



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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 02 » січня 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Беляєву Сергію Олексійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка безперебійної системи живлення для замиського будинку

Керівник роботи Бабюк Сергій Миколайович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 31 » грудня 2025 року № 4/7-1162

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Площа замиського будинку, встановлена потужність, живлення від мережі 380/220 В через один ввід; параметри споживачів електричної енергії, наявний дизель-генератор 20 кВт, передбачено сонячні панелі 5 кВт та акумулятор 10 кВт·год; клімат III поясу (до -25 °C), цілодобовий режим із сезонним зростанням навантаження взимку.

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунковий розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки

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

Різновиди систем генерування альтернативної енергетики; види інверторів.

Різновиди акумуляторних батарей.

Способи монтажу сонячних панелей.

Економічний розрахунок рентабельності сонячної електростанції.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 02 січня 2026 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.01.2026	
2	Аналітичний розділ	15.02.2026	
3	Розрахунковий розділ	01.04.2026	
4	Проектно-конструкторський розділ	15.05.2026	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2026	
6	Висновки	10.06.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2026	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2026	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Беляєв С. О.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Бабюк С. М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Беляєв Сергій Олексійович – Розробка безперебійної системи живлення для заміського будинку.**

Стор. – 53; рис. - 14; табл. - 23; джерел - 23; додатків - - .

У кваліфікаційній роботі розглянуто проблему забезпечення автономного електропостачання заміського будинку в умовах нестабільної роботи централізованих мереж. Проведено аналіз альтернативних джерел енергії, серед яких найбільш перспективним для приватного використання визначено сонячну енергетику.

Виконано розрахунок електричного навантаження будинку, визначено сезонні коливання споживання та річний баланс енергії. На основі цих даних спроектовано сонячну електростанцію потужністю 5 кВт, підібрано акумуляторні батареї LiFePO<sub>4</sub> та гібридний інвертор, що забезпечують автономну роботу системи.

Для підвищення надійності передбачено використання дизель-генератора як резервного джерела живлення. Виконано вибір кабельних ліній та захисної апаратури відповідно до вимог ПУЕ та ДСТУ. Завершальний етап роботи — аналіз енергетичного балансу, який підтвердив ефективність та економічну доцільність запропонованої системи.

Практична значущість дослідження полягає у можливості застосування розроблених рішень для проектування та реконструкції систем електропостачання приватних будинків і котелень, що сприяє енергетичній незалежності та зниженню витрат на електроенергію.

**Перелік ключових слів:** ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА, АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ, ГІБРИДНИЙ ІНВЕРТОР, ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР, АВТОНОМНЕ ЖИВЛЕННЯ, ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.

**ЗМІСТ**

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Аналіз альтернативних джерел електроенергії	8
1.2 Основне обладнання системи електропостачання від сонячної енергії	13
1.3 Висновки до розділу 1	16
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Характеристика об'єкта електропостачання	18
2.2 Розрахунок сонячної електростанції	19
2.3 Розрахунок акумуляторної батареї	22
2.4 Розрахунок дизель-генератора	23
2.5 Розрахунок гібридного інвертора та системи керування	25
2.5.1 Вибір потужності інвертора	26
2.5.2 Розрахунок струмів та вибір перерізу кабелів	26
2.5.3 Вибір захисної апаратури	27
2.6 Енергетичний баланс та режими роботи	28
2.7 Розрахунок надійності	29
2.8 Розрахунок теплових режимів	30
2.9 Економічний розрахунок	31
2.10 Рекомендації з проектування	32
2.11 Висновки до розділу 2	34
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	35
3.1 Розрахунок навантаження будинку	35
3.2 Вибір акумуляторної батареї	40
3.3 Вибір інвертора	41
3.4 Підключення системи	42
3.5 Висновки до розділу 3	43

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	44
4.1 Аналіз небезпек і оцінка професійних ризиків при проєктуванні, монтажі та експлуатації безперебійної системи живлення заміського будинку	44
4.2 Нормативно-правові вимоги з електробезпеки, пожежної безпеки та охорони праці під час влаштування і експлуатації безперебійної системи живлення заміського будинку	47
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	50
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	51

## ВСТУП

В даний час в зв'язку з збройною агресією зі сторони росії і методичними ударами по енергетичній інфраструктурі України страждає енергетична галузь і відповідно населення країни. Все частіше ми стаємо свідками закономірного явища коли електропостачання в наших домівках виглядає як розкіш а не як належний інструмент для існування та задоволення базових потреб. Кожен з нас намагається якось знайти вирішення ситуації і забезпечити власну домівку енергією, а коли вирішення допомагає в перспективі зекономити кошти сімейного бюджету то це стає панацеєю для всіх користувачів.

Міжнародне енергетичне агенство провівши дослідження визначило що сонячна енергія посідає одне з провідних місць серед усіх альтернативних джерел живлення у світі. Враховуючи технологічний прогрес в сфері виробництва фотоелементів з кожним роком збільшується їхній ККД ,але водночас зменшується вартість те ж саме можна сказати і про акумуляторні батареї. Таким чином майже кожен з незначними фінансовими інвестиціями може реалізувати собі автономний проект живлення будинку який в подальшому зможе ще й економити гроші на оплаті електроенергії і назавжди зitre в нашій пам'яті проблеми з відключенням електропостачання. Ми зможемо жити в комфортних умовах в теплих домівках і смакуючи приготовану гарячу їжу дивитися улюблену телепередачу по телевізору

Враховуючи всі перелічені фактори вибір теми кваліфікаційної роботи стає не те що логічним а просто необхідним і в подальшому буде реалізований на практиці для власного будинку

Метою роботи є розробка проекту електропостачання та автономної роботи заміського будинку

Завданнями кваліфікаційної роботи бакалавра є:

- Проаналізувати сучасний стан енергетичної системи України та обґрунтувати доцільність використання сонячної енергії для автономного живлення.

- Провести аналіз технічних характеристик, класифікації та динаміки ефективності сучасних фотоелементів (сонячних панелей) та акумуляторних батарей.
- Оцінити обсяги споживання електроенергії об'єкта (заміського будинку) шляхом аналізу потужності побутових приладів та складання добового графіка навантаження.
- Розрахувати необхідну потужність сонячної електростанції, кількість фотомодулів та ємність акумуляторного блоку для забезпечення автономності.
- Вибрати оптимальне обладнання, зокрема інвертор, контролер заряду, захисну автоматику та кабельно-провідникову продукцію.
- Розробити принципову електричну схему підключення елементів автономної системи електропостачання будинку.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Аналіз альтернативних джерел електроенергії

На сьогоднішній час відновлювальні джерела живлення переживають період розквіту і в недалекому майбутньому можуть захопити домінуючий рівень на ринку електроенергетики. Країни які навчилися їх використовувати мають переваги в енергонезалежності і для розвитку даного напрямку керівництво країн запроваджують системи стимулювання розвитку галузі. Це дає суттєве зниження електроенергії і збільшення генерації

Альтернативні або невичерпні енергоресурси – це потоки енергії які постійно або періодично діють у навколишньому середовищі. За великим рахунком потоки альтернативних джерел ми їх можемо розділити на дві групи

- пряма енергія сонячного випромінювання
- вторинні прояви енергії сонячного випромінювання у вигляді енергії вітру , гідрогенерації, теплової енергії навколишнього середовища , енергія біомаси [6]

Вагомою перевагою щодо використання альтернативних джерел енергії є її чистота в плані екології та невичерпний запас що сприяє покращенню навколишнього середовища що з свого боку не впливає на енергетичний баланс в контексті цілої планети.

Також однією з переваг є відсутність потреби в переробці , видобуванні транспортуванні палива. Його не потрібно доставляти до системи генерації а саме головне не потрібно утилізувати.

Знову ж таки повернемося до статистики Міжнародної енергетичної асоціації в якій йдеться що у 2025 році частка ВДЕ зростає з 29% до 35%. Ці дані дають нам можливість проаналізувавши ринок зрозуміти що знизився рівень генерації електроенергії за допомогою вугільних та газових джерел. Відповідно рівень викидів CO<sub>2</sub> скоротився що позитивно впливатиме на життя людей та інших представників флори і фауни

За даними МЕА, на Китай припадає майже половина додаткової генерації з ВДЕ, за ними слідує Євросоюз з 1,5% (рис1) у звіті вказано що це спонукає до підняття інвестицій з держбюджету на розвиток ВДЕ

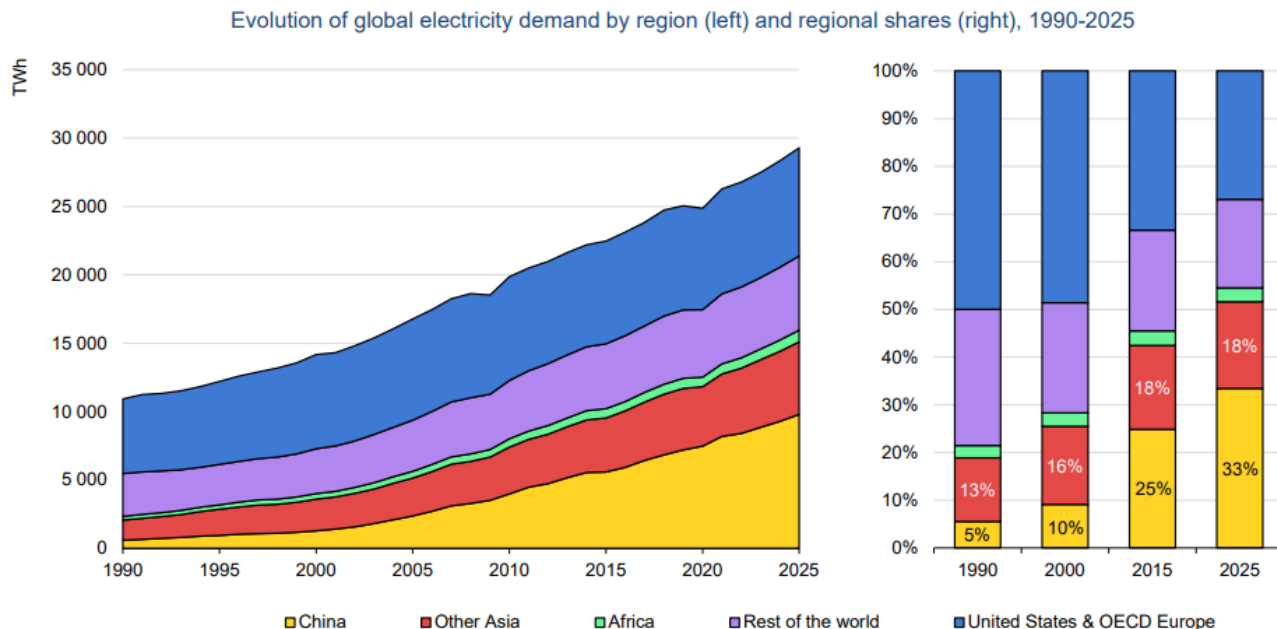


Рисунок 1.1 – Зміна світового попиту на електроенергію 1990-2025 pp

Як ми бачимо сонячна енергія є найбільш доступним джерелом відновлювальної енергії . її популярність використання в США, Азії та Європі.

