінійкою інверторів Deye. Сукупність цих характеристик забезпечує найкраще поєднання «ціна – ефективність – надійність» серед доступних на українському ринку рішень.

4.4 Доцільність застосування літій-залізо-фосфатних акумуляторів

Для формування автономної системи енергозабезпечення в розглядаємих в кваліфікаційній роботі приватних будинків, оснащених гібридними інверторами серії Deye SG04LP3, доцільно використовувати літій-залізо-фосфатні ($LiFePO_4$) модулі ємністю приблизно 5 кВт·год. Основними критеріями вибору акумуляторів є хімічний склад $LiFePO_4$, ресурс не менше 6000 циклів при глибині розряду 80 %, можливість паралельного з’єднання, наявність надійної системи управління батареєю (BMS), відповідність міжнародним сертифікатам та повна сумісність із протоколами інвертора.

Використання модулів ємністю 5 кВт·год обумовлене їхньою гнучкістю у масштабуванні системи, що дозволяє формувати сумарну ємність батарейної системи відповідно до потреб конкретного будинку. Для невеликих будинків достатньо одного–двох модулів, тоді як для будинків більшої площі можливе паралельне підключення декількох модулів для забезпечення необхідної автономності. Низьковольтні модулі (48–51 В) оптимально інтегруються з гібридними інверторами LP-серії, що забезпечує ефективне відстеження максимальної потужності сонячних панелей та стабільну роботу

зарядно-розрядних циклів. Крім того, модулі середньої ємності є зручними для монтажу, транспортування та технічного обслуговування у порівнянні з високовольтними батареями великої ємності. Використання акумуляторних модулів по 5 кВт·год також забезпечує легке масштабування та резервування, дозволяючи додавати нові модулі у разі підвищення потреб споживача або збільшення потужності генерації сонячних панелей.

На українському ринку найбільш поширеними виробниками низьковольтних модулів з літій-залізо-фосфатних акумуляторів ($LiFePO_4$) ємністю 5кВт є: HinaESS, Pylontech, Dyness, Deye та Must. HinaESS, Pylontech і Dyness представлені в середньому бюджетному сегменті, забезпечуючи оптимальне співвідношення ресурсу та вартості. Акумуляторні модул івиробництва Deye відзначаються високим рівнем інтеграції з інверторами цієї ж марки, підтримують штатний CAN-протокол та дозволяють реалізувати високовольтні конфігурації без додаткових адаптерів.

Порівняння основних виробників акумуляторних модулів 5 кВт на базі літій-залізо-фосфатних акумуляторів ($LiFePO_4$) представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Порівняння основних виробників акумуляторних модулів 5 кВт на базі літій-залізо-фосфатних акумуляторів ($LiFePO_4$)

Виробник	Ємність модуля	Кількість циклів	Сумісність	Орієнтовна ціна
Deye SE-G5.1 Pro-B	5,12 кВт·год	6000+	Ідеальна (Deye CAN)	35–45 тис. грн
Pylontech US5000	4,8 кВт·год	6000+	Дуже висока	35–45 тис. грн
Dyness BX51100	5,1 кВт·год	6000	Висока	38–44 тис. грн
HinaESS HI-5	5,12 кВт·год	6000	Висока	38–46 тис. грн
Must LP16-48100	5 кВт·год	5000–6000	Середня	35–40тис. грн

Таким чином, Deye SE-G5.1 Pro-B є збалансованим рішенням: він поєднує безпеку, надійність, модульність, високу продуктивність та повну інтеграцію з обраними інверторами, що робить його оптимальним вибором для систем автономного енергозабезпечення приватних будинків.

4.5. Методика вибору інверторного генератора

Забезпечення надійного резервного електроживлення є ключовим елементом автономних систем енергопостачання житлових будинків, особливо у випадках тривалих або частих відключень централізованої електромережі. Для стабільної роботи гібридних інверторів, зокрема серії Deye SG04LP3, резервний генератор має відповідати ряду критичних вимог: видача синусоїдальної напруги без спотворень, підтримка коректної частоти, сумісність з автоматичним запуском (ATS), достатня пікова та номінальна потужність, а також можливість роботи в однофазних та трифазних системах.

Для формування обґрунтованого вибору зробимо аналіз основних світових виробників інверторних генераторів, продукція яких доступна на українському ринку в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Порівняння виробників інверторних генераторів

Виробник	Потужність, кВт	Тип виходу	Наявність ATS	Моторесурс, год	Ціна, грн	Переваги	Недоліки
Honda	5–7	Інвертор, чиста синусоїда	Обмежена	2000+	120–150 тис.	Висока надійність, мінімальний шум, стабільний вихід	Висока ціна, мало ATS-моделей
Yamaha	5–6,3	Інвертор, чиста синусоїда	Обмежена	2000	110–140 тис.	Ефективний двигун, стабільна напруга	Висока вартість, обмежена трифазна лінійка
Konner & Sohnen	3–8,5	Інвертор, чиста синусоїда	Є (вбудований ATS у деяких моделях)	1500	30–63 тис.	Оптимальна ціна/функціональність, інвертор, ATS, 1/3 фази	Деякі моделі не трифазні, моторесурс менший
Kipor / OEM	5–7	Інвертор, чиста синусоїда	Рідко	800	28–32 тис.	Доступна ціна	Менша надійність, слабкий сервіс, рідко ATS

На основі проведеного аналізу можемо зробити висновок, що оптимальним виробником для автономної резервної системи електроживлення є Konner & Sohnen, оскільки ця компанія пропонує інверторні генератори середнього цінового сегмента із підтримкою ATS, інверторним виходом із чистою синусоїдою та можливістю роботи у трифазних мережах. На відміну від преміальних виробників (Honda, Yamaha), техніка Konner & Sohnen має нижчу вартість при збереженні необхідного рівня надійності та сумісності з сучасними гібридними інверторами.

Для забезпечення резервного живлення приватних будинків, що розглядаються в кваліфікаційній роботі, нам потрібен інверторний генератор потужністю не менше 5–6 кВт для підтримки критичних навантажень, або 7–8 кВт — для повного резервування системи. Для визначення потрібної моделей Konner & Sohnen, зробимо аналіз модельного ряду Konner & Sohnen у діапазоні потужності 5–9 кВт в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Порівняння модельного ряду інверторних генераторів Konner & Sohnen (5–9 кВт)

Модель	Фазність	Максимальна потужність	Наявність ATS
KS 6000iE S	1-фазна, 230 В	~5,5 кВт	Немає (ATS додається окремо)
KS 7000E ATS	1-фазна, 230 В	~7,0 кВт	Є ATS
KS 8100iE ATSR (1/3)	1/3 фази, 230/400 В	8,5 кВт	ATS у стандартній комплектації

Проведений порівняльний аналіз дозволив визначити, що найбільш доцільним вибором для організації резервного електроживлення є інверторний генератор Konner & Sohnen KS 8100iE ATSR. Ця модель відрізняється потрібними нам технічними характеристиками, які забезпечують ефективну та надійну роботу автономної енергосистеми.

