

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Навчально-науковий інститут енергетичної інформаційної
та транспортної інфраструктури

Кафедра альтернативної електроенергетики та електротехніки

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавра

на тему:

**«Проект модернізації системи резервного живлення
на базі дизель-генератора»**

Виконав: студент 3 курсу,
групи НВДЕ-2023-1у
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(Нетрадиційні та відновлювальні джерела
енергії)

 **В. Р. Бабаєв**

Керівник  **О. О. Шкурпела**

Рецензент  **Я. Б. Форкун**

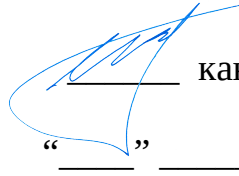
Харків – 2026

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

ННІ Енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури
Кафедра Альтернативної електроенергетики та електротехніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень Бакалавр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
Освітня програма Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

в.о. завідувача кафедри АЕЕ

 канд. техн. наук, доц. **Єгоров О. Б.**
“ _____ ” _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Бабаєву Владиславу Руслановичу

1. Тема проєкту: «Проект модернізації системи резервного живлення на базі дизель-генератора»

керівник проєкту Шкурпела Олександр Олександрович, канд. техн. наук,
затверджені наказом вищого навчального закладу 22.05.2026 року
№ 440-03.

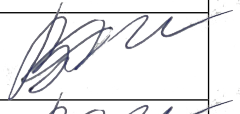
2. Строк подання студентом проєкту 14 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи): Дані по інтенсивності сонячного випромінювання за областями України, ДСТУ 2843-94, ДСТУ 3440-96 Системи енергетичні, Правила улаштування електроустановок, Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз та вибір гібридного інвертора. Розрахунок ємності акумуляторної батареї. Визначення параметрів часу заряд та розряд. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1) Структурна схема системи електропостачання. 2) Діаграма часу заряду та розряду. 3) технічні характеристики гібридного інвертора.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розрахункова частина	Шкурпела О. О., асистент каф. АЕЕ		
Охорона праці	Серіков Я. О., доцент каф. ОП та БЖД		

7. Дата видачі завдання 25 травня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Розрахунок емності акумулятора	25.05.2026-30.05.2026	
2	Розрахунок капіталовкладень та термінів окупності	31.05.2026-05.06.2026	
3	Розробка заходів з охорони праці.	07.06.2026-10.06.2026	
4	Оформлення пояснювальної записки	11.06.2026-12.06.2026	
5	Підготовка та подання дипломного проєкту до захисту.	13.06.2026-14.06.2026	

Студент  Бабаєв В. Р.

Керівник роботи  Шкурпела О. О.

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 62 аркушах формату А4, яка вміщує 4 розділи, 9 таблиць, 28 рисунків, перелік посилань 18 і 9 листів презентації.

Метою дипломної роботи є розробка проекту модернізації системи резервного живлення приватного житлового будинку на базі існуючого дизельного генератора шляхом впровадження гібридного інвертора та акумуляторної батареї.

У роботі було проведено аналіз системи резервного живлення. Описані основні відмінності підходів побудови систем резервного живлення.

У другому розділі обраний гібридний інвертор та розраховані його параметри. Розрахована акумуляторна батарея та визначений необхідний час для її заряду та розряду.

У третьому розділі виконаний розрахунок енергетичного балансу та показаний термін окупності проведення модернізації.

Розглянуто питання охорони праці.

Ключові слова: акумулятор, система резервного живлення, терміни окупності, гібридний інвертор, безпека.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЕНЕРГОВИТРАТ СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ 7	
1.1 Опис системи резервного живлення.....	7
1.2 Режими роботи системи резервного живлення.....	11
1.3 Висновки з розділу 1.....	13
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 14	
2.1 Вибір типу, моделі та розрахунок гібридного інвертора.....	14
2.2 Вибір типу та розрахунок ємності акумуляторної батареї.....	17
2.3 Розрахунок часу заряду/розряду акумуляторної батареї.....	27
2.4 Висновки до розділу 2.....	29
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ 30	
3.1 Розрахунок енергетичного балансу системи електропостачання	30
3.2 Розрахунок капітальних витрат на модернізацію системи резервного живлення	33
3.3 Висновки з розділу 3.....	35
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ 36	
4.1 Завдання в галузі охорони праці.....	36
4.2 Проектування робочого місця науковця в проектно-конструкторській лабораторії сонячної енергетики з урахуванням вимог ергономіки	38
4.3 Визначення небезпечних і шкідливих виробничих факторів при виконанні робіт в проектно-конструкторській лабораторії сонячної енергетики	42
4.4 Розробка організаційних заходів з охорони праці в проектно-конструкторській лабораторії сонячної енергетики.....	44
4.5 Розробка технічних заходів з охорони праці.....	45
4.6 Забезпечення пожежної безпеки у приміщенні проектно-конструкторської лабораторії сонячної енергетики	50
4.7 Висновки до розділу 4.....	51
ВИСНОВОК.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
ДОДАТОК А.....	56

ВСТУП

Надійність електропостачання житлових будинків є одним із ключових факторів забезпечення комфортних умов проживання та безпечної експлуатації сучасного побутового обладнання. У зв'язку зі зростанням кількості електроприладів у приватних домогосподарствах та періодичними аварійними відключеннями електроенергії особливої актуальності набуває використання систем резервного живлення.

Традиційним рішенням для забезпечення автономного електропостачання приватних будинків є використання дизельних або бензинових генераторів. Такі системи характеризуються високою надійністю та можливістю тривалої роботи за відсутності зовнішньої мережі. Проте вони мають низку недоліків, серед яких значні витрати палива, високий рівень шуму, необхідність регулярного технічного обслуговування та обмежений моторесурс.

Сучасний розвиток силової електроніки та акумуляторних технологій дозволяє модернізувати існуючі системи резервного електропостачання шляхом інтеграції гібридних інверторів та акумуляторних батарей. Таке рішення забезпечує безперервне електроживлення споживачів без необхідності постійної роботи генератора. У нормальному режимі електроенергія надходить від зовнішньої мережі через гібридний інвертор, який одночасно підтримує заряд акумуляторної батареї. У випадку зникнення напруги мережі навантаження автоматично переводиться на живлення від акумулятора через інвертор. Дизельний генератор використовується лише як резервне джерело у випадку тривалих аварійних відключень та значного розряду акумуляторної батареї.

Впровадження таких систем дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати, підвищити енергоефективність та зменшити зношення генераторного обладнання. Крім того, використання акумуляторних батарей забезпечує миттєвий перехід на резервне живлення без короточасних перерв, що особливо важливо для електронного обладнання.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЕНЕРГОВИТРАТ СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ

1.1 Опис системи резервного живлення

Об'єктом модернізації є приватний житловий будинок, що живиться від однофазної системою електропостачання напругою 230 В. Для забезпечення електроживлення під час аварійних відключень електроенергії використовується дизельний генератор потужністю 6 кВт.

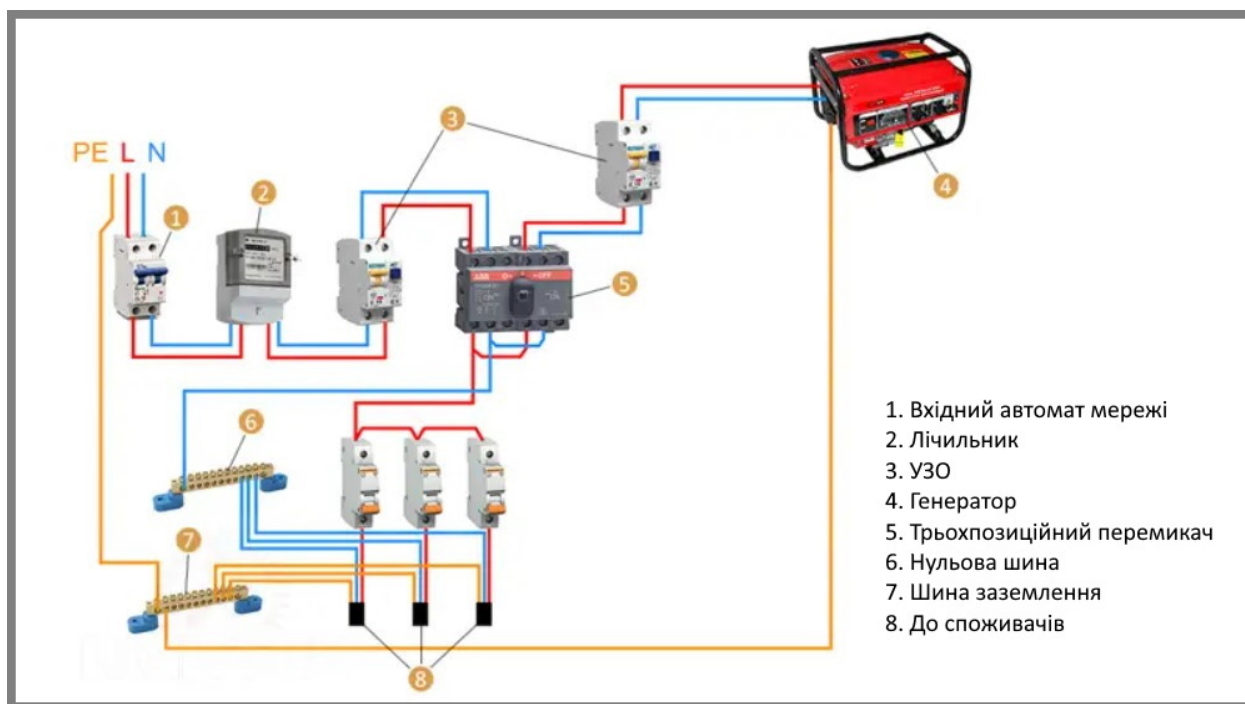


Рисунок 1 – Структурна схема системи резервного живлення з ручним пуском

В найбільш простому випадку система має ручне керування. Тобто при зникненні напруги мережі, запуск генератора виконується в ручну, а подача живлення забезпечується трьохпозиційним перемикачем, як показано на рисунку 1.

