

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри інженерії
енергосистем

проф., д.т.н. _____ /**Віктор КАПЛУН**/

вчене звання, науковий ступінь підпис

доц., к.т.н. _____ /**Євген АНТИПОВ**/

вчене звання, науковий ступінь підпис

„ _____ ” _____ 2025 р.

число місяць рік

„ _____ ” _____ 2025 р.

число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«Реконструкція системи електропостачання із застосуванням
резервного джерела живлення офісної будівлі»**

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

К.Т.Н ДОЦЕНТ
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Сергій УСЕНКО

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н ДОЦЕНТ
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Світлана МАКАРЕВИЧ

(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Ярослав СМІРНОВ

(ПІБ)

КИЇВ – 2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Інженерії енергосистем
Євген АНТИПОВ
(ПІБ)
«18» листопада 2024 р.

к.т.н. доцент
(ступінь, звання) (підпис)

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Смірнову Ярославу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Реконструкція системи електропостачання із застосуванням резервного джерела живлення офісної будівлі» затверджена наказом ректора Національного університету біоресурсів і природокористування України від «18» листопада 2024 р. № 2061”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2025.11.14
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи: Офісна будівля за адресою м. Чернігів, вул. Шевченка, 28

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Огляд літератури та нормативних документів
2. Аналіз існуючої схеми електропостачання офісної будівлі
3. Проектування та розрахунок резервної системи
4. Тестування та експлуатація нової системи
5. Техніко-економічний розрахунок

Перелік графічного матеріалу: презентація виконана в програмному забезпеченні MS Power Point

Дата видачі завдання «18» Листопада 2024р.

Керівник магістерської роботи _____ Світлана МАКАРЕВИЧ.
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ Ярослав СМІРНОВ
(підпис) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота складається з 5 розділів, вступу, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг становить 78 сторінок основного тексту, містить 4 рисунки, 5 додатків.

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто реконструкцію системи електропостачання офісної будівлі з упровадженням резервного джерела живлення на базі дизель-генераторної установки. Проаналізовано існуючу схему електропостачання, категорію надійності споживачів, режими роботи ввідно-розподільчого пристрою, стан кабельних та повітряних ліній. Виконано аналіз нормативних вимог щодо резервування електропостачання будівель адміністративного призначення.

Розроблено проєкт нової схеми живлення із виділенням відповідальних споживачів, вибором потужності дизель-генератора, автоматизованої системи введення резерву та пристроїв контролю якості електроенергії. Проведено розрахунки струмових навантажень, падіння напруги, перевірку кабелів і апаратури за умовами тривалого та короткочасного режимів, а також розрахунок струмів короткого замикання для вибору апаратури захисту. Розглянуто заходи з підвищення електробезпеки й заземлення з урахуванням діючих норм.

Оцінено техніко-економічну ефективність проєкту реконструкції системи електропостачання: визначено капітальні витрати на впровадження дизель-генераторної установки й комутаційного обладнання, розраховано річний економічний ефект від зменшення простоїв офісної будівлі та підвищення енергоефективності. Розрахунковий термін окупності інвестицій становить близько 3 років, що підтверджує доцільність запропонованих рішень.

У результаті впровадження модернізованої системи електропостачання очікується підвищення надійності живлення споживачів першої категорії, зниження ризику втрати інформації та переривання офісних процесів, а також покращення якості напруги в мережі будівлі. Запропоновані технічні рішення забезпечують відповідність системи електропостачання вимогам чинних

стандартів та створюють умови для подальшої інтеграції відновлюваних джерел енергії.