Зокрема, генератор підтримує трифазну сумісність та режим роботи 1/3 фази (VTS-технологія), що дозволяє його використання у системах різної архітектури: як у однофазних мережах житлових будинків, так і у трифазних або змішаних конфігураціях. Номінальна потужність 8,5 кВт забезпечує можливість повного резервного живлення будинків площею від 70 до 200 м², що відповідає розглядаємим технічним потребам.

Важливою перевагою є наявність автоматичного запуску (ATS), який гарантує безперебійну роботу системи та миттєвий перехід на резервне живлення у випадку відключення централізованої мережі без втручання користувача. Крім того, застосування інверторної технології забезпечує стабільну синусоїдальну форму напруги, що дозволяє ефективно інтегрувати генератор з гібридними інверторами Deye та акумуляторними батареями.

Модель також підтримує економічний режим роботи, що зменшує витрату палива при часткових навантаженнях, та має офіційну дистрибуцію на території України, що забезпечує доступ до сервісного обслуговування та запчастин.

5. ПРОЕКТУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

5.1. Проектування автономної енергосистеми для житлових будинків

Для забезпечення енергетичної незалежності житлових будинків у різних кліматичних умовах, які ми розглядаємо в кваліфікаційній роботі (Одеська, Полтавська, та Львівська області), була розроблена автономна система живлення, що поєднує сонячні панелі, гібридний інвертор Deye, акумуляторний енергоблок та резервний бензиновий інверторний генератор Konner&Sohnen KS 8100iE ATSR (230 В, 8.5 кВт). Система забезпечує цілодобове живлення будинку навіть у зимовий період та похмурі дні завдяки резервному генератору, який автоматично вмикається у разі нестачі сонячної генерації або розряду акумуляторів (рис.5.1).

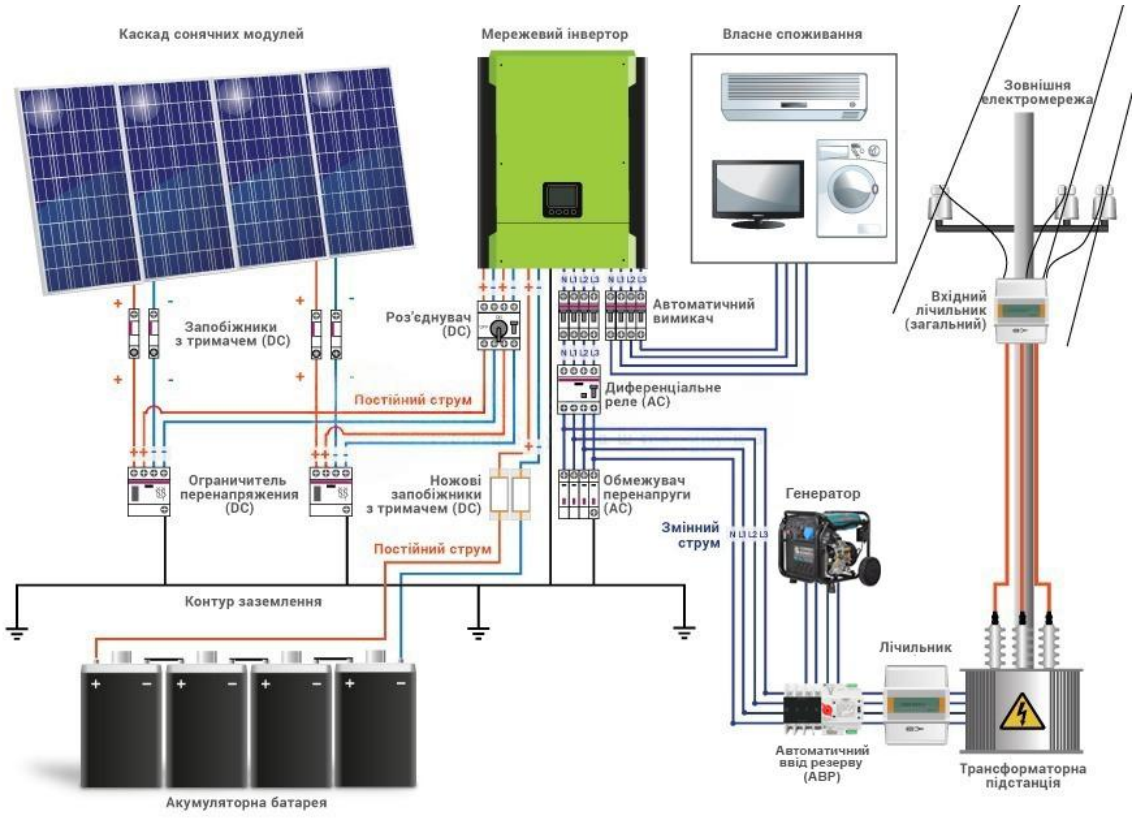


Рисунок 5.1 – Типова схема автономної енергосистеми будинку

На основі даних, які ми проаналізували в роботі, маємо такі вхідні дані для розрахунків нашої автономної системи для трьох будинків (70 м², 120 м² та 200 м²):

Орієнтовне добове та річне споживання буде:

– Будинок 70 м²: 21,40 кВт·год/доба → ~7 811 кВт·год/рік

– Будинок 120 м²: 21,64 кВт·год/доба → ~7 900 кВт·год/рік

– Будинок 200 м²: 27,77 кВт·год/доба → ~10 140 кВт·год/рік

Річний сонячний потенціал:

– Південь (Одеська область) — 5500 кВт·год/м²;

– Центр (Полтавска область) — 4750 кВт·год/м²;

– Північний захід (Львівська область) — 3600 кВт·год/м².

Для проекту будемом використано сонячні модулі LONGi Solar LR5-54HPH-415M, потужністю 415 Вт кожен, із ККД 21,3 %.

Розрахуємо енергію, яка буде вироблена модулем протягом року за формулою:

$$Емодуль=H\cdot\eta\cdot0,85$$

де

H- річний сонячний потеціал (кВт*год/м^2)

η - ККД модуля (0,213)

0,85 - коефіцієнт системних втрат

Виходячи з цих даних, річна генерація одного модуля становить:

– Одеська область — 996 кВт·год/рік

– Полтавська область — 860 кВт·год/рік

– Львівська область — 651 кВт·год/рік

Якщо умовно прийняти, що зимова генерація становить лише 25 % від літнього максимуму, для повного покриття річного споживання сонячна потужність мала б бути збільшена у 4 рази. Однак така конфігурація призводить до надмірного збільшення кількості панелей, потребує значної покрівельної площі, значного росту вартості системи та перевищення

можливостей інверторів. Тому для забезпечення економічної доцільності й було прийнято компромісне рішення: планувати зимову генерацію у 2 рази більшою за річне споживання, а дефіцит у зимовий період компенсувати акумуляторною системою та резервним генератором. Такий підхід дозволяє ефективно покрити основне споживання електроенергії у літній та міжсезонний періоди без надмірних витрат.