Рисунок 2 – Структурна схема системи резервного живлення з АВР

Більш зручна схема резервного живлення (рисунк 2) передбачає автоматичний запуск генератора після зникнення напруги в зовнішній мережі. Після запуску генератора всі споживачі будинку переводяться на живлення від генераторної установки через блок АВР (автоматичне введення резерву).

Блок АВР забезпечує повну автоматизацію процесу перемикання живлення з резервного джерела на централізоване електропостачання. Однак такий пристрій можна встановити лише в тому випадку, якщо був обраний генератор із роз'ємом для цього блоку та функцією автозапуску.

До основних споживачів електроенергії приватного будинку належать:

- система освітлення;
- холодильник;
- газовий котел;
- циркуляційні насоси системи опалення;

- система водопостачання;
- телевізори;
- комп'ютерна техніка;
- мережеве обладнання;
- побутова техніка.

Аналіз експлуатації подібних систем показує, що більшість часу фактичне навантаження не перевищує 1–2 кВт. При цьому генератор потужністю 6 кВт повинен працювати навіть за невеликого навантаження, що призводить до нераціонального використання палива.

Середня витрата дизельного палива генератора потужністю 6 кВт становить приблизно 1,3–1,8 л/год залежно від рівня навантаження. За тривалих відключень електроенергії це призводить до значних експлуатаційних витрат.

Крім витрат палива, до недоліків існуючої системи належать:

- шум під час роботи генератора;
- викиди продуктів згоряння;
- необхідність регулярного технічного обслуговування;
- обмежений ресурс двигуна;
- затримка між зникненням мережі та запуском генератора.

Для усунення зазначених недоліків пропонується модернізація системи шляхом встановлення гібридного інвертора та акумуляторної батареї LiFePO_4 .

Після модернізації схема роботи системи змінюється. Гібридний інвертор стає центральним елементом системи електроживлення. За наявності зовнішньої мережі він працює в режимі байпасу та одночасно підтримує заряд акумуляторної батареї.

У випадку аварійного відключення мережі інвертор автоматично переходить в автономний режим та забезпечує живлення споживачів від

аккумуляторної батареї без перерви в електропостачанні.

Дизельний генератор залишається в складі системи та використовується лише за необхідності зарядження батареї або забезпечення живлення навантаження під час тривалих відключень.

Така структура дозволяє значно скоротити кількість мотогодин роботи генератора та підвищити загальну ефективність системи.

1.2 Режими роботи системи резервного живлення

Модернізована система резервного живлення може працювати в декількох режимах. Загалом режими роботи модернізованої системи визначаються перш за все функційними можливостями інвертора. Тому, остаточні можливості модернізованої системи електропостачання будуть визначені після вибору інвертора.

Першим режимом є штатний режим роботи від зовнішньої електричної мережі.

У цьому випадку електроенергія надходить від міської електромережі до споживачів через гібридний інвертор. Одночасно здійснюється заряд акумуляторної батареї до номінального рівня. Втрати енергії в цьому режимі мінімальні та визначаються коефіцієнтом корисної дії інвертора. Через режимом підтримання акумулятора в буферному режимі, його знос мінімальний, що збільшує його ресурс та знижує вартість системи.

Другим режимом є автономна робота від акумуляторної батареї.

У разі зникнення напруги зовнішньої мережі гібридний інвертор автоматично переходить у режим інвертування постійного струму акумуляторної батареї в змінний струм напругою 230 В частотою 50 Гц. Час перемикання сучасних інверторів становить від 0 до 20 мс, що практично не впливає на роботу побутових споживачів.

Третім режимом є робота від дизельного генератора.

Якщо рівень заряду акумуляторної батареї знижується до встановленого мінімального значення, система автоматично запускає генератор. Генератор забезпечує живлення навантаження та зарядження акумуляторної батареї через вбудований зарядний пристрій інвертора.

Після досягнення необхідного рівня заряду генератор автоматично вимикається.

Четвертим режимом є комбінований режим.

У цьому режимі частина потужності надходить від генератора, а пікові навантаження компенсуються енергією акумуляторної батареї. Це дозволяє уникнути перевантаження генератора та підвищити якість електроенергії.

Аналіз режимів роботи показує, що після модернізації основне навантаження під час короткочасних відключень покриватиметься акумуляторною батареєю. Генератор буде працювати лише епізодично, що суттєво зменшить витрати палива та збільшить ресурс обладнання.

Очікується скорочення часу роботи генератора на 70–90 % порівняно з існуючою системою.

Крім того, використання літій-залізо-фосфатних акумуляторів забезпечує високу циклічну довговічність. Термін служби сучасних батарей LiFePO_4 може перевищувати 6000 циклів заряду-розряду, що відповідає більш ніж 15 рокам експлуатації.

1.3 Висновки з розділу 1

У розділі проведено аналіз існуючої системи резервного живлення приватного житлового будинку.

Встановлено, що використання дизельного генератора як єдиного резервного джерела живлення забезпечує необхідну надійність електропостачання, проте супроводжується значними експлуатаційними витратами, високою витратою палива та підвищеним зношенням обладнання.

Запропоновано модернізацію системи шляхом впровадження гібридного інвертора та акумуляторної батареї LiFePO₄. У модернізованій системі генератор використовується лише як допоміжне резервне джерело енергії.

Проведений аналіз режимів роботи показав, що запропонована структура дозволяє забезпечити безперервність електропостачання, скоротити кількість запусків генератора та підвищити енергоефективність системи.

На підставі проведеного аналізу доцільним є виконання подальших розрахунків параметрів гібридного інвертора та акумуляторної батареї, що буде здійснено у другому розділі дипломної роботи.

РОЗДІЛ 2. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Вибір типу, моделі та розрахунок гібридного інвертора

Гібридний інвертор є основним елементом модернізованої системи резервного живлення. Його основними функціями є:

- перетворення постійного струму акумуляторної батареї у змінний струм напругою 230 В;
- зарядження акумуляторної батареї від зовнішньої мережі або генератора;
- автоматичне перемикавання між джерелами живлення;
- забезпечення безперервності електропостачання споживачів;
- контроль параметрів системи.

Під час вибору потужності інвертора необхідно враховувати максимальне навантаження будинку.

До основних електроспоживачів належать:

	Найменування споживача	Потужність, Вт
	Освітлення	300
	Холодильник	250
	Газовий котел	150
	Насоси опалення	200
	Телевізор	150
	Комп'ютер	250
	Маршрутизатор та мережеве обладнання	50
	Пральна машина	2000
	Мікрохвильова піч	1200

	Електрочайник	2000
--	---------------	------

Сумарна встановлена потужність становить:

$$P_{\text{вст}} = 300 + 250 + 150 + 200 + 150 + 250 + 50 + 2000 + 1200 + 2000$$

$$P_{\text{вст}} = 6550 \text{ Вт}$$

Одночасна робота всіх споживачів практично неможлива. Для побутових споживачів приймається коефіцієнт одночасності:

$$\text{Код} = 0,75$$

Розрахункове навантаження визначається:

$$P_{\text{розр}} = P_{\text{вст}} \times \text{Код}$$

$$P_{\text{розр}} = 6550 \times 0,75 = 4912 \text{ Вт}$$

Отримане значення становить приблизно 4,9 кВт.

Для забезпечення резерву потужності приймається коефіцієнт запасу:

$$K_z = 1,2$$

Необхідна потужність інвертора:

$$P_{\text{інв}} = 4912 \times 1,2 = 5894 \text{ Вт}$$

Отримане значення округлюється до стандартного номіналу:

$$P_{\text{інв}} = 6 \text{ кВт}$$

Таким чином, використання гібридного інвертора потужністю 6 кВт є технічно обґрунтованим та забезпечує необхідний запас потужності.

Для реалізації проєкту може бути використаний сучасний гібридний інвертор класу:

- – Deye SUN-6K-SG03LP1-EU;
- – LuxPower SNA 6000;
- – Voltronic Axpert VM IV 6 kW;
- – Must PV18-6048 VHM.

Основні параметри обраного обладнання:

- – номінальна потужність – 6 кВт;

- – вихідна напруга – 230 В;
- – частота – 50 Гц;
- – ККД – не менше 95 %;
- – автоматичне перемикання режимів роботи;
- – підтримка літєвих акумуляторів.