Ключові слова: система електропостачання, офісна будівля, резервне джерело живлення, дизель-генератор/ІБП, надійність, безперебійність електроживлення, енергоефективність.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1	10
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ.....	10
1.1. Сучасні вимоги до електропостачання офісних будівель	10
1.2. Роль та значення резервних джерел живлення в офісній інфраструктурі 16	
1.3. Огляд типів резервних джерел: дизельні генератори, ІБП, гібридні установки	19
1.4. Аналіз економічної доцільності та перспектив інтеграції резервних систем	28
Висновки до Розділу 1	31
РОЗДІЛ 2	33
АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОФІСНОЇ БУДІВЛІ	33
2.1. Технічний опис наявної системи електропостачання	33
2.2. Виявлення недоліків і проблем безпеки та надійності.....	34
2.3. Потреба у впровадженні резервного живлення	35
Висновки до Розділу 2	36
РОЗДІЛ 3	38
ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК РЕЗЕРВНОЇ СХЕМИ	38
3.1. Вибір технічних рішень та обладнання для резервного живлення.....	38
3.2. Розрахунок параметрів системи (потужність, час автономної роботи).....	41
3.3. Моделювання роботи системи у різних режимах.....	45
3.4. Технічне обґрунтування впровадження та схема перемикання	51
Висновки до Розділу 3	52
РОЗДІЛ 4	55
ТЕСТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ НОВОЇ СИСТЕМИ.....	55
4.1. Методи та умови тестування резервної системи	55
4.2. Аналіз результатів тестування, порівняння з початковими параметрами .	57
4.3. Практичні рекомендації щодо експлуатації та підвищення ефективності	58

Висновки до Розділу 4	60
РОЗДІЛ 5	62
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	62
5.1. Витрати на модернізацію та придбання обладнання.....	62
5.2. Оцінка економічної ефективності впровадження резервної системи.....	63
5.3. Аналіз окупності, очікуваний економічний ефект.....	65
5.4. Висновки щодо доцільності реалізації проекту.....	67
Висновки до розділу 5	68
ВИСНОВОКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТКИ	74
Додаток А	74
Додаток Б.....	75
Додаток В	76
Додаток Д	77
Додаток Ж	78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

BMS – Building Management System

ATS – автоматичні системи перемикання

UPS/ІБП – джерела безперебійного живлення

УЗО – пристрій захисного відключення

RCBO – автоматичний вимикач захисного відключення

ІЕС – Міжнародна електротехнічна комісія

ДЕС – дизельна електростанція

ВСТУП

Нестабільність енергопостачання в Україні ставить перед організаціями серйозні виклики щодо забезпечення безперебійного електропостачання критично важливих об'єктів, зокрема офісних будівель. Одним із ефективних рішень є реконструкція системи електропостачання із впровадженням резервних джерел живлення, що дозволяють забезпечити високий рівень надійності та безпеки енергозабезпечення.

У роботі розглядаються сучасні технічні рішення для побудови резервних систем електропостачання, серед яких дизельні генератори, акумуляторні системи безперебійного живлення та гібридні установки на основі відновлюваних джерел енергії. Проведено детальний аналіз їх ефективності, економічної доцільності та можливості інтеграції у офісну інфраструктуру.

Об'єктом дослідження є система електропостачання офісної будівлі з впровадженням резервного джерела живлення. Предметом дослідження виступають технічні параметри, ефективність, надійність та економічна доцільність реконструкції цієї системи.

Предметом дослідження є структура та параметри системи електропостачання із включенням резервного джерела живлення, а також режими її роботи при нормальних і аварійних ситуаціях.

Метою роботи є розробка та реалізація оптимальної резервної схеми електропостачання для офісної будівлі, а також оцінка її впливу на стабільність енергоспоживання та експлуатаційні показники.

Для досягнення цієї мети передбачено розв'язання таких завдань:

- Аналіз сучасних літературних джерел і нормативних документів щодо резервних джерел живлення.
- Оцінка існуючої системи електропостачання офісної будівлі, виявлення проблем і потреб реконструкції.
- Проектування та розрахунок резервної схеми із застосуванням сучасного обладнання.

- Проведення тестування нової системи, аналіз її ефективності та надійності.
- Виконання техніко-економічного обґрунтування та розробка рекомендацій щодо експлуатації та підвищення енергоефективності.

Запропонована система резервного електропостачання сприятиме мінімізації ризиків аварійних відключень, підвищенню енергоефективності офісної будівлі та відповідності сучасним стандартам безпеки й надійності енергозабезпечення.

Методи дослідження включають аналіз нормативної та наукової літератури, моделювання резервних схем із використанням спеціалізованого програмного забезпечення, експериментальні випробування, моніторинг енергоспоживання та виконання техніко-економічних розрахунків.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до реконструкції системи електропостачання офісної будівлі із впровадженням сучасних резервних джерел живлення, а також у розробці практичних рекомендацій щодо їх експлуатації з урахуванням норм і специфіки діяльності офісної інфраструктури.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ

1.1. Сучасні вимоги до електропостачання офісних будівель

Ефективне та безпечне електропостачання є одним із ключових чинників стабільної роботи сучасних офісних будівель. Це обумовлює необхідність забезпечення надійного, безпечного й енергоефективного електропостачання. Порушення у функціонуванні електричних систем можуть спричинити значні фінансові втрати, збої у роботі підприємств і ризики для безпеки персоналу. Тому формування нових підходів до проектування та експлуатації систем електропостачання офісних будівель є актуальною задачею сучасної електротехніки.