В Україні найбільший потенціал у східних та південих областях . середньорічна продуктивність станом на 2025 рік коливається в межах 1000-1400 кВт/год\*м2. Сучасні сонячні системи також можемо поділити на геліосистеми для нагріву води і фотоелектричні установки.

Однією х перешкод для використання сонячної енергії є потреба в великих площах для монтажу устаткування а також не стабільний потік сонячного випромінювання який залежить від погодніх умов та локації встановлення .

В контексті використання сонячних панелей для індивідуального користування є можливість встановлення їх майже будь де, на дахах будинків, на навісах або навіть можна спроектувати спеціальну конструкцію для монтажу. В окремих випадках проектують будинок так зоб сонячні панелі виконували функцію даху.

Друга за значенням галузь відновлювальних джерел енергії є вітрова енергія. Енергія вітру утворюється кінетичної енергії вітру. Що є похідною від сонячної енергії. Для генерації даного типу енергії потрібно створити вітрогенератор. Водночас собівартість видобутку енергії вітру ненабагато дорожча ніж сонячна енергія.

Великою перевагою використання даних систем є те що вони не забруднюють навколишнє середовище. Розміщення установок локально в одному місці дає перевагу на нівелювання втрат на транспортуванні , але погіршує ландшафт. Водночас є залежність від швидкості вітру, чим вища швидкість тим більший обсяг енергії може згенерувати турбіна , але при великих поривах може бути пошкодження обладнання. Найкраще розміщувати дані установки на березі морів, в степах , та в горах. В Україні даний тип установок часто ми можемо спостерігати в карпатських горах.

Геотермальна енергія використовує тепло надр землі. Тепло термальних вод можна перетворити в енергію за допомогою турбін . проте данна технологія не є настільки екологічно чистою так як попередні методиї сприяє забрудненню довкілля. Ще однією проблемою є те що геотермальні води мають високий вміст солей що робить їх корозійно активними і для виготовлення обладнання потрібно використовувати корозійно стійкі матеріали і більш частого і ретельного обслуговування. Ще одним недоліком є те що в разі низької температури теплоносія для підтримування процесу генерації потрібно використовувати додаткову енергію для підвищення температури. Цей тип генерації активно використовується в Ісландії , Японії , Італії. В Україні цей вид енергетики не використовується через особливості геологічних умов, проте в карпатських регіонах використовують похідну технологію але виключно для опалення помешкань.

Біонергетика – дана технологія базується на використанні біомаси ,біогазу ,рідкого біопалива. Є два основних способи виробництва даної енергії. Перший спосіб це спалення біомаси. Його перевагою є простота і викиди шкідливих речовин є такими ж як при природному розкладанні. Недоліком цього методу є

великі витрати біомаси і в загальному виробництво енергії таким методом є дуже дорогим

Другий спосіб це переробка біомаси шляхом розкладання в спеціальних герметичних спорудах на виході яких отримується газ. Цей спосіб можна використовувати там де є великі обсяги сировини для виробництва біогазу, тобто відходи тваринного або рослинного походження, що також вирішує проблему з утилізацією цих самих відходів.

Також з цих відходів шляхом дистиляції можна отримати етиловий або метиловий спирт. Але використання біомаси це тема для ще однієї роботи тому ми повернемося до енергетики.

Крім переваг альтернативних джерел енергії в них є і недоліки. Вітрові станції створюють шум високої частоти, тому їх потрібно розміщувати подалі від населених територій з великою площею для розміщення вітряків.

Для сонячних електростанцій необхідні великі площі під будівництва а фотоелементи містять багато отруйних речовин таких як свинець, кадмій, галій та інші. Мала гідроенергетика теж має свої недоліки, це затоплення великої площі, усихання малих річок. А при неправильному розміщенні всієї інфраструктури гідроелектростанції може відбутися зміна екосистеми. Найменше недоліків ми отримуємо при використанні біопалива їх майже не існує. Проте використання біодизеля виготовленого з ріпакової олії є не ефективним. Для того щоб умовно один автомобіль мав змогу заправлятися протягом року йому потрібно 1500 літрів олії. А це ділянка розміром з футбольне поле з хорошими показниками врожайності ріпаку.

Використання нетрадиційної та відновлювальної енергетики на території України є недостатнім та не відповідає загальноєвропейському рівню [6]

Однак в даний час проводяться заходи в законодавчі та нормативно – правовій базі які спонукають подальший розвиток альтернативної енергетики в Україні. На даному етапі як ми бачимо цього не є достатньо тому потрібно зробити акцент на роз'яснювальній роботі серед населення. Коли люди будуть усвідомлювати важливість відповідальності за зменшення екологічного

навантаження на планету і використання що дасть поштовх до формування “зеленого” мислення.

Провівши аналітику і порівнявши всі переваги та недоліки альтернативних джерел енергії ми приходимо до висновку що для приватного заміського будинку оптимальним є сонячна енергія. Її потенціал є високим а реалізація проста. Фото електрична система дозволяє забезпечити незалежність від централізованої мережі енергопостачання (таблиця 1.1)

Таблиця 1.1 порівняльна характеристика альтернативних джерел енергії

Джерело енергії	Переваги	Недоліки
Сонячна енергія	Доступність, екологічність, низькі експлуатаційні витрати	Висока початкова вартість, залежність від сонячної активності
Вітрова енергія	Відновлювальність, робота вночі	Нестабільність, шум, потреба в просторі
Гідроенергія	Надійність, висока ефективність	Екологічні ризики, географічні обмеження
Геотермальна енергія	Стабільне джерело, мінімальні експлуатаційні витрати	Висока вартість буріння, обмежене застосування
Біоенергетика	Використання відходів, відносна автономність	Потреба в логістиці сировини, викиди при спалюванні

Альтернативні джерела енергії це не лише автономність але і шлях до енергетичної незалежності господарства особисто і в контексті цілої країни незалежність України на світовому енергетичному ринку та шлях до інтеграції в систему європейських цінностей

## 1.2 Основне обладнання системи електропостачання від сонячної енергії

Систему генерації енергії потрібно розглядати як складний комплекс який складається сонячні панелі ( фотоелектричні модулі); акумуляторні батареї (АКБ) ;інвертор ; контролер заряду ; системи моніторингу та керування ; кабельна мережа для підключення ; системи монтажу та кріплення

Ці всі складові забезпечують генерацію електроенергії з сонячного світла , дають змогу накопичувати її для власного використання та при певній потребі продавати її тобто видавати в централізовану мережу.

Сонячні панелі (фотоелектричні модулі)- це є головним елементом системи він претворює сонячне випромінювання в постійний електричний струм. На даний час на ринку основними є два типи панелей.

Монокристалічні – в них високий ККД (до 22%) і вони є довговічними дл 25 років . недоліком є вартість

Полікристалічні – в них ККД нижчий в порівняні з монокристалічними (до 18%) але вони є дешевшими

При виборі панелей слід звертати увагу не лише на їхню потужність а також на:

Температурний коефіцієнт який вказує як падає продуктивність при нагріванні елементу

Гарантію виробника. зазвичай це 10-15 років на сам модуль і 25 років на ефективність

На клас захисту IP- це важливо при встановлені у вологих або запилених умовах

Сонячні панелі встановлюються зазвичай на дахах , фасадах , або наземних конструкціях , з урахуванням оптимального кута нахилу (в Україні 30-45°) для максимального збору енергії [5, с. 28-35]

Враховуючи конструкцію даху побудованого будинку 32° це місце є оптимальним для встановлення панелей з орієнтацією на схід.

Візьмемо для наглядного прикладу панелі Jinko Solar tiger pro 545 Вт мають коефіцієнт корисної дії 21.3% втрата потужності від нагрівання – 0.35% тому наш вибір падає саме на них а при ціні в 3150 грн за одну панель є досить непоганим показником економічної доцільності

Інвертори – це пристрої що перетворюють постійний струм від панелей з низькою напругою у змінний струм придатний для використання в нашій мережі (рисунок 1.2)



Рисунок 1.2 – Інвертор Deye

Інвертори поділяються на :

- мережеві – передають енергію в централізовану мережу
- автономні – працюють незалежно від зовнішньої мережі призначені для власного автономного використання там де немає електропостачання
- гібридні – це універсальна система яка дозволяє працювати як з мережею так і автономно

Інвертор є так званим мозком всієї системи від його якості та характеристик залежить стабільність системи та її ефективність (таблиця 1.2.) на відміну від мереживих інверторів які не можуть працювати в умовах відсутності електропостачання що робить їх не придатними для використання , так як основна ціль нашої системи це автономність а не економія. Тому наш вибір виключно гібридний інвертор з функцією автоматичного перемикачання між акумуляторами та централізованою мережею електропостачання.

Таблиця 1.2 – Порівняльні характеристики інверторів

Тип інвертора	Необхідність акумуляторів	Можливість роботи з мережею	Застосування	ККД
Мережевий	Ні	так	Продаж енергії, міська мережа	95-98%
Автономний	Так	Ні	Віддалені об'єкти	90-95%
Гібридний	Так	так	Універсальне використання	92-97%

Приклад : модель Victron MultiPlus-2 5kVA підтримує одночасну роботу з мережею акумуляторами і СЕС. Дає змогу контролювати споживання через додаток VictronConnect.