Розрахунок необхідної енергії для зимового періоду:

– Будинок 70 м²: 7 811 кВт·год/рік * 2 = 15622 кВт·год/рік

– Будинок 120 м²: 7 900 кВт·год/рік * 2 = 15800 кВт·год/рік

– Будинок 200 м²: 10 140 кВт·год/рік * 2 = 20280 кВт·год/рік

Приблизну кількість сонячних панелей для покриття зимового споживання прорахуємо в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Приблизну кількість сонячних панелей для покриття зимового споживання

Будинок (м²)	Одеська обл. сон. панелі(шт)	Полтавська обл. сон. панелі(шт)	Львівська обл. сон. панелі(шт)
70	15622 / 996 ≈ 16	15622 / 860 ≈ 18	15622/ 651 ≈ 24
120	15800 / 996 ≈ 16	15800 / 860 ≈ 18	15800 / 651 ≈ 24
200	20280 / 996 ≈ 20	20280 / 860 ≈ 24	20280 / 651 ≈ 32

Взявши оптимізовану кількість сонячних панелей з таблиці 5.1 прорахуємо загальну потужність PV для кожного будинку та регіону в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Кількість та загальна потужність встановлених сонячних панелей на кожному будинку

Регіон, обл.	Будинок	Кількість панелей	
Одеська	70 м²	16	6,64
Полтавська	70 м²	18	7,47
Львівська	70 м²	24	9,96
Одеська	120 м²	16	6,64
Полтавська	120 м²	18	7,47
Львівська	120 м²	24	9,96
Одеська	200 м²	20	8,3
Полтавська	200 м²	24	9,96
Львівська	200 м²	32	13,28

З урахуванням пікових навантажень та встановленої потужності сонячних панелей, розраховуємо потужність гібридних інверторів фірми Deye моделей серії SG04LP3 (табл 5.3).

Таблиця 5.3 – Вибір потужності гібридного інвертора для автономної енергосистеми будинків

Будинок	Потужність PV, кВт	Модель інвертора Deye
70 м²	6–9	Deye SUN-8K-SG04LP3-EU
120 м²	8–10	Deye SUN-10K-SG04LP3-EU
200 м²	9–13	Deye SUN-12K-SG04LP3-EU

Інвертори Deye підтримують роботу в гібридному режимі: одночасно від сонячних панелей, акумуляторів і мережі. Вони забезпечують високу ефективність (до 97,6%) та можливість підключення як до трифазної, так і однофазної мережі.

Для безперервного живлення у нічний час і з урахуванням 30 % запасу (для збільшення терміну служби), розрахунок ємності акумуляторів виконано за формулою:

$$Еакб = Едобове \times 1.3$$

На основі отриманих параметрів навантаження, та потрібної ємності визначимо оптимальну кількість акумуляторних батарей Deye SE-G5.1 Pro-B, які будуть використовуватись для накопичення електроенергії (таблиця 5.4)

Таблиця 5.3 – Оптимальна кількість акумуляторних батарей Deye SE-G5.1 Pro-B для автономної енергосистеми будинків

Будинок	Добове споживання, кВт·год	Необхідна ємність АКБ, кВт·год	Рекомендована конфігурація
70 м²	21,4	28	6×Deye SE-G5.1 Pro-B (5.12 кВт·год)
120 м²	21,6	28,5	6× Deye SE-G5.1 Pro-B (5.12 кВт·год)
200 м²	27,8	36,1	8×Deye SE-G5.1 Pro-B (5.12 кВт·год)

Як резерв використовується бензиновий інверторний генератор Konner & Sohnen KS 8100iE ATSR, з автоматичним запуском (ATS) і вихідною потужністю 8.5 кВт, який забезпечує живлення системи у зимові періоди або похмурі дні при недостатній генерації сонячних панелей. Завдяки інверторній технології генератор сумісний із гібридними інверторами Deye і має стабільну синусоїдальну форму напруги.

Розроблена автономна система живлення забезпечує стабільне енергопостачання трьох типів житлових будинків у різних регіонах України. Використання сучасних фотомодулів, гібридного інвертора Deye та

інтелектуального керування зарядом/розрядом акумуляторів дозволяє мінімізувати використання палива генератора та повністю забезпечити будинки енергією відновлюваних джерел протягом більшої частини року. Запас енергії в АКБ на одну добу з 30 % резервом гарантує автономність навіть у періоди низької сонячної активності.

5.2. Дослідження роботи системи автономного енергозабезпечення в літній та зимовий періоди

Для житлових будинків, що розглядаються у роботі (див. розділ 3) проведемо моделювання роботи автономної енергосистеми, що складається з обраних засобів поданих у розділі 4.

На наведених графіках представлено добову динаміку споживання та генерації електроенергії в літній та зимовий періоди для кожного з досліджуваних регіонів і типов розмірів житлових будинків. Зокрема, для Одеської області наведено графіки літнього (рис. 5.2) та зимового (рис. 5.3) періодів; для Полтавської області – відповідно рис. 5.4 (літо) та рис. 5.5 (зима); для Львівської області – рис. 5.6 (літо) та рис. 5.7 (зима). Представлені дані дозволяють порівняти особливості добового навантаження та потенційної генерації в різних кліматичних умовах.

Аналіз проводиться з урахуванням реальних умов сонячної активності, температурного режиму та інтенсивності споживання, що впливають на ефективність сонячних панелей та загальний баланс енергосистеми.

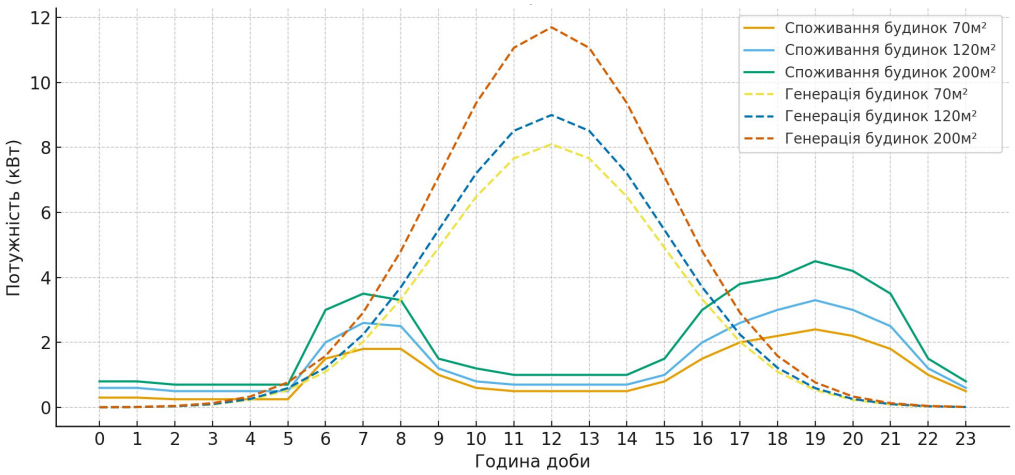


Рисунок 5.2 – Динаміка споживання та генерації електроенергії в літній період – Одеська область