Таким чином, для модернізованої системи приймається гібридний інвертор потужністю 6 кВт.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд гібридного інвертора
MUST PV19-6048 EXP

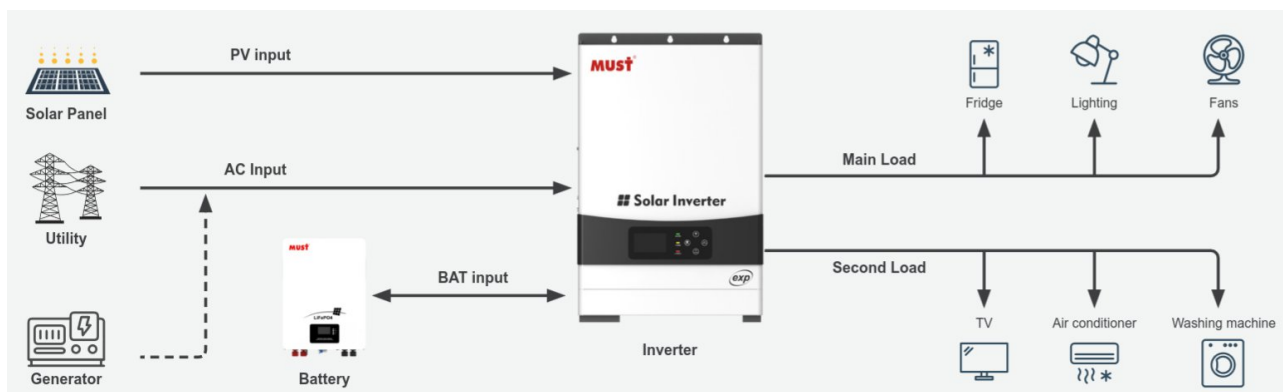


Рисунок 2.2 – Структурна схема підключення гібридного інвертора

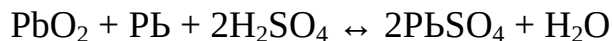
MODEL	PV19-4024 EXP	PV19-6048 EXP
Default Battery System Voltage	24VDC	48VDC
INVERTER OUTPUT		
Rated Power	4000VA / 4000W	6000VA / 6000W
Surge Power	8000W	12000W
Waveform	Pure sine wave	
AC Voltage Regulation (Batt.Mode)	230VAC±5%(Setting)	
Inverter Efficiency(Peak)	92%	
Transfer Time	10ms(UPS / VDE4105) / 20ms(APL)	
AC INPUT		
Voltage	230VAC	
Selectable Voltage Range	170~280VAC(UPS) / 90~280VAC(APL) / 184~253VAC(VDE)	
Frequency Range	50Hz / 60Hz (Auto sensing)	
BATTERY		
Normal voltage	24VDC	48VDC
Floating Charge Voltage	27.4VDC	54.8VDC
Overcharge Protection	30VDC	60VDC
SOLAR CHARGER & AC CHARGER		
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	500VDC (450V for parallel)	
Charging Algorithm	3-Step (Flooded Battery, AGM / GEL / LEAD Battery), 4-Step (Li)	
Maximum PV Array Power	5000W	6000W
PV Array MPPT Voltage Range	150~450VDC (150~430VDC for parallel)	
Maximum Solar Charge Current	100A	120A
Maximum AC Charge Current	80A	100A
Maximum Charge Current	100A	120A
MECHANICAL SPECIFICATIONS		
Machine Dimension (W*H*D)(mm)	322*486*134	309*505*147
Package Dimension (W*H*D)(mm)	575*229*425	603*260*400
N.W (kg)	10.6	12.9
G.W (kg)	12	13.8
OTHER		
Humidity	5% to 95% Relativ Humidity (Non-condensing)	
Operating Temperature	0°C~50°C	
Storage Temperature	-15°C -60°C	
Communication Interface	USB/WIFI	
Warranty	2 year	
CERTIFICATION & STANDARDS		

CE-EMC+LVD (EN6100-6-3:2007, EN6100-6-1:2017+EN IEC62109-1:2010, EN IEC62109-2:2011)
EN IEC62368-1:2020+A11:2020
CE-LVD (IEC62109-1:2010, EN IEC62109-2:2011)
EN IEC62368-1:2018, EN IEC62109-1:2010, EN IEC62109-2:2011

2.2 Вибір типу та розрахунок ємності акумуляторної батареї

Свинцево-кислотний акумулятор застосовується в різних галузях завдяки своїм універсальним здібностям та низької вартості. В залежності від різновиду акумулятора його більш доречно використання буде в тих, чи інших системах, будь то резервне живлення, автономне електропостачання, транспорт, зв'язок та інш.

У зарядженому стані анод (негативний електрод) такого акумулятора складається з свинцю, а катод (позитивний електрод) - з двоокису свинцю PbO_2 . Обидва електроди виготовлені пористими, щоб площа їхнього зіткнення з електролітом була якомога більше. Конструктивне виконання електродів залежить від призначення і ємності акумулятора і може бути вельми різноманітним. Хімічні реакції при заряді і розряді акумулятора представляються формулою:



Для заряду акумулятора теоретично потрібно питома енергія 167 Вт / кг. Цим же числом виражається, отже, і теоретичний його межа питомої акумулюючої здатності. Однак фактична яка акумулює здатність набагато менше, внаслідок чого з акумулятора при розряді зазвичай виходить електрична енергія приблизно 30 Вт/кг. ККД акумулятора (відношення енергії, одержуваної при розряді, до енергії, що витрачається при заряді) зазвичай знаходиться в межах від 70% до 80%. Різними спеціальними заходами (підвищенням концентрації кислоти до 39%, використанням пластмасових конструкційних частин і мідних сполучних частин і ін.) Останнім часом вдалося підвищити питому акумулюючі здатність до 40 Вт · год / кг і навіть трохи вище. З вищенаведених даних випливає, що питома, яка акумулює, здатність свинцевого акумулятора (а також і інших типів акумуляторів) істотно нижче, ніж первинних гальванічних елементів. Однак цей недолік зазвичай компенсується:

можливістю багаторазового заряду і, як результат, приблизно десятикратним зниженням вартості одержуваної з акумулятора електроенергії, можливістю складати акумуляторні батареї з дуже великою енергоємністю (при необхідності, наприклад, до 100 МВт · год). ЕРС свинцевого акумулятора залежить від щільності електроліту і може визначатися експериментальної формулою:

$$E = 0,84 + \gamma, \text{ где } E - \text{ЭДС В, } \gamma - \text{щільність електроліту кг/м}^3$$

Відповідно до цієї формули, початкова ЕРС акумулятора, в залежності від конкретного типу, знаходиться в межах від 2,05 В до 2,10 В. Напруга на затискачах акумулятора може в кінці розряду знизитися до 1,7 В, а в кінці заряду підвищитися до 2,6 В. Кожен цикл заряду-розряду супроводжується деякими незворотними процесами на електродах, в тому числі повільним накопиченням невідновлювальних сірчаноокислого свинцю в масі електродів. З цієї причини через певне число (зазвичай близько 1000) циклів акумулятор втрачає здатність нормально заряджатися. Це може статися і при тривалому невикористанні акумулятора, так як електрохімічний розрядний процес (повільний саморозряд) протікає в акумуляторі і тоді, коли він не з'єднаний із зовнішнім електричним колом. Свинцевий акумулятор втрачає через саморозряду зазвичай від 0,5% до 1% свого заряду в добу. Для компенсації цього процесу в електроустановках використовується постійний підзаряд при досить стабільному напрузі (в залежності від типу акумулятора, при напрузі від 2,15 В до 2,20 В). Іншим незворотнім процесом є електроліз води («закипання» акумулятора), що виникає в кінці зарядного процесу. Втрату води легко компенсувати шляхом доливання, але виділяється водень може разом з повітрям привести до утворення вибухонебезпечної суміші в акумуляторному приміщенні або відсіку. Щоб уникнути небезпеки вибуху повинна передбачатися відповідна належна вентиляція. В останні 20 років з'явилися герметично закриті свинцеві акумулятори, в яких застосовується не рідкий, а желеподібний електроліт. Такі акумулятори можуть встановлюватися в будь-

якому положенні, а крім того, з огляду на, що під час заряду вони не виділяють водню, можуть розміщуватися в будь-яких приміщеннях.

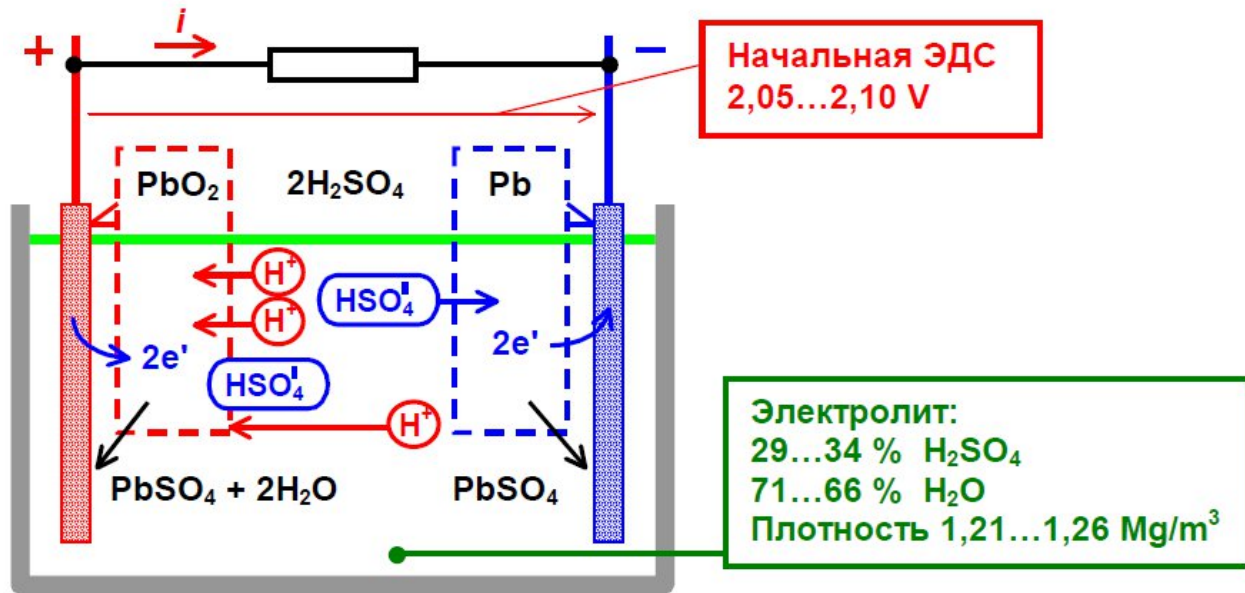


Рисунок 2.1. Структурна схема свинцево-кислотного аккумулятора

Існують такі типи свинцево-кислотних акумуляторів:

Lead-Acid, ті, що потребують обслуговування – 6; 12 В батареї. Це класичні стартерні акумулятори для двигунів внутрішнього згорання і не тільки. Потребують регулярного обслуговування, контролю рівня та щільності електроліту та гарної вентиляції. Мають високий саморозряд.