Акумуляторні батареї є теж важливим елементом у сонячній станції що дозволить нам забезпечити енергетичну незалежність. Завдяки накопиченню надлишкової енергії вдень система здатна забезпечити нам енергетичну незалежність в ті моменти коли немає сонячної генерації і в разі відключення централізованого електропостачання

Існує два основних види акумуляторів:

1 Свинцево-кислотні (AGM, GEL). Це традиційні акумулятори які давно використовуються в системах з невеликим або середнім навантаженням

Їхніми перевагами є невисока ціна, проста технологія, можливість обслуговування

Недоліки притаманні даному типу АКБ це невелика кількість циклів заряд-розряд (400-1200) чутливість до глибокого розряду, велика вага

1 Літій-іонні акумулятори (LiFePo) це сучасні високоефективні технологічні акумулятори які вже витісняють традиційні типи АКБ завдяки своїй продуктивності.

Переваги: більше 4000-6000 циклів заряд-розряд , можливість розряду на 90% низька вага , швидка зарядка ,стабільна напруга

Недоліки : вища вартість , потреба в зарядному пристрої з контролером BMS

Приклад АКБ Pyllontech US2000 (2.4 кВт\*год) підтримує з'єднання до 16 модулів , має вбудований BMS і служить більше 10 років (таблиця 1.3)

Таблиця 1.3 – Порівняльна таблиця свинцево-кислотних та залізо-фосфатних акумуляторних батарей

Характеристика	Свинцево-кислотні	Залізо-фосфатні
Кількість циклів	400-1200	4000-6000
Глибинна розряду	50-70%	90-100%
Ефективність ККД	80-85%	95-98%
Час повного заряду	6-10 годин	1-4 години
Вага	Висока	Низька
Ціна за кВт*год	Низька	Вища
Потреба в обслуговуванні	Середня	Мінімальна
Стійкість до температур	Вища	Нижча
Установка в жиллому приміщенні	Ні	так
Стійкість до пошкоджень	Середня	Низька
Вибухонебезпечність	Низька	середня
Естетичний вигляд	Так собі	Дуже гарно

### 1.3 Висновки до розділу

На підставі проведеного аналізу альтернативних джерел енергії та обладнання для сонячної електростанції можна сформулювати такі висновки:

1. Відновлювальна енергетика демонструє стійке зростання — за даними Міжнародної енергетичної асоціації, частка ВДЕ у світовому енергобалансі

зросла з 29% до 35% у 2025 році, що свідчить про глобальний перехід до «зеленої» енергетики та зменшення залежності від викопного палива.

2. Сонячна енергія визначена як оптимальне джерело для приватного замиського будинку — порівняльний аналіз показав, що саме фотоелектричні системи поєднують високу доступність, екологічність, відносну простоту реалізації та потенціал енергонезалежності, особливо в умовах південних і східних регіонів України (середньорічна продуктивність 1000–1400 кВт·год/м<sup>2</sup>).

3. Для досліджуваного об'єкта визначено ключові компоненти системи: монокристалічні сонячні панелі Jinko Solar Tiger Pro 545 Вт (ККД 21,3%), гібридний інвертор (на прикладі Victron MultiPlus-2 5kVA) та літій-іонні акумулятори типу LiFePO<sub>4</sub> (на прикладі Pylontech US2000). Кут нахилу даху будинку (32°) є оптимальним для монтажу панелей з орієнтацією на південь.

4. Гібридний тип інвертора обрано як найдоцільніший — він забезпечує автономність при відключенні централізованої мережі та можливість резервного живлення від акумуляторів, що відповідає головній меті проекту.

5. Літій-залізо-фосфатні акумулятори переважають свинцево-кислотні за кількістю циклів (4000–6000 проти 400–1200), глибиною розряду (90–100% проти 50–70%), ефективністю (95–98% проти 80–85%) та терміном служби, що компенсує їх вищу початкову вартість.

6. Розвиток альтернативної енергетики в Україні потребує комплексного підходу — окрім законодавчих стимулів, необхідна роз'яснювальна робота серед населення для формування «зеленого» мислення та відповідальності за зменшення екологічного навантаження на довкілля.

7 Використання сонячної енергії для приватного будинку є економічно та технічно обґрунтованим рішенням, яке сприяє енергетичній незалежності окремого господарства та наближає Україну до європейських стандартів сталого розвитку.

## 2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Характеристика об'єкта електропостачання

Визначення споживачів електричної енергії

Для будинку площею 90 м<sup>2</sup> з цілодобовим режимом проживання та сезонним зростанням навантаження взимку визначено наступний склад електроспоживачів:

Таблиця 2.1 – Параметри споживачів електричної енергії

№	Найменування	n	P <sub>вст</sub> , Вт	K <sub>о</sub>	cos φ	P <sub>р</sub> , Вт
1	Освітлення (LED)	15	1800	0.60	0.95	108
2	Розетки загального призначення	12	1200	0.30	0.90	360
3	Холодильник	1	200	0.80	0.85	160
4	Електричний котел опалення	1	3000	0.70	1.00	2100
5	Циркуляційний насос опалення	1	100	0.80	0.85	80
6	Водонагрівач (бойлер)	1	2000	0.50	1.00	1000
7	Пральна машина	1	2000	0.15	0.90	300
8	Посудомийна машина	1	1800	0.10	0.90	180
9	Мікрохвильова піч	1	1000	0.10	0.95	100
10	Електрична плита (індукційна)	1	3500	0.30	1.00	1050
11	Телевізор	2	300	0.50	0.95	150
12	Комп'ютер/ноутбук	2	400	0.40	0.90	160
13	Wi-Fi роутер	1	15	1.00	0.90	15
14	Система безпеки	1	50	1.00	0.90	50
15	Насос водопостачання	1	750	0.30	0.85	225.0
16	Витяжка	1	150	0.30	0.90	45
17	Пилосос	1	1500	0.05	0.90	75
18	Праска	1	2200	0.05	0.90	110
19	Фен	1	1800	0.05	0.90	90

Результати розрахунку навантаження:

Встановлена потужність ( $P_{вст}$ ): 22,18 кВт

Розрахункова активна потужність ( $P_p$ ): 6,38 кВт

Розрахункова повна потужність ( $S_p$ ): 6,46 кВА

Середньозважений  $\cos \varphi$ : 0,987

Річне споживання ( $W_{річ}$ ): ~6800 кВт·год

Сезонні коливання:

Літній період: 5,42 кВт

Зимовий період (+40%): 8,93 кВт — враховує підвищене споживання на опалення та освітлення

## 2.2 Розрахунок сонячної електростанції

Проектування безперебійної системи живлення для заміського будинку потребує всебічного інженерного аналізу, спрямованого на забезпечення стабільного електропостачання незалежно від зовнішніх мережевих умов. Основою такої системи є сонячна електростанція, параметри якої мають відповідати енергетичним потребам об'єкта, кліматичним особливостям регіону та режиму споживання електроенергії. На цьому етапі роботи виконується розрахунок необхідної потужності фотоелектричних модулів, визначається ємність акумуляторної батареї для автономного функціонування, підбирається потужність інвертора та інших силових компонентів. Особливу увагу приділено балансу між енергетичною автономією та економічною доцільністю, оскільки надмірне завищення потужності обладнання призводить до непродуктивних капіталовкладень, тоді як недооцінка — до ризику дефіциту електроенергії в періоди мінімальної сонячної активності. Наведені нижче розрахунки базуються на типових навантаженнях заміського будинку та статистичних даних сонячної інсоляції для відповідного регіону України.



Рисунок 2.1 – Основні компоненти автономної сонячної енергосистеми для заміського будинку

Таблиця 2.1 – Параметри сонячних панелей

параметр	значення
Пікова потужність СЕС	5 кВт
Тип панелей	Монокристалічні
ККД панелей	21–22%

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти втрат системи

Коефіцієнт	Значення
Втрати від температури ( $K_{\text{темп}}$ )	0,85
Втрати від пилу/снігу ( $K_{\text{пил}}$ )	0.95
ККД інвертора ( $K_{\text{інв}}$ )	0.97
Втрати в кабелях ( $K_{\text{каб}}$ )	0.98
<b>Загальний коефіцієнт системи (<math>K_{\text{сист}}</math>)</b>	<b>0.768</b>

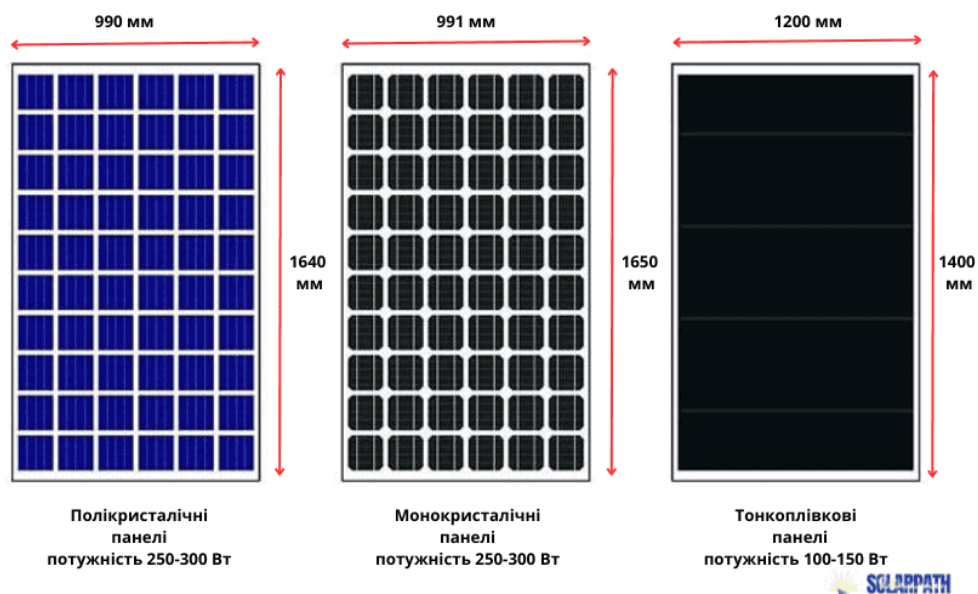


Рисунок 2.2 – Сонячні панелі, які використовуються для автономної сонячної енергосистеми.