З огляду на зростання інтенсивності використання електрообладнання, ІТ-інфраструктури та систем автоматизації, до електричних мереж висувається низка вимог, спрямованих на забезпечення безперебійності роботи, енергоефективності та відповідності міжнародним стандартам.

Основними вимогами до електропостачання офісних будівель є:

1. Висока надійність та безперебійність електроживлення.

Система повинна забезпечувати стабільне електропостачання, стійке до аварій та коливань напруги. Обов'язковими є резервні джерела живлення (UPS/ІБП, дизель-генератори) та автоматичне перемикання на резерв.

2. Енергоефективність і раціональне використання електроенергії.

Будівля має бути обладнана енергоощадним освітленням, інтелектуальними системами керування, сучасними приладами обліку та оптимізованими розподільчими мережами.

3. Електробезпека відповідно до національних і міжнародних стандартів.

Вимоги включають правильне заземлення, використання пристроїв захисного відключення (УЗО, РСВО), застосування негорючих кабелів та організацію ефективного протипожежного захисту електроустановок.

4. Гнучкість і масштабованість електричної інфраструктури.

Система повинна дозволяти збільшення навантаження, модернізацію обладнання, інтеграцію нових споживачів та адаптацію до потреб ІТ-інфраструктури.

5. Інтелектуальне керування та моніторинг.

Використання систем BMS або інших цифрових платформ забезпечує контроль споживання, прогнозування навантажень, оптимізацію роботи мереж і швидке реагування на аварійні стани.

6. Зниження електромагнітних та інформаційних перешкод.

Важливо забезпечити стабільні умови роботи комп'ютерної та серверної техніки, що передбачає якісне екранування та правильний розподіл кабельних трас.

7. Інтеграція відновлюваних джерел енергії.

Проектування будівель має передбачати можливість підключення сонячних панелей, систем накопичення енергії та інших «зелених» технологій для підвищення автономності та зменшення вуглецевого сліду.

Електропостачання офісних будівель є складною інженерною системою, функціонування якої залежить від правильного проектування, якісного монтажу та дотримання експлуатаційних вимог. У зв'язку зі зростанням електричних навантажень, цифровізацією офісних процесів та підвищенням вимог до енергоефективності особливого значення набуває нормативно-технічне забезпечення цієї сфери. Сучасні стандарти визначають як технічні, так і організаційні вимоги до електроустановок, що забезпечує високий рівень безпеки, надійності та сумісності електрообладнання.

Національні стандарти України формують базу технічного регулювання, яка визначає вимоги до електроустановок будь-якого типу, включаючи офісні будівлі. Основним документом є ДСТУ Б В.2.5-38:2008 «Електроустановки будівель. Основні положення» [2], що регламентує загальні принципи проектування, вибору обладнання, прокладання кабельних систем, вимоги до заземлення та заходів електробезпеки.

Особливу увагу ДСТУ приділяють:

- вибору провідників відповідно до тривалого струмового навантаження;
- забезпеченню протипожежних вимог через використання кабелів типу нг-LS;
- обов'язковому улаштуванню системи ГЗШ та зрівнювання потенціалів;
- дотриманню мінімальних відстаней між силовими та слаботочними мережами.

Таким чином, ДСТУ формують нормативну основу, яка забезпечує відповідність національних електросистем вимогам безпеки та експлуатаційної надійності.

Міжнародні стандарти, розроблені Комісією ІЕС та організацією ISO, широко застосовуються у проектуванні сучасних офісних будівель. Найбільш важливим документом є ІЕС 60364 «Low-voltage electrical installations» [4], що охоплює вимоги до:

- захисту від ураження електричним струмом, перенапруги та коротких замикань;
- резервування потужності та безперебійного живлення;
- правильного вибору автоматичних вимикачів та пристроїв диференційного захисту;
- забезпечення мінімальних рівнів електромагнітної сумісності.