Valve Regulated Lead-Acid (VRLA), не потребують обслуговування – 4, 6, 12В батареї. Дешеві акумулятори у герметичному корпусі, які допускається використовувати у жилих приміщеннях, не потребують додаткової вентиляції та обслуговування. Рекомендовані для використання в буферному режимі.



Рисунок 2.2. VRLA акумулятор

Absorbent Glass Mat Valve Regulated Lead-Acid (AGM VRLA), Це сучасний акумулятор свинцево-кислотного типу з абсорбованим електролітом (не рідким) та скло волоконними роздільними сепараторами, котрі значно краще зберігають свинцеві пластини, не дозволяючи їм руйнуватися. Таке рішення дозволяє значно зменшити час заряду батареї, оскільки струм заряду може досягати 20-25, рідше 30% від номінальної ємності.

Акумулятори AGM VRLA мають безліч модифікацій з оптимізованими характеристиками для циклічного та буферного режиму роботи: Deep – для частих глибоких розрядів, фронт-термінальні – для зручного розташування в телекомунікаційних стійках, Standart – загального призначення, High Rate – забезпечують кращу розрядну характеристику до 30% та підходять до потужних джерел безперервного живлення, Modular – дозволяють створювати потужні батарейні кабінети і інші.



Рисунок 2.3. OPzV акумулятор EverExceed

GEL Valve Regulated Lead-Acid (GEL VRLA), не потребує обслуговування – 2, 4, 6, 12 В батареї. Одна з останніх модифікацій свинцево-кислотного акумулятора. Технологія ґрунтується на застосуванні желеподібного електроліту, який забезпечує максимальний контакт з негативними та позитивними пластинами елементів та зберігає однорідну консистенцію по всьому об'єму. Даний тип акумуляторів потребує застосування точного зарядного пристрою, який забезпечить точне підтримання заданого рівня напруги та струму, тільки в такому випадку досягаються переваги над AGM VRLA.



Рисунок 2.4. OPzV акумулятор EverExceed

OPzV, не потребує обслуговування – 2 В акумулятори, призначені для складання у батареї безпосередньо на місцях експлуатації. Спеціальні свинцево-кислотні елементи типу OPzV виготовлені з застосуванням трубчастих пластин анода та серно кислотним желеподібним електролітом. Анод та катод елементів мають в своєму складі додатковий метал – кальцій, завдяки якому збільшується стійкість електродів до корозії та збільшується термін експлуатації. Негативні платини – намазні, ця технологія забезпечує кращий контакт з електролітом.

Акумулятори OPzV стійкі до глибоких розрядів та мають довгий термін експлуатації до 22 років. Як правило, для виготовлення подібних елементів живлення застосовуються лише кращі матеріали, щоб забезпечити високу ефективність роботи в циклічному режимі.



Рисунок 2.5. OPzV акумулятор EverExceed

Застосування OPzV затребуване в телекомунікаційних установках, системах аварійного освітлення, джерелах безперебійного живлення, системах навігації, битових та промислових системах накопичення енергії та сонячної електрогенерації.

OPzS, такі, що потребують малого обслуговування – 2, 6, 12 В батареї. Стационарні заливні свинцево-кислотні акумулятори виготовляються з трубчастими пластинами анода з додаванням сурми. Катод також має в своєму складі невелику кількість сурми та представляє собою намазний решітчастий тип. Анод та катод розділені мікропористими сепараторами, які запобігають коротке замкнення. Корпус акумулятора виконаний з спеціального ударостійкого, стійкого до хімічного впливу та вогню прозорого пластику, а вентиляційні клапани відносяться до пожежобезпечного типу та забезпечують захист від можливого потрапляння пламені та іскр.



Рисунок 2.6. OPzS акумулятор Victron Energy

Прозорі стінки дозволяють зручно контролювати рівень електроліту за допомогою відміток мінімального та максимального значення. Спеціальна структура клапанів дає можливість без зняття доливати дистильовану воду та вимірювати щільність електроліту. В залежності від навантаження, додавання води здійснюється один раз у два роки.

Акумулятори типу OPzS мають самі високі характеристики серед всіх інших видів свинцево-кислотних батарей. Термін експлуатації може досягати 20-25 років та забезпечити до 1800 циклів глибокого 80% розряду. Застосування подібних батарей необхідно в системах з вимогами середнього та глибокого розряду, в т.ч. де спостерігаються пускові струми середньої величини.

Для проведення аналізу використовувались усереднені дані більш ніж 10-ти виробників батарей, продукція яких представлена на ринку України в продовж тривалого терміну та успішно використовується в багатьох галузях (EverExceed, B.B.Battery, CSB, Leoch, Ventura, Challenger, C&D Technologies, Victron Energy, SunLight, Troian та інші).

Одним із найбільш перспективних видів акумуляторів є літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO_4), які належать до сімейства літій-іонних батарей.

Завдяки високій надійності, тривалому терміну служби та підвищеній безпеці такі акумулятори широко використовуються в електромобілях, сонячних електростанціях, системах резервного живлення та промисловому обладнанні. У цій доповіді розглянуто історію створення, конструкцію, принцип роботи, переваги, недоліки та перспективи розвитку літій-залізо-фосфатних акумуляторів.

Будова літій-залізо-фосфатного акумулятора

Літій-залізо-фосфатний акумулятор складається з кількох основних елементів:

Катод виготовляється з літій-залізо-фосфату (LiFePO_4). Саме цей матеріал визначає основні характеристики батареї, включаючи безпеку, довговічність та стабільність роботи.

Анод зазвичай виготовляється з графіту. Під час заряджання іони літію переміщуються до анода та накопичуються в його структурі.

Електроліт є середовищем для транспортування іонів літію між електродами. Зазвичай використовуються органічні електроліти на основі солей літію.

Сепаратор являє собою тонку пористу мембрану, яка запобігає безпосередньому контакту анода та катода, але дозволяє проходження іонів літію.

Корпус забезпечує механічний захист елементів батареї та ізоляцію від зовнішнього середовища.

Робота літій-залізо-фосфатного акумулятора базується на переміщенні іонів літію між електродами.

Під впливом зовнішнього джерела струму іони літію виходять із катода LiFePO_4 та переміщуються через електроліт до анода. Електрони рухаються через зовнішній електричний ланцюг і накопичуються на аноді.

Процес відбувається у зворотному напрямку. Іони літію повертаються до катода, а електрони проходять через зовнішнє навантаження, створюючи електричний струм.

Такий механізм забезпечує багаторазове повторення циклів заряджання та розряджання без значного погіршення характеристик батареї.

Літій-залізо-фосфатні акумулятори мають такі типові параметри:

Номінальна напруга одного елемента: 3,2–3,3 В.

Максимальна напруга заряджання: 3,65 В.

Мінімальна напруга розряджання: близько 2,5 В.

ККД: 90–98 %.

Робоча температура: від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Кількість циклів заряд-розряд: від 2000 до 7000 і більше.

Питома енергоємність: 90–160 Вт·год/кг.

Залежно від виробника та умов експлуатації показники можуть змінюватися.

Переваги LiFePO_4 акумуляторів

Високий рівень безпеки

Однією з найважливіших переваг є висока термічна та хімічна стабільність. Матеріал катода не схильний до теплового розгону, що значно зменшує ризик займання або вибуху.

Тривалий термін служби

LiFePO_4 акумулятори можуть працювати протягом 10–15 років та витримувати кілька тисяч циклів заряджання і розряджання.

Екологічність

У складі таких батарей відсутні кобальт і нікель у значних кількостях, що зменшує негативний вплив на довкілля та спрощує утилізацію.

Стабільність напруги

Протягом більшої частини циклу розрядження напруга залишається майже незмінною, що позитивно впливає на роботу електронного обладнання.

Висока ефективність

Коефіцієнт корисної дії досягає 98 %, що дозволяє мінімізувати втрати енергії під час заряджання та розряджання.

Швидке заряджання

Багато сучасних LiFePO_4 батарей підтримують швидке заряджання без значного скорочення терміну служби.

Недоліки літій-залізо-фосфатних акумуляторів

Попри численні переваги, дана технологія має певні недоліки.

Нижча енергетична щільність

Порівняно з літій-нікель-марганець-кобальтовими акумуляторами (NMC), LiFePO_4 накопичують менше енергії на одиницю маси.

Великі габарити

Для забезпечення однакової ємності LiFePO_4 батарея зазвичай має більшу масу та об'єм.

Погіршення характеристик при низьких температурах

За температур нижче 0 °C швидкість заряджання знижується, а доступна ємність може тимчасово зменшуватися.

Вища початкова вартість системи

Хоча вартість одного циклу роботи є низькою, початкові інвестиції можуть бути вищими порівняно з деякими свинцево-кислотними батареями.

Останніми роками LiFePO_4 акумулятори активно використовуються в електромобілях завдяки високій безпеці та довговічності.