Таблиця 2.3 – Щомісячне вироблення електроенергії

Місяць	Інсоляція, кВт·год/м <sup>2</sup> /д	Вироблення, кВт·год/д	Вироблення, кВт·год/міс
Січень	0.8	3.07	95.2
Лютий	1.4	5.37	150.5
Березень	2.6	9.98	309.3
Квітень	3.8	14.58	437.5
Травень	4.8	18.42	571.1
Червень	5.2	19.96	598.7
Липень	5.0	19.19	594.9
Серпень	4.3	16.5	511.6
Вересень	2.9	11.13	333.9
Жовтень	1.7	6.52	202.3
Листопад	0.9	3.45	103.6
Грудень	0.6	2.30	71.4
<b>РІК</b>			<b>3980.1</b>

Ключові показники:

Середньодобове вироблення (рік): 10,9 кВт·год/добу

Вироблення взимку (грудень–лютий): 317,0 кВт·год (3,5 кВт·год/добу)

Вироблення влітку (червень–серпень): 1705,2 кВт·год (18,5 кВт·год/добу)

Це покриває приблизно 8% добового електроспоживання взимку і більше влітку

### 2.3 – Розрахунок акумуляторної батареї

Акумуляторна батарея є критично важливим елементом безперебійної системи живлення, що забезпечує автономне електропостачання заміського будинку в періоди відсутності сонячної інсоляції — уночі, у хмарну погоду або взимку. Її ємність безпосередньо визначає тривалість автономної роботи всіх споживачів та ступінь енергетичної незалежності об'єкта. Неправильний підбір акумуляторів (надмірна або недостатня ємність, невідповідність типу електрохімії режиму експлуатації) призводить до скорочення терміну служби батареї, зниження загальної ефективності системи або, у гіршому випадку, до повної відмови електропостачання в критичний момент. У даному пункті виконується розрахунок необхідної номінальної ємності акумуляторної батареї з урахуванням добового енергоспоживання будинку, глибини розряду, коефіцієнта розряду за температурою та запасу автономності, прийнятого згідно з вимогами технічного завдання. Розглядаються основні типи акумуляторів, їхні переваги та обмеження для застосування в сонячних енергосистемах, на підставі чого здійснюється обґрунтований вибір оптимального варіанту.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані

Параметр	Значення
Номінальна ємність	10 кВт·год
Напруга системи	48 В
Тип	LiFePO <sub>4</sub> (літій-залізо-фосфатні)
Номінальна ємність	208,3 А·год



Рисунок 2.3 – Акумуляторна батарея [LogicPower LP LiFePO4](#)

Таблиця 2.4 – Доступна енергія

Режим	DoD	Доступна енергія
Максимальний	90%	9,0 кВт·год
Рекомендований	80%	<b>8,0 кВт·год</b>

Таблиця 2.5 – Час автономної роботи акумуляторних батарей

Режим навантаження	$P_{\text{нав}}$ , кВт	$T_{\text{авт}}$ (DoD=80%)	$T_{\text{авт}}$ (DoD=90%)
Мінімальне (освітлення + холодильник + роутер)	0,50	16,0 год	18,0 год
Середнє (без опалення)	2,50	3,2 год	3,6 год
Зимове (з опаленням)	8,93	0,9 год	1,0 год
Пікове	6,38	1,3 год	1,4 год

Термін служби LiFePO4: ~16 років (6000 циклів при 80% DoD)

## 2.4 Розрахунок дизель-генератора

Незважаючи на значний потенціал сонячної енергетики, тривалі періоди низької сонячної інсоляції (зимові місяці, затьяжна хмарність) або підвищене енергоспоживання можуть перевищити можливості фотоелектричної установки та акумуляторної батареї. Для забезпечення гарантованого електропостачання в таких критичних ситуаціях до складу безперебійної системи живлення доцільно

включити дизель-генератор як резервне джерело енергії. Його застосування дозволяє зменшити необхідну ємність акумуляторної батареї та потужність сонячних панелей, що позитивно впливає на загальну вартість системи, водночас зберігаючи високий рівень надійності. У цьому пункті виконується розрахунок необхідної номінальної потужності дизель-генератора з урахуванням пікового навантаження будинку, коефіцієнта одночасності споживачів та запасу потужності для запуску індуктивних навантажень. Також визначається розрахунковий час автономної роботи та обсяг паливного бака, необхідний для забезпечення заданого періоду резервного електропостачання. При виборі генератора враховуються вимоги до рівня шуму, економічності палива, можливості автоматичного запуску та інтеграції з іншими компонентами системи.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики дизель-генератора

Параметр	Значення
Номінальна потужність	20 кВт
Номінальна повна потужність	25,0 кВА (при $\cos\varphi=0,8$ )
Напруга	380/220 В, 3ф
Частота	50 Гц

Дизельний генератор має номінальну потужність 20 кВт, що є значно більше пікового навантаження (9 кВт). Це дає запас для надійності і можливість підключення додаткових споживачів. Отже, потужність генератора дозволяє обслуговувати всі споживачі і резервувати енергію для зарядки акумулятора.

Відповідність навантаженню

Зимове навантаження (8,93 кВт) < Номінал (20 кВт) — ✓ ДГ забезпечує з запасом 2,2×

Оптимальний діапазон завантаження: 10–16 кВт (50–80%)

Таблиця 2.7 – Витрата палива

Режим	Потужність	Витрата палива
50% навантаження	10 кВт	2,53 л/год
75% навантаження	15 кВт	3,30 л/год
100% навантаження	20 кВт	4,40 л/год

Необхідний запас палива:

На 24 год роботи: ~74 л

На 72 год роботи: ~222 л

На 168 год (тиждень): ~517 л

## 2.5 Розрахунок гібридного інвертора та системи керування

Гібридний інвертор є центральним компонентом безперебійної системи живлення, що забезпечує узгоджену взаємодію всіх джерел енергії — сонячних панелей, акумуляторної батареї, дизель-генератора та зовнішньої електромережі (за наявності підключення). На відміну від звичайного сіткового або автономного інвертора, гібридний пристрій реалізує інтелектуальне розподілення енергетичних потоків, пріоритизуючи використання відновлюваних джерел, оптимізуючи режими заряду-розряду акумуляторів та забезпечуючи миттєве перемикавання на резервне живлення без перерви в електропостачанні. Від правильності вибору номінальної потужності інвертора, його топології та функціональних можливостей безпосередньо залежить загальна ефективність, надійність та ресурс енергетичного обладнання системи. У даному пункті виконується розрахунок необхідної потужності гібридного інвертора з урахуванням пікового та середнього навантаження будинку, коефіцієнта перевантаження та запасу на перспективу. Розглядаються ключові характеристики системи керування: алгоритми МРРТ-трекінгу для фотоелектричних модулів, логіка роботи з акумуляторною батареєю (захист від глибокого розряду, температурна компенсація заряду), протоколи автоматичного запуску дизель-генератора та інтеграції з «розумним будинком».

Обґрунтовується вибір конкретної конфігурації інвертора та системи керування, що відповідає технічним вимогам проекту та забезпечує оптимальний баланс між продуктивністю, вартістю та довговічністю всієї системи.

### 2.5.1 Вибір потужності інвертора

Розрахункове зимове навантаження: 8,93 кВт

Коефіцієнт запасу: 1,25

Мінімальна потужність інвертора: 11,16 кВт

Рекомендований інвертор: 10–12 кВт (3-фазний)



Рисунок 2.4 – Інвертор Deye SUN-10K-SG05LP3-EU-SM2 10kW

### 2.5.2 Розрахунок струмів та вибір перерізу кабелів

Правильний вибір електричних кабелів є невід'ємною умовою безпечної та ефективної експлуатації безперебійної системи живлення. Недостатній переріз провідників призводить до надмірного нагрівання, втрат енергії та прискореного старіння ізоляції, що створює ризик короткого замикання та пожежі. Навпаки, завищений переріз збільшує вартість матеріалів та ускладнює монтаж без суттєвого підвищення надійності. У даному пункті виконується розрахунок

робочих та аварійних струмів для всіх ділянок системи: від фотоелектричних модулів до інвертора, від інвертора до акумуляторної батареї, від генератора до розподільчого щита та від щита до кінцевих споживачів. Переріз кабелів визначається з урахуванням допустимої густини струму, умов прокладання (відкриті та закриті траси, кабельні канали, підземна прокладка), матеріалу жил (мідь чи алюміній), типу ізоляції та температурного режиму експлуатації. Також перевіряється стійкість обраних кабелів до струмів короткого замикання та узгоджується з номіналами захисної апаратури (запобіжників, автоматичних вимикачів). Всі розрахунки виконуються відповідно до вимог ПУЕ та ДСТУ, що гарантує електробезпеку та довговічність електромонтажних робіт.

Таблиця 2.8 – Розрахунок струмів та вибір перерізу кабелів живлення

Ділянка	I, А	L, м	$\Delta U$ , %	S <sub>min</sub> , мм <sup>2</sup>	Вибрано
DC СЕС → Інвертор (48 В)	109,6	15	2,0	60,0	70 мм <sup>2</sup>
DC АКБ → Інвертор (48 В)	104,2	5	1,0	38,0	50 мм <sup>2</sup>
AC Інвертор → Щит (380 В)	14,3	10	3,0	0,4	4 мм <sup>2</sup>

### 2.5.3 Вибір захисної апаратури

Захисна апаратура є останнім, проте критично важливим бар'єром надійності безперебійної системи живлення, призначеним для оперативного відключення пошкоджених ділянок, запобігання розвитку аварійних режимів та захисту життя і здоров'я людей від ураження електричним струмом. У складі гібридної сонячної системи захисні пристрої виконують ще й специфічні функції: ізоляцію постійного контуру фотоелектричних модулів від змінного, захист інвертора від зворотних струмів, координацію роботи паралельних джерел живлення та забезпечення селективності спрацювання при виникненні несправностей. У даному пункті виконується вибір автоматичних вимикачів, запобіжників, пристроїв захисного відключення (ПЗВ), розрядників та обмежувачів перенапруги для всіх функціональних зон системи — постійнотоквої частини (DC), зміннотоквої (AC), акумуляторної підсистеми та лінії підключення дизель-генератора. Номінали апаратури визначаються на

підставі розрахункових струмів, кривих час-струмових характеристик, ступеня чутливості до диференціальних струмів та класу захисту від імпульсних перенапруг. Особливу увагу приділено селективності захисту, що виключає каскадне відключення справних ділянок при локальній несправності, а також узгодженості з типом обраних кабелів та електричними параметрами інвертора. Всі рішення прийняті відповідно до вимог ПУЕ, ДСТУ 3845, ІЕС 60364 та специфічних стандартів для сонячних електроустановок.