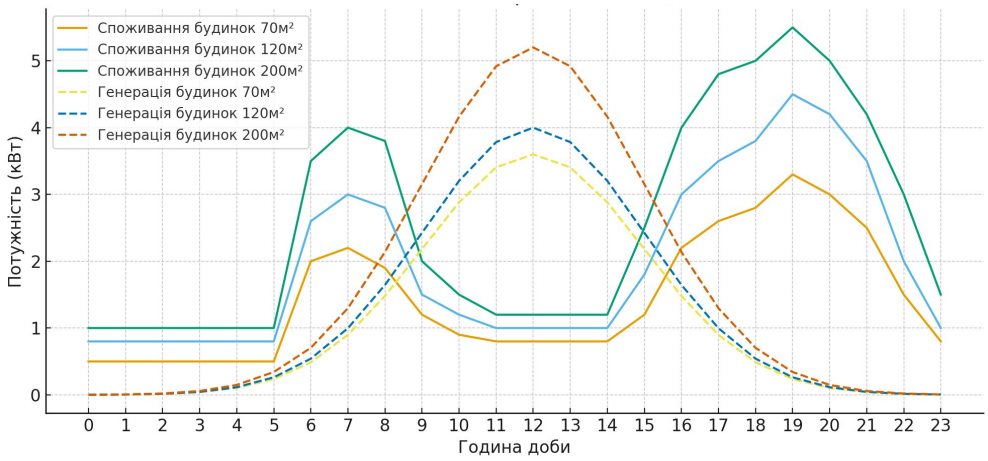


Рисунок 5.2 – Динаміка споживання та генерації електроенергії в зимовий період – Одеська область

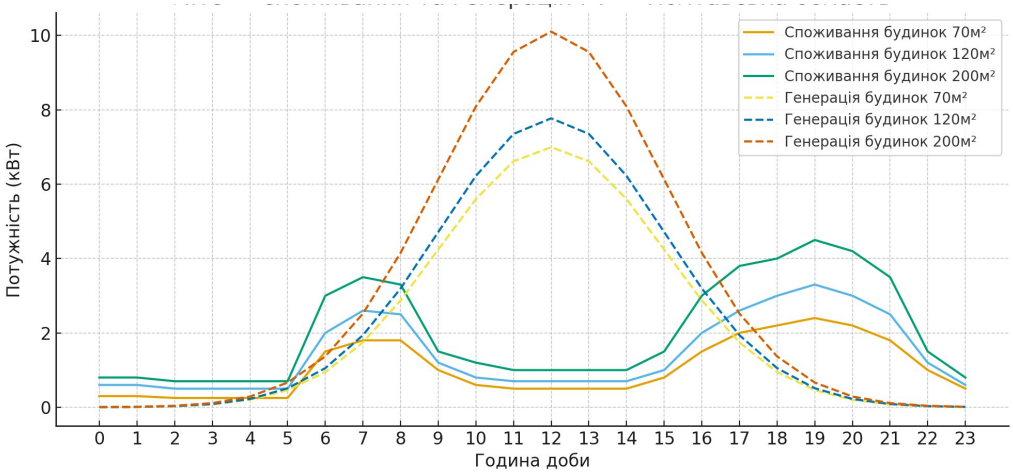


Рисунок 5.3 – Динаміка споживання та генерації електроенергії в літній період – Полтавська область

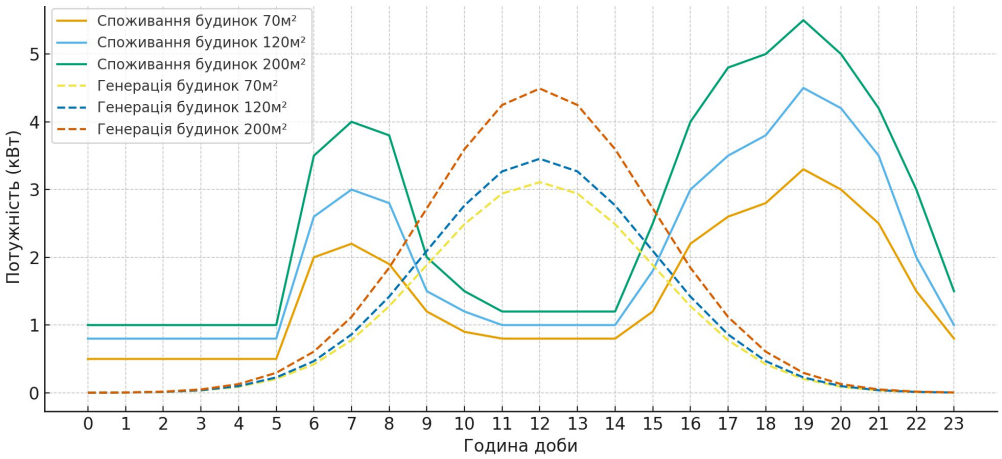


Рисунок 5.4 – Динаміка споживання та генерації електроенергії в зимовий період – Полтавська область

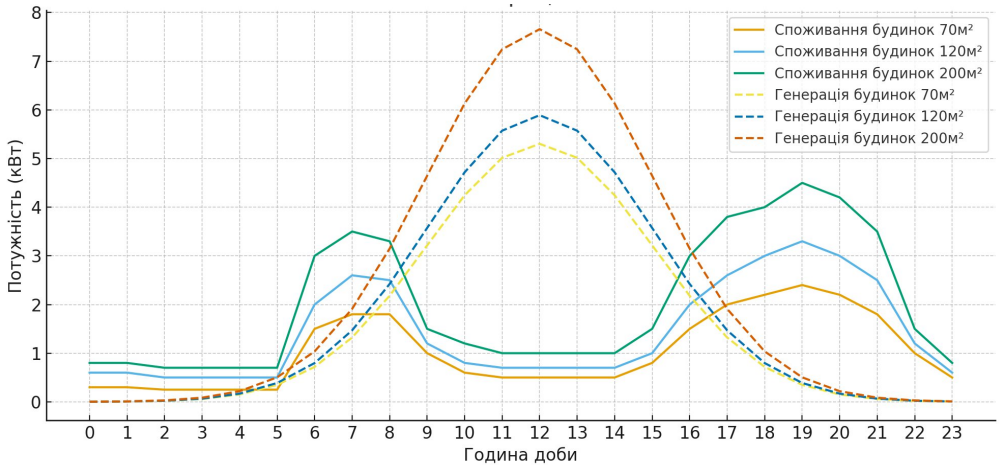


Рисунок 5.5 – Динаміка споживання та генерації електроенергії в літній період – Львівська область