Такі батареї широко застосовуються для накопичення енергії від сонячних панелей у приватних будинках та промислових електростанціях.

LiFePO_4 акумулятори використовуються в джерелах безперебійного живлення (UPS), дата-центрах та телекомунікаційному обладнанні.

Через стійкість до вібрацій і довгий термін служби їх встановлюють на яхтах, катерах та інших суднах.

Батареї дозволяють накопичувати електроенергію для автономного живлення побутових приладів.

Таблиця 1.1

Порівняння характеристик акумуляторів

Характеристика	LiFePO ₄	Свинцево-кислотний
Термін служби	10–15 років	3–5 років
Кількість циклів	2000–7000	300–800
ККД	90–98 %	70–85 %
Маса	Низька	Висока
Швидкість заряджання	Висока	Низька
Глибина розряду	До 90 %	До 50 %
Обслуговування	Не потребує	Може потребувати

Порівняння показує, що LiFePO₄ технологія значно перевершує традиційні свинцево-кислотні батареї за більшістю параметрів. Для безпечної експлуатації літій-залізо-фосфатних акумуляторів використовується система керування батареєю (Battery Management System — BMS). Основні функції BMS:

- контроль напруги кожного елемента;
- захист від перезаряду;
- захист від глибокого розряду;
- контроль температури;
- балансування елементів;
- захист від короткого замикання;
- контроль струму заряджання та розряджання.

Без використання BMS експлуатація сучасних літєвих батарей є небезпечною та може призвести до швидкого зносу акумулятора.

Одним із найважливіших етапів проектування є визначення необхідної ємності акумуляторної батареї.

Вихідні дані:

- середнє добове споживання електроенергії – 10–12 кВт·год;
- приймаємо середнє значення:

$$W_{\text{доб}} = 11 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для підвищення надійності системи необхідно забезпечити автономну роботу будинку протягом однієї доби без запуску генератора.

Для акумуляторів LiFePO₄ допускається глибина розряду:

$$\text{DOD} = 80 \%$$

Коефіцієнт корисної дії інвертора:

$$\eta = 0,95$$

Необхідний запас енергії визначається:

$$W_{\text{акб}} = W_{\text{доб}} / (\text{DOD} \times \eta)$$

$$W_{\text{акб}} = 11 / (0,8 \times 0,95)$$

$$W_{\text{акб}} = 14,47 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Отримане значення округлюється до найближчого стандартного номіналу.

Приймається:

$$W_{\text{акб}} = 15 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для інвертора потужністю 6 кВт доцільно використовувати акумуляторну систему напругою 48 В.

Ємність батареї визначається:

$$C = W / U$$

де:

$$W = 15000 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

$$U = 48 \text{ В}$$

$$C = 15000 / 48$$

$$C = 312,5 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Приймається стандартне значення:

$$C = 314 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Отже, для забезпечення автономної роботи будинку необхідна акумуляторна батарея:

48 В, 314 А·год

або

15 кВт·год LiFePO₄.

Використання акумуляторів LiFePO₄ обумовлено такими перевагами:

- високий ресурс циклів заряду-розряду;
- підвищена пожежна безпека;
- низький саморозряд;
- можливість роботи з великими струмами;
- тривалий термін експлуатації.

Розрахунковий термін служби такої батареї становить 10–15 років.

2.3 Розрахунок часу заряду/розряду акумуляторної батареї

Акумуляторна батарея в гібридній системі виконує роль накопичення надлишкової електроенергії в періоди активної сонячної генерації та її віддачу споживачам у вечірній та нічний час або за несприятливих погодних умов. В умовах нестабільності централізованого електропостачання, що особливо актуально для України у зв'язку з важкою ситуацією в енергетиці та систематичними відключеннями електроенергії, АКБ стають невід'ємною частиною для нестабільної мережі.

Для оцінки експлуатаційних можливостей системи необхідно визначити тривалість роботи акумуляторної батареї за різних рівнів навантаження.

Номінальна енергоемність батареї:

$$W = 15 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Корисна ємність з урахуванням допустимого розряду:

$$W_{\text{кор}} = 15 \times 0,8$$

$$W_{\text{кор}} = 12 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Робота при навантаженні 1 кВт

$$t = W_{\text{кор}} / P$$

$$t = 12 / 1$$

$$t = 12 \text{ годин}$$

Робота при навантаженні 2 кВт

$$t = 12 / 2$$

$$t = 6 \text{ годин}$$

Робота при навантаженні 3 кВт

$$t = 12 / 3$$

$$t = 4 \text{ години}$$

Робота при навантаженні 5 кВт

$$t = 12 / 5$$

$$t = 2,4 \text{ години}$$

Аналіз показує, що за характерного для житлового будинку середнього навантаження 1–1,5 кВт система здатна працювати від акумулятора від 8 до 12 годин без запуску генератора.

Далі виконується розрахунок часу зарядження батареї.

Більшість сучасних гібридних інверторів потужністю 6 кВт мають зарядний струм до 120 А.

Потужність зарядження:

$$P_{\text{зар}} = U \times I$$

$$P_{\text{зар}} = 48 \times 120$$

$$P_{\text{зар}} = 5760 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{зар}} = 5,76 \text{ кВт}$$

Час повного зарядження батареї:

$$t_{\text{зар}} = W / P_{\text{зар}}$$

$$t_{\text{зар}} = 15 / 5,76$$

$$t_{\text{зар}} = 2,6 \text{ години}$$

З урахуванням завершального етапу зарядження та технологічних втрат:

$$t_{\text{зар}} \approx 3 \text{ години}$$

Таким чином, дизельний генератор потужністю 6 кВт може забезпечити повне зарядження акумуляторної батареї приблизно за 3 години роботи.

У порівнянні з традиційною системою, де генератор працював протягом усього часу аварійного відключення, модернізована система дозволяє значно скоротити витрати палива та моторесурс генератора.

2.4 Висновки до розділу 2

В другому розділі дипломного проекту виконаний аналіз варіантів методик розрахунку силових елементів системи електропостачання. Виконаний вибір гібридного інвертора та приведені його основні характеристики.

У другому розділі виконано вибір та розрахунок основного силового обладнання модернізованої системи резервного живлення.

На підставі аналізу електричних навантажень встановлено, що необхідна потужність гібридного інвертора становить близько 5,9 кВт. Для реалізації проекту прийнято інвертор номінальною потужністю 6 кВт.

Виконано розрахунок ємності акумуляторної батареї. Встановлено, що для забезпечення добового резерву електроенергії необхідна батарея LiFePO_4 ємністю 15 кВт·год або 314 А·год при напрузі 48 В.

Проведений аналіз показав, що акумуляторна батарея забезпечує автономну роботу будинку від 2,4 до 12 годин залежно від величини навантаження.

Розрахунок часу зарядження показав, що повне відновлення заряду батареї від генератора через гібридний інвертор можливе приблизно за 3 години.

Отримані результати підтверджують технічну доцільність модернізації існуючої системи резервного живлення та є вихідними даними для аналізу експлуатаційних режимів роботи системи.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ

3.1 Розрахунок енергетичного балансу системи електропостачання

Для оцінки ефективності модернізованої системи резервного живлення необхідно виконати розрахунок енергетичного балансу та визначити розподіл енергії між джерелами живлення.

Згідно з вихідними даними середньодобове споживання електроенергії приватного будинку становить:

$$W_{\text{доб}} = 11 \text{ кВт год}$$

Річне споживання електричної енергії визначається за формулою:

$$W_{\text{рік}} = W_{\text{доб}} / 365$$

$$W_{\text{рік}} = 11 / 365 = 4015 \text{ кВт год}$$

У базовому варіанті резервного живлення вся електроенергія під час аварійних відключень виробляється дизельним генератором.

Прийmemo середню тривалість аварійних відключень електроенергії:

$$t_{\text{ав}} = 500 \text{ год/рік}$$

Середнє навантаження резервного режиму:

$$P_{\text{сер}} = 1,5 \text{ кВт}$$

Тоді річне вироблення електроенергії генератором становитиме:

$$W_{\text{ген}} = P_{\text{сер}} \cdot t_{\text{ав}}$$

$$W_{\text{ген}} = 1,5 / 500 = 750 \text{ кВт год}$$

Для дизельних генераторів потужністю 5–7 кВт середня витрата палива складає приблизно:

$$g = 1,5 \text{ л/год}$$

Річне споживання дизельного палива:

$$G = g \cdot t_{\text{ав}}$$

$$G = 1,5 / 500 = 750 \text{ л}$$

Після модернізації значна частина електроенергії під час короткочасних відключень забезпечується акумуляторною батареєю ємністю 15 кВт·год.

Корисна енергія акумуляторної батареї:

$$W_{\text{кор}} = 15 \cdot 0,8 = 12 \text{ кВт год}$$

За умови використання акумуляторної батареї генератор запускатиметься лише під час тривалих відключень електроенергії.

Прийmemo, що час роботи генератора зменшується на 80 %.

Тоді новий річний час роботи генератора:

$$t_{\text{ген2}} = 500 \cdot 0,2 = 100 \text{ год}$$

Річне споживання палива після модернізації:

$$G_2 = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ л}$$

Річна економія дизельного палива становить:

$$\Delta G = 750 - 150 = 600 \text{ л}$$

Таким чином, застосування гібридного інвертора та акумуляторної батареї дозволяє суттєво знизити навантаження на генератор, скоротити витрати палива та підвищити комфорт експлуатації системи резервного живлення.

3.2 Розрахунок капітальних витрат на модернізацію системи резервного живлення

Для реалізації проєкту модернізації необхідно визначити вартість основного обладнання та монтажних робіт.