Таблиця 2.9 – Вибір захисної апаратури

Пристрій	Характеристика
Ввідний автомат (мережа 380 В)	3Р, 18 А, хар-ка С
Автомат захисту СЕС (DC)	138 А, 60 В DC
Автомат захисту АКБ (DC)	131 А, 60 В DC
Вимикач навантаження (3ф)	16 А
Опір заземлення	$\leq 4$ Ом

## 2.6 Енергетичний баланс та режими роботи

Комплексний аналіз енергетичного балансу є завершальним етапом проектування безперебійної системи живлення, що дозволяє перевірити адекватність обраного обладнання реальним умовам експлуатації та забезпечити оптимальне використання всіх джерел енергії протягом року. Енергетичний баланс відображає співвідношення між виробництвом електроенергії сонячними панелями, запасами в акумуляторній батареї, енергоспоживанням будинку та роботою резервного дизель-генератора за різних погодних та сезонних умов. На підставі цього аналізу визначаються основні режими функціонування системи: автономний режим з повним покриттям навантаження від сонячних панелей та акумуляторів; гібридний режим із частковим використанням зовнішньої мережі або генератора; режим резервного живлення при повній відсутності сонячної інсоляції та розряді акумуляторів. У даному пункті виконується розрахунок місячного та річного енергетичного балансу з урахуванням змінної інсоляції,

коефіцієнтів втрат у фотоелектричних модулях, інверторі та кабельних лініях, а також ефективності циклів заряду-розряду акумуляторної батареї. Розглядаються типові та екстремальні сценарії навантаження, визначається кількість годин автономної роботи, частота залучення дизель-генератора та прогнозований рівень самозабезпеченості електроенергією. Отримані результати дають змогу оцінити економічну доцільність проекту, оптимізувати параметри системи та гарантувати безперебійне електропостачання замиського будинку впродовж усього року.

Таблиця 2.10 – Щодобовий енергетичний баланс (типовий зимовий день)

Показник	Значення
Спожито за добу	61,23 кВт·год
Від СЕС	46,30 кВт·год (75,6%)
Від АКБ (розряд)	15,43 кВт·год
Від мережі	22,15 кВт·год (36,2%)
Від ДГ	9,49 кВт·год (15,5%)
Заряд АКБ	14,13 кВт·год

## 2.7 Розрахунок надійності

Надійність є одним із ключових показників якості проекрованої безперебійної системи живлення, оскільки саме від неї залежить здатність системи виконувати свої функції в заданих умовах експлуатації протягом установленого терміну служби. Гібридна система, що поєднує сонячні панелі, акумуляторну батарею, дизель-генератор та гібридний інвертор, являє собою складну відновлювану структуру, де відмова окремого елемента може як повністю зупинити електропостачання, так і бути компенсована резервними засобами залежно від архітектури системи. У даному пункті виконується розрахунок показників надійності системи в цілому та її основних підсистем з урахуванням інтенсивності відмов елементів, часу відновлення, наявності резервування та структурної надлишковості. Визначаються ймовірність

безвідмовної роботи, середній наробіток на відмову, коефіцієнт готовності та ймовірність відсутності електропостачання для споживача впродовж року. Особливу увагу приділено аналізу чутливості системи до відмов критичних компонентів — інвертора, акумуляторної батареї та системи керування, а також оцінці ефективності застосування резервування окремих елементів для підвищення загальної надійності. Розрахунки базуються на нормативних даних щодо надійності електротехнічного обладнання, статистичних показниках відмов сонячних енергосистем та методах теорії надійності технічних систем, що дозволяє обґрунтовано підтвердити відповідність проекту вимогам технічного завдання щодо безперебійності електропостачання.

Таблиця 2.11 – Розрахунок надійності

Сценарій	Ймовірність відсутності живлення
Тільки мережа	86,47%
Мережа + ДГ (автономний)	4,22%
Повна система (всі резерви)	<0,000004%
Середній час відновлення	6 сек (автоматичне перемикання)

## 2.8 Розрахунок теплових режимів

Під час роботи елементи системи виділяють тепло, що впливає на їхню ефективність та довговічність. У даному пункті виконується перевірка нагрівання кабелів, інвертора та акумуляторної батареї при номінальних та пікових навантаженнях. Розрахунки проводяться з урахуванням умов встановлення обладнання (відкритий/закритий простір, природна чи примусова вентиляція) та допустимих температурних меж згідно з технічною документацією виробника. Отримані результати дають змогу обґрунтувати необхідність додаткового охолодження або зміни умов монтажу окремих компонентів.

Таблиця 2.12 – Тепловий баланс техприміщення (клімат III пояс, до  $-25^{\circ}\text{C}$ )

Параметр	Значення
Об'єм приміщення	15 м <sup>3</sup>
Площа огорожень	20 м <sup>2</sup>
Теплопровідність стін	0,5 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Тепловтрати при $-25^{\circ}\text{C}$	300 Вт
Внутрішні тепловиділення	450 Вт
Тепловий баланс	+150 Вт (надлишок)

Таблиця 2.13 – Критичні вимоги для клімату III поясу

Компонент	Вимога
Акумулятори LiFePO <sub>4</sub>	Акумулятори LiFePO <sub>4</sub>
Дизель-генератор	Передпусковий підігрів при $-25^{\circ}\text{C}$ (1000 Вт, 15–30 хв)
Вентиляція ДГ	500 м <sup>3</sup> /год витяжка

## 2.9 Економічний розрахунок

Економічна доцільність проекту визначається співвідношенням між капітальними витратами на обладнання та монтаж системи та економією від скорочення споживання електроенергії з зовнішньої мережі або повної відмови від неї. У даному пункті виконується розрахунок собівартості електроенергії, виробленої системою, строку окупності інвестицій та чистої теперішньої вартості проекту. Враховуються витрати на придбання, встановлення та обслуговування обладнання, а також прогнозовані ціни на дизельне паливо та електроенергію. Результати дозволяють оцінити економічну привабливість системи в порівнянні з традиційним електропостачанням.

Таблиця 2.14 – Капітальні витрати

Сонячні панелі 5 кВт	3500
Гібридний інвертор 10 кВт	2500
Акумулятор LiFePO4 10 кВт·год	4000
Дизель-генератор 20 кВт	8000
Система керування	1500
Кабельна продукція та захист	1200
Монтаж та пусконаладження	2500
<b>ВСЬОГО</b>	<b>23200</b>

Таблиця 2.15 – Щорічні витрати

Стаття	Сума, \$/рік
Електроенергія від мережі	2177
Паливо ДГ	720
Технічне обслуговування	500
Амортизація (20 років)	1160
<b>ВСЬОГО</b>	<b>~\$4557</b>

Економія порівняно з повністю мережевим живленням: ~\$885/рік

Термін окупності (без врахування неекономічних факторів): ~26 років

## 2.10 Рекомендації з проєктування

Розрахункове навантаження будинку становить 6,38 кВт (середньорічне) та 8,93 кВт взимку.

Сонячна електростанція 5 кВт виробляє ~3980 кВт·год/рік (58% річного споживання), але взимку забезпечує лише 3,5 кВт·год/добу.

Акумулятор 10 кВт·год забезпечує лише ~0,9 год автономії при повному зимовому навантаженні — рекомендується збільшення до 15–20 кВт·год.

Дизель-генератор 20 кВт повністю покриває зимове навантаження з запасом 2,2×.

Надійність системи з усіма резервами — ймовірність відсутності живлення <0,000004%.

Таблиця 2.16 – Рекомендації з проєктування

Рекомендація	Обґрунтування
Збільшити ємність АКБ до 15–20 кВт·год	Поточна ємність забезпечує <1 год автономії взимку
Встановити регульований кут нахилу панелей	30° влітку, 60° взимку — збільшить зимове вироблення
Обладнати ДГ передпусковим підігрівачем	Обов'язково при $-25^{\circ}\text{C}$
Резервний бак палива 300–500 л	Автономність 72+ год
Підігрів АКБ при $t < 0^{\circ}\text{C}$	LiFePO4 не заряджається при мінусовій температурі
Автоматичний запуск ДГ при SOC < 20%	Захист від глибокого розряду

Алгоритм роботи системи (пріоритети)

Пріоритет 1: Сонячні панелі → пряме живлення + зарядка АКБ

Пріоритет 2: Акумулятор → живлення навантаження (вночі/похмуро)

Пріоритет 3: Мережа 380 В → резерв + зарядка АКБ

Пріоритет 4: Дизель-генератор → аварійне живлення

(запуск: мережа відключена + SOC < 20% +  $t > -15^{\circ}\text{C}$ )

Дизель-генератор (20 кВт) має достатню потужність для покриття пікового навантаження та зарядки акумулятора.

Сонячні панелі на 5 кВт забезпечують додаткове джерело енергії, особливо у сонячний період, що зменшує витрату пального.

Акумулятори є необхідним буфером для безперебійного переходу між джерелами живлення і покривають близько 1 год автономної роботи.

При проектуванні системи потрібно передбачити контролер заряду, перемикачі живлення та систему моніторингу.