Системи, спроектовані відповідно до ІЕС 60364, відзначаються підвищеною надійністю та масштабованістю, що особливо важливо для офісних центрів із великою кількістю ІТ-обладнання, серверних залів і комунікаційних систем.

Стандарти ISO зосереджені на системах менеджменту безпеки та енергоефективності, зокрема ISO 50001 [9], який формує основи енергоменеджменту будівлі.

Європейські норми (EN), гармонізовані з ІЕС, використовуються у країнах ЄС та все частіше — у нових українських проєктах. Стандарт EN 60204-1 «Safety

of machinery. Electrical equipment of machines» [4] визначає вимоги до безпеки електрообладнання, що встановлюється в комерційних будівлях.

Використання стандартів EN у проектуванні офісних будівель забезпечує:

- відповідність вимогам європейських директив;
- високу сумісність обладнання різних виробників;
- підвищення рівня електромагнітної сумісності в багатофункціональних приміщеннях.

Це дає можливість інтегрувати в офісні будівлі сучасні системи автоматизації, енергоменеджменту, інтелектуального освітлення та охоронних технологій.

ПУЕ [5] є одним із найважливіших нормативних документів, які регулюють технічні аспекти електроустановок. Вони визначають вимоги до:

- проектування розподільчих щитових;
- вибору автоматичного захисту;
- організації аварійного освітлення;
- прокладання кабельних трас у приміщеннях різного призначення;
- використання автоматизованих систем обліку електроенергії.

Особливо актуальною є вимога ПУЕ щодо впровадження систем автоматичного контролю за навантаженнями та станом електричної мережі, що дозволяє підвищити безпеку і керованість електричної системи офісної будівлі.

Комплекс стандартів ДСТУ, ІЕС, ІСО, EN та ПУЕ формує цілісну систему нормативно-технічного регулювання, яка визначає вимоги до безпечного, енергоефективного та надійного електропостачання офісних будівель. Вони регламентують кожен етап життєвого циклу електроустановок – від проектування до технічного обслуговування. Їх дотримання гарантує високу якість електромонтажних робіт, мінімізує ризики аварій, забезпечує правову захищеність і створює умови для впровадження інноваційних технологій у сучасних адміністративних комплексах.

Розглянемо основні вимоги до електропостачання офісних будівель детальніше.

Забезпечення надійності є ключовою вимогою до електропостачання офісних будівель, адже значна частина бізнес-процесів залежить від коректної та стабільної роботи інформаційних систем.

До основних засобів підвищення надійності належать:

- використання незалежних або паралельних вводів електроживлення;
- впровадження резервування за схемами N+1 та N+2;
- застосування джерел безперебійного живлення (UPS), які стабілізують напругу та забезпечують короткочасне живлення у разі аварій;
- встановлення автономних дизель- або газогенераторних установок;
- використання автоматичних систем перемикання (ATS).

Високий рівень безперебійності є особливо важливим для серверних приміщень, центрів обробки даних та систем безпеки.

Зростання вартості електроенергії та екологічні вимоги сприяють активному впровадженню енергоощадних рішень. Основними напрямками є:

- застосування LED-освітлення та інтелектуальних систем керування світлом;
- використання енергоефективних електроприладів класу А та вище;
- впровадження систем автоматичного регулювання споживання залежно від навантаження (Smart Grid);
- застосування приладів обліку з функціями моніторингу та дистанційного передавання даних.

Такі підходи сприяють зниженню загальної потужності навантаження та оптимізації експлуатаційних витрат.

Автоматизація є важливим елементом сучасних офісних будівель. Системи типу BMS забезпечують комплексне керування освітленням, вентиляцією, кондиціонуванням та електроживленням.

Інтелектуальні системи забезпечують:

- постійний моніторинг електричних параметрів;
- своєчасне виявлення аварійних режимів;
- прогнозування навантажень;
- інтеграцію різних інженерних систем в єдину цифрову платформу.

Завдяки таким рішенням підвищується ефективність експлуатації будівлі й зменшується ризик аварій.

Електробезпека офісних будівель регламентується національними стандартами (ДСТУ, ПУЕ) та міжнародними нормами ІЕС. Основні вимоги включають:

- використання пристроїв захисного відключення (УЗО/RCBO);
- обов'язкове заземлення та зрівнювання потенціалів;
- прокладання кабельних ліній негорючими кабелями типу NG-LS;
- розподіл навантаження між фазами для уникнення перегріву;
- встановлення електрощитів у пожегобезпечних приміщеннях.