Таблиця 3.1

Вартість обладнання системи резервного живлення

Найменування обладнання	Кількість	Вартість, грн
Гібридний інвертор 6 кВт	1	65000
Акумуляторна батарея LiFePO4 15 кВт·год	1	150000
Автоматичні вимикачі та захист	1 комплект	12000
Кабельна продукція та кріплення	1 комплект	8000
Монтажні роботи та налаштування	1 комплект	15000

Загальні капітальні витрати:

$$K=65000+150000+12000+8000+15000=250000 \text{ ; грн}$$

Вартість дизельного палива прийmemo 60 грн/л

Річні витрати на паливо до модернізації:

$$750/60=45000 \text{ грн}$$

Річні витрати на паливо після модернізації:

$$150/60=9000 \text{ грн}$$

Річна економія коштів:

$$E=45000-9000=36000 \text{ грн}$$

Орієнтовний термін окупності модернізації трохи менше за 7 років.

Отриманий термін окупності є прийнятним з урахуванням того, що

модернізація забезпечує не лише економію палива, а й підвищення надійності електропостачання, зменшення шуму та збільшення ресурсу дизельного генератора.

3.3 Висновки з розділу 3

У третьому розділі виконано аналіз експлуатаційних режимів модернізованої системи резервного живлення приватного будинку.

Встановлено, що середньорічне споживання електричної енергії становить 4015 кВт·год. При використанні лише дизельного генератора його річний напрацювання може досягати 500 годин, що супроводжується значними витратами палива та прискореним зношенням обладнання.

Після впровадження гібридного інвертора потужністю 6 кВт та акумуляторної батареї LiFePO₄ ємністю 15 кВт·год тривалість роботи генератора зменшується приблизно на 80 %. Річне споживання дизельного палива скорочується з 750 до 150 літрів, що забезпечує економію близько 600 літрів палива на рік.

Загальні капітальні витрати на модернізацію системи становлять близько 250 тис. грн. Розрахований термін окупності проєкту складає приблизно 7 років.

Отримані результати підтверджують технічну та економічну доцільність модернізації системи резервного живлення шляхом встановлення гібридного інвертора та акумуляторної батареї, що дозволяє підвищити енергоефективність, надійність та комфорт експлуатації електроустановки приватного будинку.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Завдання в галузі охорони праці

Охорона праці являє собою сукупність законодавчих норм, а також соціально-економічних, організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці, збереження здоров'я та підтримання працездатності працівників у процесі виконання трудової діяльності.

Система заходів з охорони праці на підприємстві включає організаційні та технічні складові.

Організаційні заходи спрямовані на забезпечення дотримання вимог чинного трудового законодавства України. Їх реалізація базується на положеннях Конституції України, Кодексу законів про працю України, Законів України «Про охорону праці», «Про пожежну безпеку», а також інших нормативно-правових документів, зокрема нормативів щодо проведення навчання, інструктажів та перевірки знань працівників з питань охорони праці.

Технічні заходи мають на меті запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням шляхом створення безпечних умов праці. Вони регламентуються нормативно-правовими актами з охорони праці (НПАОП), які встановлюють вимоги до виконання робіт у різних галузях промисловості, установах та організаціях.

Одним із пріоритетних завдань будь-якого підприємства є збереження здоров'я працівників, створення безпечних і комфортних умов праці, а також попередження виробничого травматизму та професійних захворювань. Використання сучасних підходів до організації праці, автоматизація виробничих процесів, скорочення частки важкої ручної праці та впровадження ефективних заходів безпеки сприяють підвищенню продуктивності праці й зниженню витрат на медичне обслуговування персоналу.

Активний розвиток і впровадження відновлюваних джерел енергії в Україні, що підтримується на законодавчому рівні відповідними нормативними актами, потребує розроблення та впровадження комплексу організаційних і технічних заходів з охорони праці як під час проєктування, так і в процесі експлуатації енергетичних установок. У зв'язку з цим та відповідно до державної політики у сфері охорони праці в даному розділі бакалаврської роботи розглядаються такі питання:

- визначення та забезпечення оптимальних умов праці інженера-дослідника в проєктно-конструкторській лабораторії, де здійснюється розробка та розрахунок теплоаккумулятора системи гарячого водопостачання з використанням сонячних колекторів;
- розрахунок параметрів та проєктування системи штучного освітлення лабораторного приміщення з метою створення комфортних і безпечних умов праці;
- забезпечення електробезпеки під час експлуатації електротехнічного обладнання, що використовується для виконання проєктно-конструкторських робіт.

4.2 Проектування робочого місця науковця в проектно-конструкторській лабораторії сонячної енергетики з урахуванням вимог ергономіки

Робоче місце наукового співробітника в проектно-конструкторській лабораторії, що займається дослідженнями у сфері сонячної енергетики, передбачає постійне використання комп'ютерної техніки. У зв'язку з цим важливого значення набуває ергономічне проектування робочих місць, оснащених відеотерміналами та персональними комп'ютерами.

Організація робочого місця повинна враховувати антропометричні, фізіологічні та психологічні особливості людини. Особлива увага приділяється характеру виконуваних робіт. При облаштуванні робочого місця наукового працівника необхідно забезпечити виконання таких основних вимог:

- раціональне розташування технічного обладнання та засобів праці;
- наявність достатнього робочого простору для вільного виконання необхідних рухів і переміщень;
- створення ефективної системи природного та штучного освітлення;
- забезпечення належного рівня електробезпеки під час експлуатації обладнання.

До основних ергономічних параметрів робочого місця користувача відеотермінала належать: розміри простору для ніг, висота робочої поверхні, умови розміщення документів, характеристики документотримача, можливість регулювання положення документів, відстань від очей користувача до монітора та робочих матеріалів, параметри робочого крісла, а також конструктивні особливості робочого столу й можливість налаштування його елементів відповідно до індивідуальних потреб працівника.

Головними складовими робочого місця наукового співробітника є робочий стіл і ергономічне крісло. Основною робочою позою є положення сидячи.

Робота в сидячому положенні повинна забезпечувати мінімальне фізичне навантаження та не спричиняти передчасної втоми працівника. Для цього необхідно дотримуватись чіткої організації робочого простору, забезпечуючи постійне та впорядковане розташування обладнання, документів і допоміжних засобів. Предмети, які використовуються найчастіше, повинні знаходитися в межах зони легкої досяжності.

Під час організації робочого місця враховують такі складові трудової діяльності:

- моторне поле – частина робочого простору, в межах якої виконуються рухові дії працівника;
- максимальна зона досяжності рук – ділянка моторного поля, обмежена траєкторією руху максимально витягнутих рук відносно плечових суглобів;
- оптимальна зона досяжності – частина робочого простору, що визначається рухами передпліччя в ліктьових суглобах за умови фіксованого положення плеча та опори ліктя.

Для забезпечення максимальної ефективності праці обладнання, інструменти та документація повинні розташовуватись у межах відповідних зон досяжності. Зокрема, комп'ютерне обладнання доцільно розміщувати в центральній частині робочого простору; робочі інструменти – у межах зон частого використання; вимірювальні прилади – з лівого боку робочого місця; допоміжні засоби – праворуч у зоні швидкого доступу.

Документація також повинна розміщуватися відповідно до частоти її використання. Матеріали, необхідні для поточної роботи, рекомендується розташовувати в зоні легкої досяжності рук, тоді як літературу та документи, що використовуються епізодично, доцільно зберігати у висувних шухлядах робочого столу.

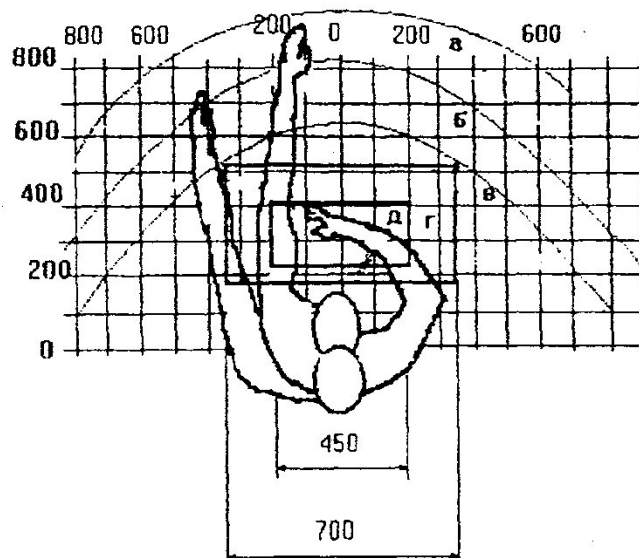


Рис. 4.1 Зони досяжності рук у горизонтальній площині: *а* – зона максимальної досяжності; *б* – зона досяжності пальців при витягнутій руці; *в* – зона легкої досяжності долоні; *г* – оптимальний простір для грубої ручної роботи; *д* – оптимальний простір для тонкої ручної роботи.

Важливим елементом ергономічного забезпечення робочого місця є правильно підібране робоче крісло. Згідно з ергономічними вимогами, висота сидіння відносно рівня підлоги повинна знаходитися в межах 420–550 мм. Бажано, щоб сидіння мало м'яку поверхню та закруглений передній край, що сприяє зменшенню навантаження на нижні кінцівки. Спинка крісла повинна мати можливість регулювання кута нахилу для забезпечення комфортного положення користувача під час роботи.

Під час організації робочого місця необхідно також передбачити зручне розташування документів відносно монітора. Документи можуть розміщуватися як з правого, так і з лівого боку від відеотермінала залежно від особливостей виконуваних завдань. У випадку використання моніторів із недостатньою якістю відображення інформації, зокрема за наявності мерехтіння зображення, рекомендовано збільшувати відстань від очей користувача до екрана приблизно

до 700 мм. Водночас оптимальна відстань до документів зазвичай становить 300–450 мм.