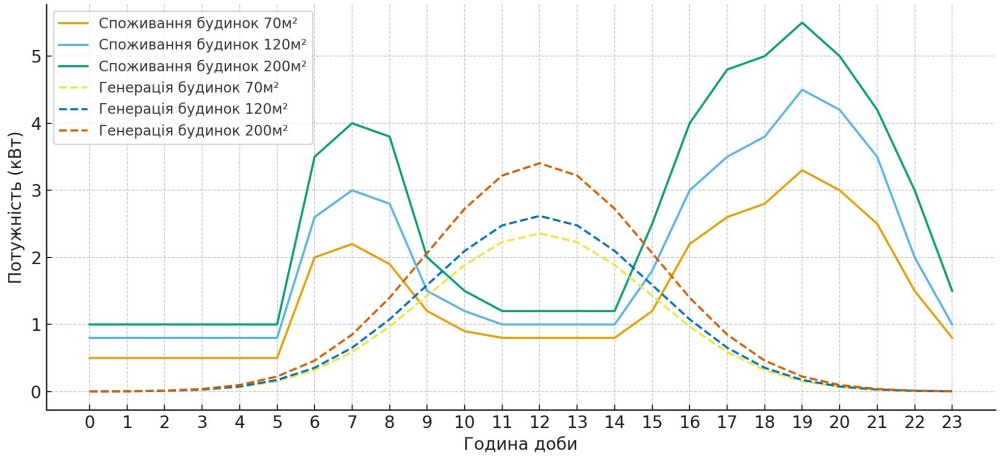


Рисунок 5.6 – Динаміка споживання та генерації електроенергії в зимовий період – Львівська область

У літній період (червень–серпень) характерним є надлишок генерації в денні години – з 9:00 до 17:00. Енергія, яку виробляють сонячні панелі, не лише покриває поточне споживання, але й забезпечує заряд акумуляторів, формуючи повну енергетичну автономність системи без необхідності роботи генератора.

У зимовий період (грудень–лютий) спостерігається значне зниження виробітку через короткий світловий день, низький рівень сонячної радіації та обмерзання поверхні панелей. У цей час середня денна генерація становить 20–30% від літнього максимуму. Внаслідок цього виникає дефіцит енергії, який компенсується акумуляторами, а при їх розряді автоматично запускається резервний генератор.

На графіках чітко видно, що:

– У південному регіоні (Одеська область) енергетична система демонструє найкращу ефективність – генерація сонячних панелей покриває до 80–90% добової потреби навіть у зимові місяці.

– У центральному регіоні (Полтавська область) спостерігається балансова модель: улітку формується профіцит, який може бути використаний для накопичення енергії, а взимку генератор працює близько 1-2 годин на добу.

– У північному регіоні (Львівська область) автономна система в зимовий час працює із більшою участю генератора 3-4 години на добу, через нижчий рівень сонячної інсоляції.

Отримані результати свідчать, що впровадження гібридної системи енергозабезпечення із використанням сонячних панелей, акумуляторів та резервного генератора дозволяє забезпечити повну автономність житлових будинків незалежно від підключення до централізованої електромережі. У літній період така система працює повністю покриваючи потреби будинків, без залучення палива, а в зимовий – з мінімальним використанням генератора, що значно скорочує витрати на електроенергію та підвищує енергетичну безпеку об’єкта.

Таким чином, запропонована модель може бути ефективно використана в умовах України, зокрема в осінньо-зимовий період 2025-2026 рр., коли можливі перебої в роботі енергосистеми через аварійні чи стабілізаційні відключення.

5.3. Основи компоновки та безпечного монтажу системи автономного енергозабезпечення

Для того щоб система автономного електрозабезпечення працювала ефективно та безпечно, важливо не лише правильно підібрати обладнання, а й грамотно його встановити з дотриманням усіх технічних та електро безпекових вимог.

Сонячні панелі слід встановлювати на даху будівлі або на окремих металевих конструкціях, орієнтованих на південь, під оптимальним кутом нахилу (зазвичай 30–35°). Конструкція повинна бути міцною, стійкою до вітру, снігу та інших погодних умов. Усі кабелі від панелей мають бути надійно ізольовані, прокладені у захисних гофрованих трубах і закріплені з урахуванням температурних коливань.

Інвертор та акумуляторні батареї доцільно розміщувати в окремому технічному приміщенні, яке добре провітрюється, не має прямого сонячного освітлення та захищене від вологи. Встановлення інвертора має бути виконане на вертикальній поверхні (стіна або спеціальна панель) на висоті, зручній для обслуговування. Відстань від інвертора до акумуляторів має бути мінімальною для зменшення втрат енергії.

Акумулятори LiFePO4 мають бути встановлені на горизонтальній стійкій поверхні в одному рівні. Вони не повинні перегріватися, тому важливе дотримання температурного режиму та вентиляції. Між модулями має бути достатній простір для циркуляції повітря.

Генератор встановлюється на відкритому повітрі або в добре провітрюваному підвалі, захищеному від дощу та прямих сонячних променів. Важливо дотримуватися безпечної відстані до стін, вікон, вентиляційних

отворів та інших будівель – щонайменше 3 метри. Генератор не можна використовувати в закритих приміщеннях через ризик отруєння чадним газом. Також потрібно облаштувати окремий заземлюючий контур та встановити автоматичний вимикач навантаження.

Уся система повинна бути підключена через якісну захисну автоматику – УЗО, автоматичні вимикачі, пристрої захисту від перенапруги. Встановлення має здійснюватися лише кваліфікованим електриком з дотриманням чинних стандартів і правил електробезпеки.

Загалом, правильне розташування, монтаж і налаштування всіх компонентів системи дозволяє забезпечити безпечну, стабільну та довготривалу роботу автономного енергозабезпечення для приватного будинку.

5.4. Техніко-економічні показники системи автономного енергозабезпечення житлових будинків

Спроектована автономна енергетична система для трьох типів житлових будинків — площею 70 м², 120 м² та 200 м², розташованих у різних кліматичних регіонах України (Одеська, Полтавська та Львівська області) — складається з таких основних компонентів (таблиця 5.4) та прорахована орієнтовна калькуляція вартісті цього обладнання (таблиця 5.5):

Таблиця 5.4 – Спроектована автономна енергетична система для житлових будинків

Будинок	Потужність PV, кВт	Модель інвертора Deye	Ємність АКБ, кВт·год	Генератор
70 м²	6–9	Deye SUN-8K-SG04LP3-EU	30 ($LiFePO_4$)	KS 8100iE ATSR
120 м²	8–10	Deye SUN-10K-SG04LP3-EU	30($LiFePO_4$)	KS 8100iE ATSR
200 м²	10–13	Deye SUN-12K-SG04LP3-EU	40 ($LiFePO_4$)	KS 8100iE ATSR