Дотримання вимог електробезпеки гарантує мінімізацію ризиків ураження електричним струмом та зниження ймовірності пожеж.

Офісні будівлі часто містять серверні кімнати, мережеве обладнання, системи відеоспостереження та доступу, що вимагає особливих умов живлення.

Важливими аспектами є:

- виділені лінії та окремі щити для ІТ-навантаження;
- застосування UPS з подвійним перетворенням;
- боротьба з електромагнітними перешкодами;
- підтримка міжнародних стандартів TIA-942 щодо інфраструктури дата-центрів.

Із зростанням екологічної свідомості все більше офісів інтегрує альтернативні джерела енергії:

- сонячні панелі;
- мікровітрові генератори;
- системи накопичення енергії (Li-ion батареї).

Це сприяє зменшенню навантаження на електромережу та підвищенню автономності будівель.

Сучасні вимоги до електропостачання офісних будівель формуються під впливом зростання електронавантаження, цифровізації та вимог до енергоефективності. Основними тенденціями є підвищення рівня надійності, використання інтелектуальних систем керування, покращення електробезпеки та впровадження відновлюваних джерел енергії. Виконання цих вимог забезпечує стабільну роботу офісної інфраструктури, зниження експлуатаційних витрат та створення безпечних умов праці.

1.2. Роль та значення резервних джерел живлення в офісній інфраструктурі

Резервні джерела живлення є критичним елементом сучасної офісної інфраструктури, оскільки забезпечують безперервність роботи електронних систем, захищають обладнання від аварійних ситуацій та мінімізують фінансові втрати, пов'язані з перервами в електропостачанні. У міських офісних центрах знаходиться велика кількість персональних комп'ютерів, серверів, мережевого обладнання, систем зв'язку та безпеки, робота яких безпосередньо залежить від стабільного електроживлення. Стабільне електропостачання є критично важливим для забезпечення безперервності бізнес-процесів, збереження даних та безпеки персоналу. Збої в роботі електромереж можуть призвести до зупинки роботи офісу, втрати даних, збоїв у роботі серверів та інформаційних систем, фінансових втрат, пошкодження обладнання та зниження продуктивності праці.

Резервні джерела живлення є основним інструментом забезпечення безперервності роботи електросистем і гарантують стабільну роботу офісних будівель навіть у разі аварійних ситуацій. В умовах глобальної цифровізації та високої енергоємності офісних процесів дослідження їх ролі та значення є актуальним. Тому використання систем резервного живлення (UPS, дизель-генератори, інверторні системи, акумуляторні батареї) є невід'ємною частиною сучасної технічної політики будь-якої організації.

Резервні джерела живлення дозволяють забезпечити:

- Безперервність роботи комп'ютерів, серверів, мережевого обладнання та систем безпеки залежить від стабільності електропостачання. Резервні джерела живлення дозволяють:
 - миттєво перемикатися на автономне живлення;
 - запобігати короткочасним провалам напруги;
 - підтримувати критично важливі системи без простоїв.
- Захист офісного обладнання від:
 - перенапруг та стрибків напруги;
 - некоректного завершення роботи серверів;
 - пошкоджень апаратного забезпечення.

Це особливо важливо для серверних кімнат, дата-центрів та офісів із великою кількістю ІТ-обладнання.

- Для системи відеоспостереження, контролю доступу та охоронної сигналізації:
 - неперервну роботу охоронних систем;
 - захист від тимчасових збоїв у контролі доступу;
 - підтримку роботи аварійного освітлення.
- Частково знижувати пікові навантаження на мережу;
- Оптимізувати споживання електроенергії;
- Зменшити витрати на ремонт та заміну обладнання.

Для компаній, діяльність яких пов'язана з обробкою великих обсягів даних або критично важливою інформацією, безперервність роботи є першочерговою вимогою. Фінансові втрати від простою можуть значно перевищувати витрати на встановлення систем резервування живлення.

Нестабільна напруга, часті стрибки або тривалі перерви в електропостачанні становлять ризик для офісної техніки. Резервні джерела живлення забезпечують:

- захист електрообладнання від перенапруги, імпульсних завад та коливань напруги;

- можливість коректного завершення роботи серверів і ПК, що запобігає втраті даних;
- зменшення ризику пошкодження обладнання, яке може виникнути при раптовому відключенні електроенергії.