Розташування монітора повинно відповідати встановленим ергономічним нормам. Відстань спостереження рекомендується підтримувати в межах 0,6–1,0 м. Напрямок погляду на центр екрана має бути орієнтований приблизно на 20° нижче горизонтальної лінії зору, при цьому площа екрана повинна бути перпендикулярною до напрямку погляду користувача.

Особливу увагу слід приділяти правильній робочій позі, оскільки тривале перебування в незручному положенні може спричинити втому, а також захворювання опорно-рухового апарату, м'язів і суглобів. Для забезпечення комфортних умов праці рекомендується, щоб нахил голови відносно тулуба не перевищував 20°, плечі перебували в розслабленому стані, ліктьові суглоби були зігнуті під кутом 80–100°, а передпліччя та кисті рук розташовувалися горизонтально.

Для робочого місця, що розглядається, прийнято такі параметри:

- висота робочої поверхні столу – 750 мм;
- висота простору для ніг – 650 мм;
- висота сидіння крісла від рівня підлоги – 450 мм;
- сидіння має м'яку поверхню та закруглений передній край;
- передбачена можливість розміщення документації як з лівого, так і з правого боку робочого місця;
- відстань від очей користувача до екрана монітора становить 700 мм;
- відстань від очей до робочих документів становить 500 мм.

Наведені параметри відповідають ергономічним вимогам до організації робочого місця користувача персонального комп'ютера та сприяють створенню комфортних і безпечних умов праці.

4.3 Визначення небезпечних і шкідливих виробничих факторів при виконанні робіт в проектно-конструкторській лабораторії сонячної енергетики

Виділяємо, відповідно до Міждержавного стандарту ГОСТ 12.0.003-74*. «Небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Класифікація» негативні фактори, які можуть виникнути під час роботи. До них належать:

1) фізичні:

- причини дискомфорту, що зменшують продуктивність праці є, зависока або занижка температура, вологість і підвищена рухомість повітря робочої зони;
- недостатність штучного світла, недостатня освітленість робочої зони - ускладнює розпізнавання зорових образів, що призводить до зорової втоми, яка в свою чергу прискорює загальну втому, що знижує якість показників праці;
- при порушенні ізоляції відбувається підвищення значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може відбутися через тіло людини – джерелом є електрична мережа напругою 220 В. Відсутність засобів колективного захисту може бути причиною електротравм.

2) психофізіологічні:

- статичні перевантаження через тривале перебування в одному положенні, викликають до захворювання кістково-м'язової системи;
- ментальна перенапруга від обробки великої кількості інформації, приводить до зниження працездатності;
- перенапруження зорових аналізаторів виникає внаслідок роботи з малими розмірами об'єкту розрізнення, що викликає втому й як наслідок може (при тривалому впливі) привести до зниження чутливості аналізаторів;

- емоційні перевантаження, що виникають при розв'язанні завдань в умовах дефіциту часу, викликають роздратування, розвивають втому, можуть бути причиною стресу.

4.4 Розробка організаційних заходів з охорони праці в проектно-конструкторській лабораторії сонячної енергетики

Відповідно до вимог НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», у лабораторії необхідно організовувати проведення таких видів інструктажів з охорони праці: вступного, первинного на робочому місці, повторного, а за потреби — позапланового та цільового.

Вступний інструктаж проводиться з усіма працівниками під час їх прийняття на роботу. Його організацію та проведення забезпечує служба охорони праці підприємства. Після завершення інструктажу відповідна інформація вноситься до журналу реєстрації вступного інструктажу.

Первинний інструктаж здійснюється безпосередньо на робочому місці до початку виконання працівником своїх посадових обов'язків. Проведення даного інструктажу покладається на керівника лабораторії або відповідальну особу. Факт проходження інструктажу підтверджується записом у журналі реєстрації інструктажів на робочому місці.

Повторний інструктаж проводиться через встановлені проміжки часу з метою підтримання належного рівня знань працівників щодо вимог безпеки праці та правил безпечного виконання робіт.

Позаплановий інструктаж організовується у випадках зміни технологічного процесу, умов праці, введення в експлуатацію нового обладнання, перегляду нормативних документів з охорони праці, а також після виникнення аварійних ситуацій або нещасних випадків.

Цільовий інструктаж проводиться перед виконанням разових робіт або робіт, які не належать до безпосередніх функціональних обов'язків працівника, а також під час ліквідації наслідків аварій чи виконання робіт за спеціальними нарядами-допусками.

Зміст кожного виду інструктажу повинен відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів з охорони праці та враховувати специфіку

обладнання, характер виконуваних робіт і особливості виробничого середовища лабораторії.

4.5 Розробка технічних заходів з охорони праці

Ефективне освітлення робочого місця є одним з найважливіших факторів ефективності праці людини, запобігання травматизму та професійних захворювань. Якісно виконане освітлення сприяє покращенню умов праці, та підвищує працездатність і продуктивність праці. Освітлення робочого місця проєктанта має бути таким, щоб працівник міг виконувати свою роботу, не напружуючи зір. Втома органів зору має декілька причин: - недостатнє освітлення; - надмірне освітлення; - неправильний напрямок світла.

Недостатнє освітлення викликає напругу зору, послаблює увагу, і призводить передчасної втоми. Занадто яскраве освітлення викликає осліплення, роздратування й різь в очах. Неправильний напрямок світла на робочому місці створюватиме різкі тіні, відблиски, дезорієнтуватиме працівника. Всі ці причини можуть привести до нещасних випадів або професійних захворювань, тому так важливо правильно розрахувати систему освітлення.

Розрахунок освітленості робочого місця складається з вибору системи освітлення та визначення необхідної кількості світильників, їх типу та місця розташування. Робочий процес науковця часто проходить в умовах недостатнього або повної відсутності природного освітлення. Виходячи з цього, розрахуємо параметри системи штучного рівномірного освітлення.

Штучне освітлення здійснюється за допомогою двох видів електричних джерел світла: світлодіодних ламп й люмінесцентних ламп. Я буду використовувати світлодіодні лампи, які мають значні переваги перед люмінесцентними:

- за спектральним складом світла вони можуть бути ближче до природного денного освітлення;
- мають більший ККД (в 1,5...2 рази вище);
- мають кращу світловіддачу (в 3...4 рази вище);
- мають довший термін служби.

Розраховуємо систему штучного рівномірного освітлення методом світлового потоку для виробничих приміщень проектно-конструкторській лабораторії сонячної енергетики площею 36 м², ширина якої – 4,9 м, довжина 7,35 м, висота – 4,2 м.

Світловий потік, який падає на робочу поверхню визначається, для визначення кількості світильників, за формулою (3.1):

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z}{\eta_{ou}}, \quad (4.1)$$

де Φ – світловий потік, що розраховується, лм;

E_n – нормована мінімальна освітленість, лк (визначається за таблицями ДБН В.2.5-28-2018. «Природне і штучне освітлення»). Робота проектанта-конструктора, відповідно до ДБН В.2.5-28-2018, належить групі точних робіт, отже, мінімальна освітленість буде $E_n = 300$ лк;

S – площа освітлюваного приміщення (у даному випадку $S = 36$ м);

K_z – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення (запилення) світильників під час експлуатації (його значення визначають по таблиці 3 в ДБН В.2.5-28-2018, в даному випадку $K_z = 1,5$);

z – коефіцієнт мінімальної освітленості, дорівнює відношенню середньої освітленості до мінімальної освітленості (як правило, рівний 1,1...1,2, приймається $z = 1,1$);

η_{ou} – коефіцієнт використання, (виражається як відношення світлового потоку, який падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і обчислюється в долях одиниці. Він залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення та фарбування стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін (ρ_c) і стелі ($\rho_{ст}$)), значення коефіцієнтів ρ_c і $\rho_{ст}$ визначають в залежності від характеру поверхні: $\rho_c = 30\%$, $\rho_{ст} = 50\%$. Значення

η_{ou} визначається за допомогою таблиці коефіцієнтів використання різних світильників, які можна знайти в кінці світлотехнічного каталогу, шляхом обчислення індекса приміщення за формулою (3.2):

$$\text{[Redacted Formula]} \quad (4.2)$$

де S – площа приміщення, $S = 36 \text{ м}^2$;

h – розрахункова висота підвісу, $h = 3,39 \text{ м}$;

A – ширина приміщення, $A = 4,9 \text{ м}$;

B – довжина приміщення, $B = 7,35 \text{ м}$.

Підставляємо значення у формулу (3.2):

$$\text{[Redacted Formula]} \quad (4.3)$$

Отримавши індекс приміщення i , i знаючи коефіцієнти відбиття ρ_s і ρ_{st} , за таблицею знаходимо $\eta_{ou} = 0,28$.

Для визначення світлового потоку Φ підставляємо всі значення у формулу:

$$\text{[Redacted Formula]} \quad (4.4)$$

Для освітлення обираємо лінійні світлодіодні лампи типу Т8, світловий потік яких $\Phi_{л} = 4320 \text{ лк}$ (рис. 3.1).

За формулою (3.3) розраховуємо необхідну кількість ламп:

$$\text{[Redacted Formula]} \quad (4.5)$$

де N – число ламп, яке визначається, шт;

Φ – світловий потік, лм;

$\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік лампи, $\Phi_{\text{л}} = 4320$ лм.



, шт.