Таблиця 5. 5 – Орієнтовна калькуляція вартості обладнання для житлових будинків

Регіон	Будинок	Потужність PV (кВт)	Кількість панелей	Вартість панелей (грн)	Інвертор	Вартість інвертора (грн)	Монтаж, автоматика (грн)	Генератор (грн)	Акумулятори (грн)	Орієнтовна сума (грн)
Одеська	70 м²	6,64	16	16×2600 = 41 600	Deye 8кВт	72 000	25 000	63 000	210 000	411 600
Полтавська	70 м²	7,47	18	18×2600 = 46 800	Deye 8кВт	72 000	25 000	63 000	210 000	416 800
Львівська	70 м²	9,96	24	24×2600 = 62 400	Deye 8кВт	72 000	25 000	63 000	210 000	432 400
Одеська	120 м²	6,64	16	16×2600 = 41 600	Deye 10кВт	90 000	30 000	63 000	210 000	434 600
Полтавська	120 м²	7,47	18	18×2600 = 46 800	Deye 10kВт	90 000	30 000	63 000	210 000	439 800
Львівська	120 м²	9,96	24	24×2600 = 62 400	Deye 10кВт	90 000	30 000	63 000	210 000	455 400
Одеська	200 м²	8,3	20	20×2600 = 52 000	Deye 12кВт	102 500	35 000	63 000	280 000	532 500
Полтавська	200 м²	9,96	24	24×2600 = 62 400	Deye 12кВт	102 500	35 000	63 000	280 000	542 900
Львівська	200 м²	13,28	32	32×2600 = 83 200	Deye 12кВт	102 500	35 000	63 000	280 000	563 700

(Примітка: Ці цифри наведені орієнтовні на середину 2025; остаточна вартість залежить від курсу валют, доставки, монтажу, гарантії, індивідуальних умов)

Середня вартість електроенергії для побутових споживачів у 2025 році для денного тарифу становить 4,32 грн/кВт та 2,16 грн/кВт для нічного тарифу. Щоденне споживання електроенергії для житлових будинків різної площі становить: для будинку площею 70 м² – 21,40 кВт·год/доба (приблизно 7 811 кВт·год на рік), для будинку 120 м² – 21,64 кВт·год/доба (близько 7 900 кВт·год на рік), та для будинку 200 м² – 27,77 кВт·год/доба (приблизно 10 140 кВт·год на рік).

Для розрахунку економічної ефективності та окупності автономної енергетичної системи застосовано середньозважену вартість електроенергії, рівну 3,5 грн/кВт·год. Це значення отримано на основі сучасних тарифів України з урахуванням нерівномірності споживання: близько 70% електроенергії використовується у денний час, а 30% — у нічний. Відповідно, середньозважена вартість обчислюється за формулою:

$$C_{середня}=4,32\times0,7+2,16\times0,3\approx3,5 \text{ грн/кВт}$$

Використання середньої вартості електроенергії дає змогу коректно оцінити економію від власної генерації, оскільки споживання електроенергії домогосподарством відбувається з різною інтенсивністю протягом доби. Наявність акумуляторної батареї в складі системи додатково забезпечує перенесення частини денного навантаження на нічний тариф, що знижує фактичну собівартість споживаної електроенергії.

У розрахунках передбачено теоретичний режим “покриття 100%” річного споживання електроенергії системою, за яким орієнтовна річна економія оцінюється виходячи з повного забезпечення потреб домогосподарства. Враховуючи можливі похибки через зимові та пасмурні дні, додатково передбачено використання генератора як резервного джерела.

В Україні станом на 2025 рік діє “зелений тариф” для приватних домогосподарств, що власноруч встановили сонячні електростанції в 2025 році, потужністю до 50 кВт. Цей тариф встановлено на рівні 6,30 грн/кВт·год

і він передбачає фіксовану ціну за продаж надлишків виробленої електроенергії державі. Запровадження даного тарифу стимулює розвиток сонячної генерації, сприяючи підвищенню економічної доцільності інвестицій в автономні енергетичні системи.

Таким чином, застосування середньозваженого тарифу 3,5 грн/кВт·год для внутрішнього споживання і “зеленого тарифу” 6,30 грн/кВт·год для продажу надлишків електроенергії дозволяє здійснити реалістичну й обґрунтовану оцінку окупності систем автономного енергозабезпечення, що відповідає дійсній тарифній політиці України 2025 року.
В таблиці 5.6 розраховуємо термін окупності систем для домогосподарств які підключені до “зеленого тарифу” так і для тих кто не підключен:

Таблиця 5.6 – Розрахунок терміну окупності систем автономного енергозабезпечення для домогосподарств, підключених до “зеленого тарифу”, а також для домогосподарств, що не беруть участі у цій програмі.

Регіон (область)	Будинок	Річна генерація (кВт·год)	Споживання (кВт·год)	Надлишок (кВт·год)	Річна економія (грн)	Дохід по зеленому тарифу	Вартість системи (грн)	Окупність із зеленим тарифом (роки)	Окупність без зеленого тарифу (роки)
Одеська	70 м²	15 936	7 811	8 125	27 300	51 187	411 600	8,04	15,07
Полтавська	70 м²	15 480	7 811	7 669	27 300	48 315	416 800	8,63	15,27
Львівська	70 м²	15 624	7 811	7 813	27 300	49 216	432 400	8,79	15,84
Одеська	120 м²	15 936	7 900	8 036	27 650	50 630	434 600	8,58	15,72
Полтавська	120 м²	15 480	7 900	7 580	27 650	47 754	439 800	9,2	15,9
Львівська	120 м²	15 624	7 900	7 724	27 650	48 657	455 400	9,36	16,47
Одеська	200 м²	19 920	10 140	9 780	35 500	61 614	532 500	8,64	15,01
Полтавська	200 м²	20 640	10 140	10 500	35 500	66 150	542 900	8,2	15,3
Львівська	200 м²	20 832	10 140	10 692	35 500	67 360	563 700	8,36	15,88

Проведений аналіз показує, що встановлення автономної системи з сонячними панелями, гібридним інвертором Deye, акумуляторами та генератором є економічно обгрунтованим рішенням для житлових будинків в Україні.

Розрахунки показують, що строк окупності для типових будинків які не підключені до програми “зелений тариф” становить приблизно 15–17 років, а для тих кто підключен - 8-10. Після цього система приносить безкоштовну електроенергію протягом наступного десятиліття або більше, враховуючи термін служби панелей (25–30 років) і інвертора/генератора.

Крім того, така система забезпечує енергетичну незалежність та підвищує стійкість до можливих відключень електропостачання, що є актуальним у контексті осінньо-зимового періоду 2025–2026 р.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній магістерській роботі було виконано дослідження засобів, які дозволяють спроектувати систему автономного енергозабезпечення житлових будинків, що дало змогу всебічно охарактеризувати сучасні підходи до побудови енергонезалежних систем, оцінити їх технічні, економічні та експлуатаційні особливості, а також розробити оптимальну гібридну систему для різних типів житлової забудови в умовах України.