## **2.11 Висновки до розділу 2**

У розрахунковому розділі виконано комплексне проектування безперебійної системи живлення для заміського будинку площею 90 м<sup>2</sup>. Визначено склад електроспоживачів та розрахункове навантаження: середньорічне — 6,38 кВт, зимове — 8,93 кВт. Підібрано сонячну електростанцію потужністю 5 кВт, яка забезпечує 58% річного споживання електроенергії. Розраховано акумуляторну батарею LiFePO<sub>4</sub> ємністю 10 кВт·год, дизель-генератор потужністю 20 кВт та гібридний інвертор 10 кВт з повним комплектом захисної апаратури та кабельної продукції. Виконано розрахунок енергетичного балансу, надійності та теплових режимів, що підтверджує працездатність системи в умовах кліматичного поясу III (до -25°C). Економічний аналіз показав загальні капіталовкладення 23 200 \$ та термін окупності близько 26 років. Розроблено рекомендації щодо оптимізації системи: збільшення ємності акумуляторів до 15–20 кВт·год, встановлення регульованого кута нахилу панелей, передпускового підігріву дизель-генератора та автоматичного запуску при зниженні заряду АКБ нижче 20%. Запропонована система забезпечує ймовірність відсутності електропостачання менше 0,000004%, що відповідає вимогам до об'єктів з підвищеною надійністю живлення.

## 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Розрахунок навантаження будинку

Розрахунок основних споживачів електроенергії нашого будинку з урахуванням основних побутових приладів які експлуатуватимуться

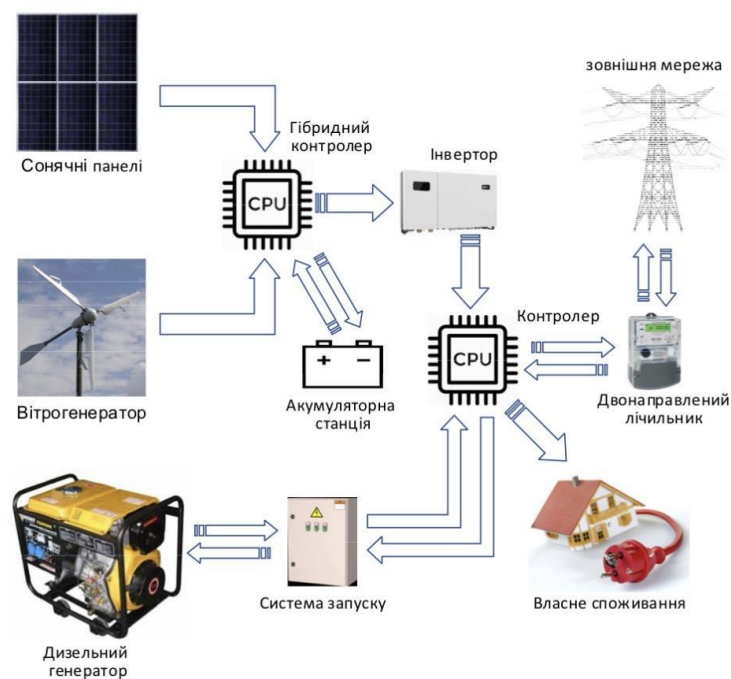


Рисунок 3.1 – Структурна схема електропостачання будинку із використанням альтернативних джерел живлення

Навантаження поділяємо на основні підгрупи ( освітлення, розетки , силові споживачі , інженерне обладнання) це дасть нам змогу правильно побудувати комунікації. Та організувати стабільну роботу і захист системи

Таблиця 3.1 – Прогнозовані електроспоживачі показано в таблиці 3.1

№	Прилад	Потужність, Вт
1	2	3
1	Кондиціонер	3000
2	Посудомийка	1500
3	Пральна машина	1500

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
4	Мікрохвильова піч	1300
5	Світло у всіх кімнатах	825
6	Комп'ютер	500
7	Холодильник	150
8	Кухонна витяжка	150
9	Ноутбук	100
10	Телевізор	150
11	Рушникосушка	150
12	Зарядка телефонів	80
13	Насос для теплої підлоги	50
14	Wifi роутер	20
15	Варильна поверхня	3000
	<b>Сумарна потужність</b>	<b>13 975</b>

Таблиця 3.2 – Розрахунок потужності освітлювального навантаження

Вид світла	Кількість, шт	Потужність	Сумарна потужність
Бра світильник	5	3	15
Трековий світильник	20	12	240
Точковий світильник	11	10	110
Підвісний світильник	2	15	30
Підсвітка дзеркал	3	10	30
LED підсвітка	33	12	400
<b>Сумарна потужність</b>			<b>825</b>

Так як всі прилади в нас не працюють одночасно застосовується коефіцієнт загального попиту для квартир згідно з ПУЕ та ДБН, рекомендовано брати ( 0.5-0.8) в даному випадку беремо 0.6 розрахункове одночасне навантаження  $13975 * 0.6 = 8385 \text{ вт}$  (8.39 кВт)

Згідно з розрахунків струм ввідного автоматичного вимикача 38.11а

Вибираємо найближче значення 40А

На дану роль нам підходить вмикач **Schneider Electric RESI9 40 А**



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд ввідного вимикача Schneider Electric RESI9 40А

Так як найбільша потужність споживання в нас є 3500 вт підбираємо решту автоматичних вимикачів і зупиняємо вибір на 16А **Schneider Electric 16А**



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд ввідного вимикача Schneider Electric 16А

Для захисту системи від перевантаження використовуємо реле напруги  
Забезпечує три незалежні регулювання

- Поріг спрацювання за мінімальною напругою 120-210 В
- -поріг спрацювання за максимальною напругою 230- 280 В
- -час спрацювання повторного вмикання 5-250с
- Вибираємо реле напруги однофазне



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд реле апруги Schneider Electric RESI9

Загальна принципова схема щита спроектованого в дипломному проекті зображена на рисунку 3.5. На схемі показано розташування заживлення автоматів захисту. Фази живлення під'єднано знизу щита а нулі праворуч. Перша шина відповідає за пральну машину, сушильну машину, санвузол та розетки. Друга нульова шина призначена для споживачів, що повинні мати резервне живлення (холодильник wіfі, розетки, спальня, освітлення будинку)

Інші однополюсні автоматичні вимикачі це потужні споживачі (варильна поверхня , посудомийка, пральна машина, кондиціонер, бойлер).

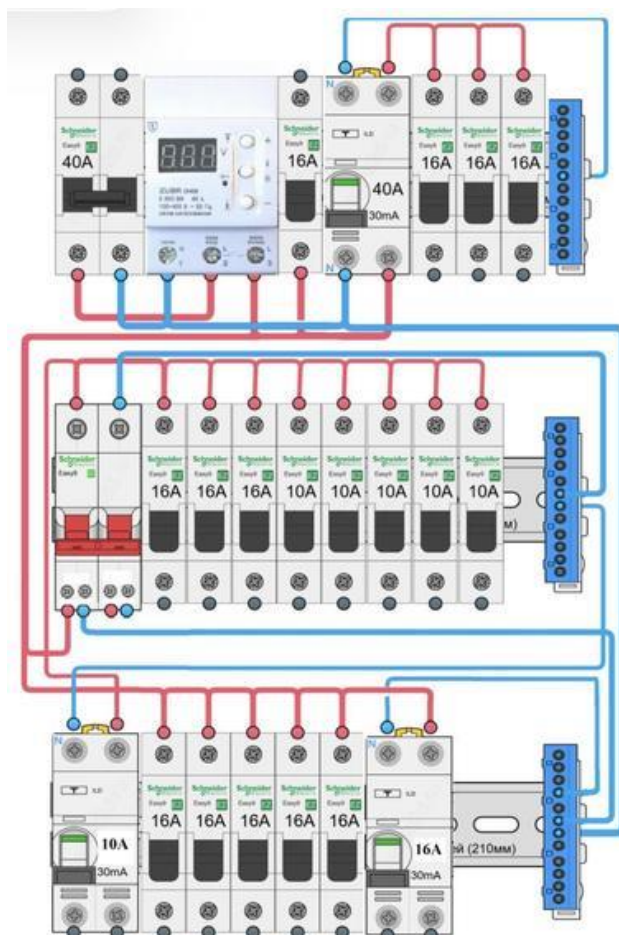


Рисунок 3.5 – Принципова схема електричного будинкового щита

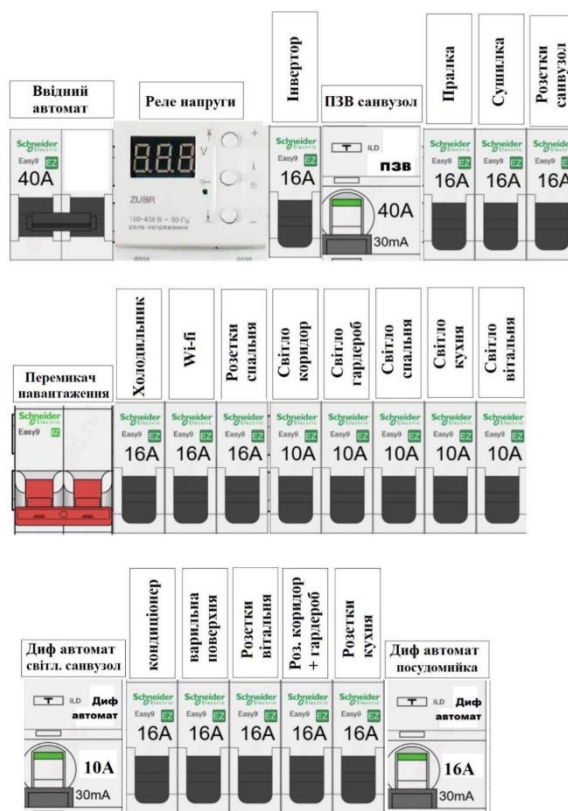


Рисунок 3.6 – Схема підписаної захисної апаратури.

Обрана захисна апаратура забезпечує:

- повний захист людей та обладнання в умовах експлуатації
- відповідність сучасним нормам електробезпеки
- можливість відключення певних груп споживачів
- автоматичне перемикання на резервне живлення

### 3.2 Вибір акумуляторної батареї

З таблиці 3.1 ми вираховали що споживання резервного живлення під час відключення 700 Вт.

Час автономної роботи 8 годин.