(4.6)

Використовуємо промислові світлодіодні світильники типу SolidHBL 150 (рис. 3.2) у кількості 8 шт. Кожен світильник комплектується двома лампами. Розміщаються світильники двома рядами, по чотири у кожному ряді.



Рис. 3.1 Лінійна світлодіодна
лампа Т8, світловий потік $\Phi_{\text{л}} = 4320$
лк



Рис. 3.2 Промисловий
світлодіодний світильник типу SolidHBL
150

Забезпечення електробезпеки персоналу в проектно-конструкторській лабораторії

Відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), приміщення проектно-конструкторської лабораторії належить до категорії приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом. Така класифікація обумовлена відсутністю факторів, що підвищують ризик електротравматизму, зокрема підвищеної вологості, струмопровідного пилу, а також умов для

одночасного дотику працівника до металевих корпусів електрообладнання та заземлених конструкцій будівлі.

Для підвищення рівня електробезпеки в лабораторії передбачено встановлення пристрою захисного вимкнення (ПЗВ) на вводі електричної мережі в приміщення. Зазначений пристрій забезпечує захист персоналу від небезпечних струмів витоку на землю та здійснює контроль стану ізоляції електрообладнання. Час спрацювання захисного пристрою не перевищує 0,1–0,2 с, що відповідає вимогам безпеки.

Згідно з вимогами ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Захисне заземлення. Занулення», в електроустановках змінного струму частотою до 400 Гц, напругою до 1000 В та глухозаземленою нейтраллю для захисту від ураження електричним струмом застосовується система занулення. Її принцип дії полягає у перетворенні замикання на корпус електрообладнання в однофазне коротке замикання, що забезпечує швидке спрацювання апаратів захисту та відключення пошкодженої ділянки мережі.

Для реалізації занулення всі металеві неструмовідні частини обладнання, які внаслідок пошкодження ізоляції можуть опинитися під напругою, повинні бути надійно з'єднані із захисним нульовим провідником електромережі. При цьому площа поперечного перерізу захисного провідника має становити не менше 50 % площі перерізу фазного провідника.

Контроль технічного стану електрообладнання передбачає періодичну перевірку опору ізоляції, яка проводиться не рідше одного разу на рік. Нормоване значення опору ізоляції повинно бути не меншим за 0,5 МОм. Крім того, для підтримання належного рівня електробезпеки регламентом технічного обслуговування передбачено сезонну перевірку справності системи занулення.

З метою запобігання накопиченню зарядів статичної електрики та зменшення їх негативного впливу на персонал і електронне обладнання підлогове покриття лабораторії виконано з антистатичного одношарового полівінілхлоридного

лінолеуму марки АСН, який забезпечує ефективне відведення електростатичних зарядів.

4.6 Забезпечення пожежної безпеки у приміщенні проектно-конструкторської лабораторії сонячної енергетики

У процесі виконання робіт у лабораторії використовуються тверді горючі матеріали, зокрема папір, а також наявні тверді та волокнисті речовини, здатні підтримувати горіння. Лабораторне приміщення розташоване в будівлі II ступеня вогнестійкості, конструктивні елементи якої виконані з негорючих матеріалів: стіни та перегородки є цегляними, а міжповерхові перекриття — залізобетонними.

Основними причинами виникнення пожежі в лабораторії можуть бути короткі замикання в електричній мережі, несправності електронного та електротехнічного обладнання, а також перегрівання провідників унаслідок перевантаження або пошкодження ізоляції.

Відповідно до вимог нормативних документів у сфері пожежної безпеки, приміщення обладнане необхідними засобами виявлення та ліквідації пожеж. Для своєчасного виявлення загоряння встановлено шість пожежних сповіщувачів, кількість яких визначена виходячи з площі приміщення. Для ліквідації можливих осередків займання лабораторія забезпечена двома переносними вуглекислотними вогнегасниками місткістю 2 л кожний.

З метою запобігання пожежам у лабораторії реалізується комплекс організаційних заходів, який включає:

- призначення відповідальної особи за забезпечення пожежної безпеки;
- обов'язкове висвітлення питань протипожежного захисту під час проведення всіх видів інструктажів з охорони праці;
- заборону використання несанкціонованих електронагрівальних приладів;
- здійснення постійного контролю технічного стану електричної проводки та електрообладнання.

Для забезпечення безпечної евакуації персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації план евакуації розміщено на видному та доступному місці поблизу входу до лабораторного приміщення.

4.7 Висновки до розділу 4

У розділі «Охорона праці» наведено вимоги до організації робочого місця проєктанта-науковця в проєктно-конструкторській лабораторії сонячної енергетики з урахуванням вимог ергономіки. Були визначені оптимальні розміри робочого столу й крісла, а також висоту робочої поверхні при роботі за комп'ютером.

Розроблено організаційні заходи щодо охорони праці. Здійснено підбір, розрахунок параметрів та проєктування системи штучного освітлення з використанням світлодіодних джерел світла. Визначено та розроблено заходи щодо забезпечення електробезпеки.

Розроблено заходи пожежної безпеки.

ВИСНОВОК

У дипломній роботі розглянуто питання модернізації системи резервного живлення приватного будинку на базі дизельного генератора потужністю 6 кВт шляхом впровадження гібридного інвертора та акумуляторної батареї LiFePO₄.

У процесі виконання роботи було проаналізовано існуючу систему резервного живлення, визначено її переваги та недоліки. Встановлено, що використання лише дизельного генератора для забезпечення електропостачання під час аварійних відключень супроводжується значними витратами палива, підвищеним рівнем шуму, необхідністю регулярного технічного обслуговування та прискореним зношенням обладнання.

Виконано аналіз навантаження житлового будинку та визначено розрахункову потужність споживачів. За результатами розрахунків обґрунтовано вибір гібридного інвертора потужністю 6 кВт, який забезпечує надійну роботу системи та має необхідний резерв потужності для живлення побутових електроприймачів.

Проведено розрахунок акумуляторної батареї. Для забезпечення добового споживання електроенергії на рівні 11 кВт·год обрано акумуляторну батарею типу LiFePO₄ ємністю 15 кВт·год (48 В, 314 А·год). Встановлено, що така батарея забезпечує автономну роботу навантаження протягом від 2,4 до 12 годин залежно від величини споживаної потужності.

У роботі досліджено режими функціонування модернізованої системи резервного живлення та визначено особливості її роботи при живленні від мережі, акумуляторної батареї та дизельного генератора. Показано, що генератор використовується лише під час тривалих аварійних відключень після зниження рівня заряду акумуляторної батареї до встановленого значення.

Виконано розрахунок енергетичного балансу системи. Встановлено, що застосування акумуляторної батареї дозволяє скоротити тривалість роботи

дизельного генератора приблизно на 80 %, що зменшує річне споживання дизельного палива з 750 до 150 літрів.

Проведено оцінку капітальних витрат на модернізацію системи резервного живлення. Загальна вартість обладнання та монтажних робіт становить близько 250 тис. грн. Розрахунки показали, що річна економія коштів на паливі може досягати 36 тис. грн, а орієнтовний термін окупності проєкту становить близько 7 років.

Отримані результати підтверджують технічну та економічну доцільність модернізації системи резервного живлення приватного будинку шляхом впровадження гібридного інвертора та акумуляторної батареї LiFePO₄. Запропоноване рішення забезпечує підвищення надійності електропостачання, зменшення експлуатаційних витрат, скорочення споживання палива та збільшення ресурсу дизельного генератора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – Харків : Форт, 2017. – 760 с.
2. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.
3. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення.
4. Кодекс систем розподілу. Затверджений постановою НКРЕКП №310 від 14.03.2018.
5. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Київ : Міненерговугілля України, 2012.
6. Кузнєцов В.Г. Електропостачання промислових підприємств. – Київ : Основа, 2016. – 312 с.
7. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 540 с.
8. Коцур М.І. Системи електропостачання. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 286 с.
9. Бойко В.С. Електропостачання та електроспоживання. – Київ : Каравела, 2019. – 408 с.
10. Кацман М.М. Електричні машини та електропривод. – Київ : Вища школа, 2017. – 391 с.
11. Лежнюк П.Д. Електричні системи та мережі. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 298 с.
12. ДСТУ ІЕС 60364. Електроустановки низьковольтні. Загальні положення.
13. ДСТУ EN 61439. Комплекти низьковольтних розподільчих пристроїв.
14. Технічний каталог гібридних інверторів Deye. Технічні характеристики та інструкція з експлуатації.

15. Технічний каталог інверторів LuxPower. Технічні характеристики та рекомендації з монтажу.
16. Технічний каталог інверторів MUST Power. Технічні характеристики обладнання.
17. Технічна документація акумуляторних батарей LiFePO₄ серії Battery Energy Storage System.
18. Кравченко В.П. Енергоефективні системи електропостачання. – Київ : НТУУ КПІ, 2018. – 245 с.
19. Праховник А.В. Енергозбереження та енергоефективність. – Київ : НТУУ КПІ, 2017. – 356 с.
20. Системи гарантованого та резервного електроживлення : навчальний посібник / За ред. П.Д. Лежнюка. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 280 с.
21. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо використання.
22. Каталог дизельних генераторних установок потужністю до 10 кВт. Технічні характеристики та експлуатаційні показники.
23. Довідник з електропостачання / За ред. Ю.Г. Ведмедєва. – Київ : Техніка, 2016. – 512 с.
24. Основи проектування систем резервного електроживлення : навчальний посібник. – Київ : НУБіП України, 2021. – 214 с.
25. Матеріали виробників обладнання резервного живлення та систем накопичення енергії, 2024–2025 рр.

ДОДАТОК А