1. Проаналізовані автономні системи електропостачання, що включають повністю автономні (off-grid), резервні (standby) та гібридні (grid-tied + storage) системи. Встановлено, що гібридні системи, які поєднують відновлювані джерела енергії з акумуляторними накопичувачами та резервними генераторами, є найбільш доцільними для сучасних українських домогосподарств завдяки високим показникам надійності, енергоефективності та екологічності. Досліджено особливості основних джерел альтернативної енергії — сонячної, вітрової, гідро- та біоенергетики, встановлено їх переваги та обмеження, а також підтверджено ефективність їх комбінованого використання для компенсації сезонних та погодних коливань вироблення електроенергії.

2. Здійснено аналіз світових і національних тенденцій розвитку автономного електропостачання. Показано, що глобальний ринок систем на основі ВДЕ інтенсивно зростає, а особливо динамічним є розвиток сонячної генерації та акумуляторних накопичувачів енергії. В Україні після 2022 року спостерігається значне збільшення кількості приватних систем автономного живлення, що зумовлено необхідністю підвищення енергетичної стійкості в умовах війни та нестабільного функціонування централізованої енергомережі в результаті ворожих обстрілів. Встановлено, що нормативно-правова база держави поступово адаптується до потреб розвитку автономних систем, створюючи умови для їх безпечного та ефективного впровадження. Також

підтверджено значний екологічний ефект використання ВДЕ - зменшення обсягів викидів, зниження забруднення повітря та підвищення якості життя населення.

3. Виконано аналіз об’єктів дослідження - житлових будинків різної площі та кількості мешканців. На основі статистичних та технічних даних визначено характерні добові та сезонні моделі споживання енергії, які демонструють пікові навантаження в ранкові та вечірні години, що є критично важливим для проектування автономних систем. Особливу увагу приділено специфіці осінньо-зимового періоду 2025–2026 років, коли імпульсний характер споживання електроенергії формується через аварійні та планові відключення мережі. Для південного, центрального та західного регіонів України проаналізовано потенціал відновлюваних джерел енергії та сформовано оптимальні комбінації джерел генерації для забезпечення стабільності системи в різних кліматичних умовах.

4. Здійснено обґрунтований підбір засобів для гібридної автономної системи електропостачання житлових будинків. На основі порівняльного аналізу технічних характеристик визначено оптимальні компоненти системи: сонячні панелі LONGi Solar LR5-54HPH-415M, гібридні інвертори Deye серії SG04LP3, акумуляторні батареї Deye SE-G5.1 Pro-B та інверторний генератор Konner & Sohnen KS 8100iE ATSR. Така конфігурація забезпечує необхідний рівень енергоефективності, сумісність основних елементів та високий рівень надійності, а також дозволяє адаптувати систему до різних рівнів енергоспоживання залежно від площі будинку.

5. Спроектовано автономні системи для житлових будинків площею 70 м², 120 м² та 200 м² у трьох кліматичних регіонах України. Проведено аналіз експлуатаційних характеристик та розрахунок економічної ефективності запропонованих систем. Встановлено, що орієнтовна вартість систем коливається в межах 412 000–564 000 грн, а річна економія на електроенергії становить 27 300–35 500 грн, що забезпечує строк окупності близько 15–17 років. При підключенні до програми «зелений тариф» термін окупності

скорочується майже вдвічі до 8–10 років. Доведено, що система повністю забезпечує автономність у літній період та мінімізує використання генератора в зимовий час.

6. Запропоновані підходи для безпечної експлуатації системи та продовження строку служби обладнання завдяки застосуванню засобів електрозахисту, таких як автоматичні вимикачі, УЗО та пристрої захисту від перенапруги.

Отже, у результаті виконаної роботи сформовано науково обґрунтовану, технічно ефективну та економічно доцільну модель автономної гібридної системи енергозабезпечення житлових будинків, яка забезпечує високий рівень енергетичної незалежності, надійності та безпеки. Запропонована система відповідає сучасним вимогам енергоефективності, здатна адаптуватися до різних регіональних та споживчих умов і має значний потенціал до впровадження в умовах зростаючої потреби населення України у стабільному та автономному електропостачанні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Вадим Литвин. Забезпечення резервного живлення з огляду на військовий та мирний час в Україні.Фонд імені Фрідріха Еберта, 2023 с138

2. Вітрогенератор для дому: особливості, які потрібно обов'язково знати власнику приватної електростанції: URL:https://ecotechnica.com.ua/uk/stati/vetrogenerator-dlya-doma-osobennosti-kotorye-nuzhno-obyazatelno-znat-vladeltsu-chastnoj-elektrostantsii (дата звернення 11.10.25)

3. Види сонячних панелей: Особливості, переваги та недоліки: URL:https://solarpath.com.ua/blog/vidi-sonyachnih-panelej/ (дата звернення 11.10.25)

4. Автономне електроживлення у помешканні: URL:https://realexpert.ua/avtonomne-elektrozhyvlennya-u-pomeshkanni-pokrokova-instrukcziya/ (дата звернення 12.10.25)

5. Автономне живлення у квартирі: 3 поширених способи: Url:https://www.megatrade.ua/news/reviews/avtonomne-zhivlennya-u-kvartiri-3-poshirenikh-sposobi/ (дата звернення 12.10.25)

6. Терновий А. В., Міняйло Н. О., Єрофєєва А. А. Екологічні аспекти використання сонячних панелей. XV Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Молоді вчені 2025 - від теорії до практики»: Матеріали. Дніпро: Журфонд, 2025. С. 390-392. URL: https://drive.google.com/file/d/1PtwIvWScZl130O8Oxg_hRlZFJVSprqIG/vie

7. Терновий А. В., Міняйло Н. О. АКТУАЛЬНІСТЬ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2025» Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2025. Т. 5 С. 195-197. URL: https://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc//2025/tom_5.pdf.

8. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. *Національна академія наук України. Інститут відновлюваної енергетики/* за ред. Кудрі С.О. Київ, 2020 С.8-25.

9. Олександр Золотухін. Продаж електроенергії за “зеленим” тарифом. *Дебет-кредит.* URL:https://online.dtkt.ua/2019/11/47350?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 15.10.25)

10. З 1 квітня оновлено “зелений” тариф на електричну енергію. *Ліга закон*. 2024.2 квітня. URL:https://biz.ligazakon.net/news/226712_z-1-kvtnya-onovleno-zeleniy-tarif-na-elektrichnu-energyu?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 15.10.25).

11. Закон 10357:”Зелений” тариф для домашніх електростанцій. URL:https://www.solargarden.com.ua/zakon-10357-zelenyj-taryf-dlya-domashnih-elektrostantsij/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 15.10.25).

12. Сім’я та сімейні відносини в Україні:сучасний стан і тенденції розвитку. *Інститут демографії та соціальних досліджень НАН України.*Київ 2009. С.19-30.

13. Проекти будинків URL:https://ua.dom4m.com.ua/proekti-odnopoverhovih-budinkiv_budinki-bez-garazha_proekti-budinkiv-do-100-kv-m/ (дата звернення 17.10.25).

14. Інвертори для сонячних електростанцій URL:https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-inverters/?srsltid=AfmBOoo_SeopOXs2dI-MqbmuTxx63bfj-H1NForRHmw08Xavclw9ZDgW (дата звернення 18.10.25).