Необхідна енергія 6000 Вт\год

Необхідно врахувати ККД інвертора 97% та резервну глибину розряду 90;

В перерахунку реальної потреби в резервну отримуємо значення 7732 Вт\год

Вибираємо акумулятор **Deye SE-G5.1Pro-B LiFePO4 51,2V/100AH** - 2 шт.

Таблиця 3.3 – Основні характеристики акумуляторної батареї.

Тип акумулятора	DEYE SE-G5.1 Pro-b
Ємність	100 а год
Номінальна напруга	51.2 В
Енергія	5.12 кВт\год
Макс струм заряду	100 А
Піковий струм заряду\розряду	150 Ф
Робоча температура	-20.....+55
Макс.рекомендована глибина розряду	90%
Вага	45 кг
Житєвий цикл	6000

На рисунку 3.7 зображено вибраний акумулятор.



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд акумулятор Deye SE-G5.1Pro-B.

### 3.3 Вибір інвертора

Ми обрали інвертор **Гібридний сонячний інвертор (hybrid) Deye SUN-6K-SG05LP1-EU-AM2-P WiFi,**

Це гібридний інвертор з можливістю підключення сонячних панелей для використання в жилих приміщеннях. Інвертор автоматично заряджатиме акумулятори при наявності як сонячної енергії а в разі її відсутності триматиме заряд акумуляторів на рівні 98 %забезпечуючи зарядку від централізованого енергопостачання . функція АВР автоматично переключатиме споживання в разі відсутності в мережі центрального енергопостачання від акумулятора

Основні характеристики представлені в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Основні характеристики інвертора Deye SUN-6K-SG05LP1-EU-AM2-P WiFi

Тип інвертора	<b>Deye SUN-6K-SG05LP1-EU-AM2-P</b>
Кількість фаз живлення	1
Діапазон напруги акумулятора	40-60 в
ККД	Не менше 97.6%
Макс зарядний\розрядний струм	90А
Макс вихудна потужність	3.6 кВт
Вага	25 кг
Робоча температура	-25.....+60
Клас захисту IP	65

На рисунку 3.8 зображено інвертор **Deye SUN-6K-SG05LP1-EU-AM2-P**



Рисунок 3.8 – Загальний вигляд інвертора Deye SUN-6K-SG05LP1-EU-AM2-P WiFi

В результаті ми маємо 2 акумулятори загальною ємністю 200А що нам дає 9.2 кВт. Що при максимальному споживанні нам дасть 3 години автономної роботи а в разі економної біля 8 год , а в сонячний день за рахунок енергії сонця ще більше

### 3.4 Підключення системи

Інвертор та акумулятори розміщуються в підвалі звідки є доступ до електроцита

Інвертор прикручений до стіни дюбелями. Вхід живлення подаємо через автоматичний вимикач 16А вихід підключено в щиті на ВХІД 2

На вхід і вихід живлення подається кабелем 3\*25мм<sup>2</sup>

Акумулятори зеднані паралельно провідником з перерізом 25мм<sup>2</sup> на кінцях затиснені наконечниками.

Особливості обслуговування проводиться раз в 6 місяців:

- Перевірка затискачів на акумуляторах.
- Очищення вентиляційних отворів інвертора.
- Контроль напруги заряду та залишку ємності
- Раз на рік повний цикл заряд-розряд для калібрування BMS
- Рекомендація в експлуатації даної системи це в разі вимкнення живлення не користуватися потужними приладами електроспоживання для продовження часу автономності.

### **3.5 Висновки до розділу 3.**

У результаті виконаних розрахунків та технічного обґрунтування було:

Визначено навантаження будинку з урахуванням основних побутових споживачів, що дозволило сформувати структуру електропостачання та підібрати захисну апаратуру.

Обрано автоматичні вимикачі та реле напруги Schneider Electric, які забезпечують відповідність сучасним нормам електробезпеки та можливість гнучкого керування групами споживачів.

Розраховано резервне живлення та підібрано акумуляторні батареї Deye SE-G5.1Pro-B, що гарантують автономну роботу системи протягом 6–8 годин.

Вибрано інвертор Deye SUN-6K-SG05LP1-EU-AM2-P, який забезпечує ефективну інтеграцію сонячних панелей та автоматичне перемикання на резервне живлення.

Розроблено схему підключення системи з урахуванням вимог безпеки та зручності експлуатації.

Таким чином, проектно-конструкторський розділ підтверджує технічну доцільність і практичну реалізованість запропонованої системи електропостачання будинку. Вона забезпечує стабільну роботу, захист обладнання та людей, а також можливість автономного функціонування завдяки використанню сучасних акумуляторних батарей та гібридного інвертора.

## **4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1 Аналіз небезпек і оцінка професійних ризиків при проектуванні, монтажі та експлуатації безперебійної системи живлення заміського будинку**

Безперебійна система живлення (БСЖ) для заміського будинку поєднує джерела енергії (мережа, генератор, фотоелектричні модулі), системи акумулювання (АКБ), перетворювальне обладнання (інвертори, зарядні пристрої, АВР) та розподільчу інфраструктуру. Життєвий цикл БСЖ охоплює проектування, постачання, монтаж, введення в експлуатацію та технічне обслуговування. На кожній стадії існують небезпеки, які впливають на безпеку праці виконавців і побутову безпеку користувачів, а також на пожежну та електробезпеку будівлі. Мета питання — ідентифікувати джерела небезпек, оцінити ризики, визначити заходи контролю та прийнятні критерії безпечної експлуатації.

Електричні небезпеки: ураження електричним струмом при роботі з колами 230/400 В АС та високими напругами DC (стрінги ФЕ до 600–1000 В у типових рішеннях; для побутових — часто 150–450 В). Ризики дугового пробою, короткого замикання, термічного впливу на провідники, контакт з оголеними шинами в щитах.

Пожежні та термічні небезпеки: перегрів кабельних ліній через неправильний підбір перерізу/захисту; локальні гарячі точки в з'єднаннях; самозаймання або тепловий розгін літєвих АКБ при механічному пошкодженні, перезаряді або зовнішньому нагріві; виділення горючих газів у свинцево-кислотних АКБ під час перезаряду.

Механічні небезпеки: падіння вантажів (АКБ, інвертори, генератори), порізи/проколювання при монтажі, травмування при бурінні та прокладці трас, вібраційний вплив від ДГУ.

Хімічні небезпеки: електроліт свинцевих АКБ ( $H_2SO_4$ ), корозійні випари; продукти горіння; викиди  $CO/NO_x$  від ДГУ; фтористі сполуки при термічному розгоні літєвих елементів.

Фізичні фактори середовища: шум і вібрація ДГУ; підвищена/понижена температура в техприміщенні; недостатня вентиляція; вологість і конденсат; пил, що погіршує тепловідвід і електроізоляцію.

Організаційні ризики: несанкціонований доступ до щитів; відсутність маркування; помилки в перемиканнях (ввімкнення під навантаженням неузгоджених джерел), відсутність процедур Lockout/Tagout (LOTO).

Експлуатаційні збої: відмова АВР або релейного захисту; нестабільна робота інвертора при пікових пусках; деградація АКБ, що знижує резерв; невідповідність заземлення і потенціалів між джерелами.

Поділ джерел і селективність захистів: ввідний автомат, окремі автомати ліній, УЗО/ВДТ на групи, пристрої захисту від перенапруг (ПЗП) на ввід/розподіл, ДС запобіжники на стрінгах/АКБ.

Заземлення і вирівнювання потенціалів: контур заземлення будівлі, шина ГЗШ, підключення металоконструкцій і шаф, окреме під'єднання ДГУ і ФЕ-рам до ГЗШ з урахуванням ПУЕ/ДБН.

Розділення кіл АС/DC: окремі кабель-канали/лотки, міжповерхневі перегородки в щитах, маркування напруг і напрямків енергії.

Вибір негорючих/важкогорючих матеріалів для щитів і облицювань; самозатухаючі кабелі з низьким димовиділенням (нг-LS/FRLS).

Вогнезупинки в місцях проходів кабелів між протипожежними відсіками.

Датчики диму/тепла у технічних приміщеннях; вогнегасники класів АВС, для літєвих батарей — засоби локалізації/охолодження, сухі порошкові або водяні розпилювачі за рекомендаціями виробника батарей.

Розміщення АКБ у виділеному провітрюваному приміщенні або шафі з класом вогнестійкості; відстані до стін/стелі для тепловідведення.

BMS з апаратними межами напруги/струму/температури; температурні датчики на модулях; відсічення при аномаліях.

Для свинцевих — вентиляція з урахуванням виділення водню (H<sub>2</sub>) і нижньої концентраційної межі вибуху; іскробезпечна арматура.

Дизель-генераторна установка (ДГУ), якщо застосовується:

Відокремлене приміщення або кожух з шумопоглинанням і вентиляцією; відведення вихлопу згідно норм, контроль СО.

Система зберігання пального з піддоном-уловлювачем, протипожежні розриви, детектори протікання.

Організація електрощитових:

Мінімальні проходи і зони обслуговування перед шафами; IP-ступінь захисту; захист від доступу дітей/некваліфікованих осіб.

Повне маркування апаратів, напрямків живлення, енергетичних джерел, попереджувальні таблички про наявність двох і більше джерел живлення.

Розробка паспортів і схем: однолінійна схема БСЖ, схеми ЛОТО, журнал обліку робіт під напругою, графік ТО.

Навчання і допуски: інструктаж з електробезпеки, порядок робіт у DC-колах ФЕ/АКБ, роботи на висоті (для панелей), поводження з електролітом/літійовими модулями.

Регламенти ТО: періодичність підтяжки клем, термографія з'єднань, перевірка УЗО, тест ємності АКБ, оновлення прошивок інверторів і BMS, очищення фільтрів вентиляції.

План реагування на аварії: відсічення джерел, порядок евакуації, контакт відповідальної особи/служб, інструкція гасіння пожежі електрообладнання.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Електрозахист: діелектричні рукавиці класу відповідної напруги, окуляри/щитки, інструмент з ізоляцією, діелектричні килимки.

Механічні/хімічні: рукавиці стійкі до кислот (для свинцевих АКБ), захист органів дихання при роботах у пилу, спецодяг з антипіреновою обробкою.

Засоби контролю середовища: газоаналізатори H<sub>2</sub>/СО, термометри/термопары на батарейних відсіках.

Температурний режим для АКБ (типово 15–25 °С), вологість < 80% без конденсації.

Кратність повітрообміну для виведення тепла інверторів/зарядних і можливих газів від АКБ.

Рівні шуму ДГУ та інверторів у межах санітарних норм для житлових приміщень; акустична ізоляція.

Вимір опору ізоляції, контуру заземлення, перевірка спрацювання захистів (УЗО, автомати), випробування АВР під навантаженням, термографія вузлів під номіналом.

Налаштування BMS/інвертора: граничні напруги заряду/розряду, струми, профілі для конкретної хімії (LFP/NMC/AGM/GEL).

Приймально-здавальна документація: акти прихованих робіт, протоколи вимірювань, паспорт БСЖ з інструкцією користувача.

Комплексна система заходів — від інженерних рішень і правильного компонування до процедур ТО та навчання — знижує ризики ураження струмом, пожежі та отруєнь до прийняттого рівня. БСЖ повинна проектуватися з урахуванням селективності захистів, адекватного заземлення, належної вентиляції та чітких регламентів експлуатації.

#### **4.2 Нормативно-правові вимоги з електробезпеки, пожежної безпеки та охорони праці під час влаштування і експлуатації безперебійної системи живлення заміського будинку**

Планування технічних приміщень: межі вогнестійкості огорожувальних конструкцій; двері з самозачиненням; відсіки для АКБ; обмеження спільного розміщення з горючими матеріалами.

Системи виявлення та оповіщення: автоматичні пожежні сповіщувачі (димові/теплові), ручні сповіщувачі біля виходів техприміщень, передача сигналу на ППКП.

Первинні засоби пожежогасіння: мінімальний комплект вогнегасників за площею і класом пожежі; місця встановлення, пломбування, періодичність перезарядки.

Блискавкозахист: за наявності ФЕ на даху — зовнішній блискавкоприймач і система відведення струму; внутрішній захист (еквіпотенціал, ПЗП типу 1).

Кабельні проходки: обробка вогнестійкими матеріалами, що відновлюють протипожежні перешкоди; ведення журналу проходок.

Специфічні вимоги до акумуляторних батарей

Літієві (переважно LFP/NMC):

Обов'язкова наявність сертифікованої BMS з апаратними запобіжниками, температурними датчиками і можливістю швидкого відключення.

Температурні межі експлуатації/заряду; заборона пошкодження корпусу; використання вогнестійких шаф або модулів з сертифікованими оболонками.

Рекомендації з вентиляції для відведення тепла; недопущення сумісного зберігання з легкозаймистими речовинами.

Свинцево-кислотні (AGM/GEL/OPzS):

Вентиляція для відведення водню: розрахунок кратності обміну для досягнення НКМВ; іскробезпечні світильники та вимикачі.

Лотки/піддони, стійкі до кислот; засоби нейтралізації розливів; заборона відкритого вогню, куріння.

Обмеження струмів заряду/розряду згідно паспортів, температурна компенсація заряду.

Охорона праці під час монтажу і ТО

Організація робіт: наряд-допуск для робіт під напругою і у замкнених просторах; ЛОТО при багатоджерельних системах (мережа, ДГУ, ФЕ, АКБ).

Роботи на висоті (монтаж ФЕ): інвентарні помости/страхувальні системи, огороження крайок, погодні обмеження (вітер, опади).

Електровимірювання і налагодження: використання справних приладів з відповідною категорією перенапруг CAT III/IV; перевірка відсутності напруги до

дотику; «три кроки» — відключити, запобігти повторному вмиканню, перевірити відсутність напруги.

Хімічна безпека: інструкції при роботі з електролітом; ЗІЗ очей/шкіри; локальні витяжки; порядок утилізації відходів АКБ згідно з екологічними вимогами.

Ергономіка і піднімання вантажів: межі мас, використання візків/талей; розміщення обладнання на висоті доступного обслуговування.

Експлуатаційна безпека і інформування користувачів

Інструкція користувача: простий алгоритм дій при зникненні/відновленні мережі, переході на ДГУ, повідомлення про аварійні стани інвертора/BMS.

Сигналізація і індикація: зрозумілі підписи, дублювання звукових сигналів світловими; журнал несправностей з часовими мітками.

Обмеження доступу: замки на щитах/шафах, попереджувальні таблички, дитинозахисні рішення.

Періодичні огляди: графік ТО, тестові перемикання АВР, перевірка роботи ПЗП та УЗО, балансування АКБ, резервні стратегії на сезонні піки.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було виконано комплексне дослідження та проектування системи автономного електропостачання заміського будинку. Основні результати можна сформулювати так:

Аналіз альтернативних джерел показав, що найбільш доцільним для приватного використання є сонячна енергетика завдяки її доступності, екологічності та економічній ефективності.

Розрахунок електричного навантаження дозволив визначити сезонні коливання споживання та пікові режими роботи, що стало основою для вибору обладнання.

Проектування сонячної електростанції потужністю 5 кВт підтвердило можливість покриття значної частини енергоспоживання будинку протягом року.

Вибір акумуляторних батарей забезпечив тривалу автономну роботу системи та високий рівень енергонезалежності.

Дизель-генератор був обґрунтований як резервне джерело енергії для критичних умов, що гарантує безперебійність електропостачання.

Гібридний інвертор та система керування забезпечують інтеграцію всіх джерел енергії, оптимізацію режимів роботи та відповідність сучасним вимогам електробезпеки.

Енергетичний баланс підтвердив ефективність запропонованої системи, її економічну доцільність та можливість практичного застосування.

Таким чином, розроблена система електропостачання поєднує сонячні панелі, акумуляторні батареї, дизель-генератор та гібридний інвертор, що дозволяє забезпечити стабільне, безпечне та економічно вигідне електропостачання будинку. Практична значущість роботи полягає у можливості використання запропонованих рішень для проектування та модернізації систем автономного живлення приватних будівель і котелень, сприяючи енергетичній незалежності та розвитку відновлюваної енергетики в Україні.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.
2. World Energy Outlook 2025: звіт про глобальні енергетичні тренди / Міжнародне енергетичне агентство (IEA). 2025.
3. Renewable Energy Prospects for Ukraine: Technical and Economic Potential / IRENA (International Renewable Energy Agency). 2025
4. Analysts map Russia’s systematic push for Ukrainian blackouts. The new voice of Ukraine. 25.02.2026. URL: <https://english.nv.ua/nation/four-campaigns-of-attacks-on-ukraine-s-power-grid-analysts-reveal-logic-behind-russian-strikes-50586889.html> (дата звернення: 27.02.2026). (дата звернення: 27.02.2026).
5. Постанова № 312 від 14.03.2018 Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії ZAKONONLINE URL: [https://zakononline.ua/documents/show/374294\\_\\_\\_787105](https://zakononline.ua/documents/show/374294___787105) (дата звернення: 27.02.2026).
6. ДБН В.2.5-23:2010. Електроустановки житлових і громадських будівель. – К.: Мінрегіон України, 2010. – 68 с.
- 7.
8. Зарядні станції: переваги, різновиди та можливості пристроїв | project.finance.ua. URL: <https://www.project.finance.ua/zaryadnistanciyi> (дата звернення: 14.03.2026)
9. Що таке джерело безперебійного живлення (ДБЖ) та як його вибрати? GAZIK - інтернет-магазин. URL: <https://gazik.ua/shcho-take-dzherelobezperebiinoho-zhyvlennia-dbzh-ta-yak-yoho-vybraty/> (дата звернення: 13.03.2025).

10. Шевченко С. В. Енергоефективність систем генерації з використанням дизельних та газових електростанцій у складі мікромереж. Вісник енергетики України. 2025. № 4.

11. Про затвердження Правил улаштування електроустановок : Наказ Міністерства енергетики України від 21.07.2017 № 476 // База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0476732-17> (дата звернення: 27.01.2026).

12. Миколишин, В., Стасів, А., Сисак, І., Бабюк, С., & Буняк, О. (2025). АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПІСЛЯ АВАРІЙ ЧИ ПЛАНОВОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ. Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ», (October 10, 2025; Oxford, UK), 119-124.

13. Долішній Т. І., Бабюк С. М. Шляхи підвищення надійності розподільчих електричних мереж // Тези XIII МНПК „Актуальні задачі сучасних технологій“, Тернопіль, 11-12 грудня 2024 року. 2024. С. 263–264.

14. Цифровізація розподільчих електричних мереж / В. І. Мазурок, А. М. Дребіт, Ю. Ю. Онисько, С. М. Бабюк // Тези XIII МНПК „Актуальні задачі сучасних технологій“, 11-12 грудня 2024 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2024. — С. 258–260. — (Електротехніка та енергозбереження).

15. Бабюк, С. М., Красножоний, О. В., Барило, В. П., & Брич, Б. В. (2020). Фактори, що впливають на надійність електропостачання. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2, 84-85.

16. Algorithms for automatic of metrological characteristics of transducers / Serhiy Babiuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Yaroslav Osadtsa // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2022. — Vol 107. — No 3. — P. 67–75.

17. Vakulenko, O., Sysak, I., Babiuk, S., & Bunko, V. (2021, December). Features of the enameled wires insulation diagnosing by voltage. In Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021”, 2021 (pp. 27-32). TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk “» LLC.

18. Стасів, А. ., Миколишин, В. ., Сисак, І., Оробчук, Б. ., & Бабюк, С. . (2025). ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ ТА ЇХ ПРАКТИЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ. Collection of Scientific Papers «ЛОГОΣ», (October 31, 2025; Paris, France), 101–108. <https://doi.org/10.36074/logos-31.10.2025.018>

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

20. Bohdan Orobchuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Serhii Babiuk, Vadym Koval (2023) Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAP 2023).

21. Бурштинський М.В., Хай М.В. Апарати захисту та керування в електричних установках низької напруги. – Підручник. – Львів: ТзОВ „Простір М”, 2013. – 732 с.

22. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.