15. Інвертори для сонячних електростанцій URL:https://deye.com.ua/shop/ (дата звернення 18.10.25)

16. Фотогальваничні модулі URL:https://www.solargarden.com.ua/ru/product-category/solnechnye-paneli/ (дата звернення 19.10.25)

17. List of the 100 largest solar panel manufacturers Global.2024 URL:https://renewables.digital/product/solar-panel-manufacturers-global/ (дата звернення 19.10.25)

18. Кращі акумулятори для сонячних батарей 2025 року. URL:https://journal.vencon.ua/ua/top-6-rejting-luchshih-akkumulyatorov-dlya-solnechnyh-batarej-59-goda (дата звернення 20.10.25)

19. Інвертори URL:https://konner-ukraine.com.ua/?gad_source=1&gad_campaignid=23070420940&gbraid=0AAAAAqUtmt2GYasfROiNFUMbT0kKuZb4k&gclid=CjwKCAiA24XJBhBXEiwAXElO3zwBWOO-kjAYYHtltoUXwCHPnAkqnAtQe9XCq6PZzQHtbK05fM0RexoCqjUQAvD_BwE (дата звернення 23.10.25)

ДОДАТКИ

Додаток А Перелік електричного обладнання для житлових будинків

Таблиця А.1-Перелік електричного обладнання для житлового будинку 70м2

Найменування електроприладів	Номінальна потужність, кВт/ч	Кількість	Загальна потужність, кВт/ч
Холодильник	0,12	1	0,12
Телевізор	0,07	2	0,14
Ноутбук	0,07	2	0,14
Посудомийна машина	1,5	1	1,5
Пральна машина	1	1	1
Мікрохвилова піч	1	1	1
Електрочайник	1,5	1	1,5
Праска	1,5	1	1,5
Робот пилосос	0,05	1	0,05
Кондиціонер	1	1	1
Бойлер	1,5	1	1,5
Насос опалення	0,25	1	0,25
Коридор	0,012	4	0,048
Кухня	0,012	7	0,084
Вітальня	0,012	7	0,084
Спальня 1	0,012	4	0,048
Спальня 2	0,012	4	0,048
Бойлерна	0,012	4	0,048
Тераса	0,012	6	0,072
Санвузол	0,012	2	0,024
Передпокій	0,012	4	0,048
Ганок	0,012	1	0,012
Разом			**10,216**

Таблиця А.2 -Перелік електричного обладнання для житлового будинку 200м2

Найменування електроприладів	Номінальна потужність, кВт/ч	Кількість	Загальна потужність, кВт/ч
Холодильник	0,12	1	0,12
Телевізор	0,07	2	0,14
Ноутбук	0,07	2	0,14
Посудомийна машина	1,5	1	1,5
Пральна машина	1	1	1
Мікрохвилова піч	1	1	1
Електрочайник	1,5	1	1,5
Праска	1,5	1	1,5
Робот пилосос	0,05	1	0,05
Кондиціонер	1	1	1
Бойлер	1,5	1	1,5
Насос опалення	0,25	2	0,5
Коридор 1 та 2 поверх	0,012	8	0,096
Кухня	0,012	7	0,084
Вітальня	0,012	7	0,084
Спальня 1-3	0,012	12	0,144
Кабінет	0,012	4	0,048
Гардероб	0,012	2	0,024
Бойлерна	0,012	4	0,048
Тераса	0,012	6	0,072
Комора	0,012	2	0,024
Сходи	0,012	2	0,024
Ванна 1-2	0,012	8	0,96
Передпокій	0,012	4	0,048
Ганок	0,012	1	0,012
Разом			**10,778**

Додаток Б Добове споживання електроприладів

Таблиця Б.1- Добове споживання електроприладів для будинку площею 70м^2

Найменування електроприладів	Номінал. потуж., кВт/ч	Кіл-сть	Загальна потужність кВт/ч	Години работи за добу год	Кількість споживання електроенергії за добу, кВт
Холодильник	0,12	1	0,12	24	0,75
Телевізор	0,07	2	0,14	4	0,56
Ноутбук	0,07	2	0,14	4	0,56
Посудомийна машина	1,5	1	1,5	0,5	0,73
Пральна машина	1	1	1	0,75	0,75
Мікрохвильова піч	1	1	1	0,2	0,2
Електрочайник	1,5	1	1,5	0,2	0,3
Праска	1,5	1	1,5	0,2	0,3
Робот пилосос	0,05	1	0,05	2	0,1
Кондиціонер	1	1	1	4	4
Бойлер	1,5	1	1,5	5	7,5
Насос опалення	0,25	1	0,25	16	4
Коридор	0,012	4	0,048	5	0,24
Кухня	0,012	7	0,084	5	0,42
Вітальня	0,012	7	0,084	5	0,42
Спальня 1	0,012	4	0,048	4	0,192
Спальня 2	0,012	4	0,048	4	0,192
Бойлерна	0,012	4	0,048	0,2	0,0096
Тераса	0,012	6	0,072	1	0,072
Санвузол	0,012	2	0,024	1	0,024
Передпокій	0,012	4	0,048	1	0,048
Ганок	0,012	1	0,012	3	0,036
Разом					**21,4036**

Таблица Б.2-Добове споживання електроприладів для будинку площею 200м^2

Найменування електроприладів	Номінал.потуж., кВт/ч	Кіл-ість	Загальна потужністьк Вт/ч	Години работи за добу, год	Кількість споживання електроенергії за добу, кВт
Холодильник	0,12	1	0,12	24	0,75
Телевізор	0,07	2	0,14	4	0,56
Ноутбук	0,07	2	0,14	4	0,56
Посудомийна машина	1,5	1	1,5	0,5	0,73
Пральна машина	1	1	1	0,75	0,75
Мікрохвильова піч	1	1	1	0,2	0,2
Електрочайник	1,5	1	1,5	0,2	0,3
Праска	1,5	1	1,5	0,2	0,3
Робот пилосос	0,05	1	0,05	2	0,1
Кондиціонер	1	1	1	4	4
Бойлер	1,5	1	1,5	6	9
Насос опалення	0,25	2	0,5	16	8
Коридор 1-2 поверх	0,012	8	0,096	5	0,48
Кухня	0,012	7	0,084	5	0,42
Вітальня	0,012	7	0,084	5	0,42
Спальня 1-3	0,012	12	0,144	4	0,576
Кабінет	0,012	4	0,048	4	0,192
Гардероб	0,012	2	0,024	4	0,096
Бойлерна	0,012	4	0,048	0,2	0,0096
Тераса	0,012	6	0,072	1	0,072
Комора	0,012	2	0,024	1	0,024
Сходи	0,012	2	0,024	1	0,024
Ванна 1-2	0,012	8	0,096	2	0,192
Передпокій	0,012	4	0,048	1	0,048
Ганок	0,012	1	0,012	3	0,036
Разом					**27,7676**