Особливо важливою є інтеграція UPS у серверні кімнати, де зберігається критична корпоративна інформація, ведуться інтелектуальні обчислення або розміщені бізнес-додатки.

Системи відеоспостереження, доступу, охоронної та пожежної сигналізації також потребують безперервного живлення. Відключення електропостачання навіть на короткий час може:

- створити вразливості в системах безпеки;
- тимчасово зупинити контроль доступу до приміщень;
- ускладнити моніторинг аварійних та критичних ситуацій.

Резервні джерела живлення гарантують, що системи безпеки продовжуватимуть працювати навіть при повному знеструмленні будівлі.

Сучасні джерела безперебійного живлення (особливо інверторного типу) можуть частково брати на себе функції стабілізаторів та оптимізаторів енергоспоживання. Вони:

- зменшують навантаження на електромережу в години пікового споживання;
- підвищують енергоефективність;
- знижують витрати на ремонт обладнання, яке могло бути пошкоджене через нестабільну напругу.

У великих офісних центрах інтелектуальні системи UPS можуть управляти навантаженнями, розподіляти споживання та оптимізувати роботу мережевої інфраструктури.

Установка резервних джерел живлення в офісах регламентується міжнародними та національними стандартами:

- IEC 62040 – вимоги до UPS-систем;

- EN 50171 – системи живлення для аварійного освітлення;
- ДСТУ та ПУЕ – вимоги до монтажу та експлуатації електроустановок.

Дотримання стандартів забезпечує:

- безпеку персоналу та обладнання;
- правильність монтажу;
- сумісність обладнання різних виробників;
- відповідність електросистем правовим нормам.

Резервні джерела живлення є ключовим елементом сучасної офісної інфраструктури, що забезпечує стабільність роботи, безпеку та надійність технологічних процесів. Вони мінімізують ризики простоїв, захищають обладнання та дані, підтримують роботу критичних систем і сприяють підвищенню загальної енергоефективності офісних мереж. У сучасних умовах нестабільності електропостачання та зростання вимог до IT-інфраструктури використання резервних джерел живлення є необхідністю, що гарантує стабільність роботи, надійність та безпеку офісної інфраструктури.

1.3. Огляд типів резервних джерел: дизельні генератори, ІБП, гібридні установки

Надійність електропостачання стає все більш важливим чинником, оскільки мережеве електроживлення залишається нестабільним у багатьох регіонах. У зв'язку з цим значення резервних систем живлення для офісних приміщень істотно зростає. Резервні джерела живлення є ключовим інструментом для підтримки комфорту та безпеки, особливо під час аварійних ситуацій або перебоїв у подачі електроенергії. Актуальність цього питання зберігається не лише у віддалених районах з нестабільним електропостачанням, але й у міських умовах, де непередбачувані події можуть призводити до тривалих відключень.

Наявність резервної системи живлення дозволяє підтримувати звичний рівень комфорту та безпеки в офісному приміщенні навіть за відсутності основного джерела електроенергії. Такі системи забезпечують безперервну

роботу критично важливих побутових приладів: холодильників, систем опалення та охолодження, освітлення, а також медичного обладнання, якщо воно присутнє. Крім того, резервне живлення запобігає втраті даних на комп'ютерах та іншій електроніці, що особливо важливо для тих, хто працює віддалено або веде домашній бізнес.

Сучасний ринок пропонує різноманітні рішення для забезпечення автономного електропостачання офісів, кожне з яких має свої особливості:

1. Дизельні та бензинові генератори – традиційні рішення, які здатні забезпечувати високу потужність, проте потребують палива та регулярного технічного обслуговування.

2. Системи безперебійного живлення (UPS/ІБП) – призначені для короткочасного резервування та захисту електронних пристроїв від коливань напруги.

3. Гібридні установки забезпечують як миттєвий захист від короткочасних перебоїв, так і тривале автономне живлення, що робить їх оптимальним рішенням для сучасних офісів із високими вимогами до надійності та енергоефективності.

Детальний розгляд цих систем дозволяє оцінити їхні переваги, недоліки та оптимальні сфери застосування для підвищення надійності електропостачання офісних будівель.

Генератор є одним із ключових технічних пристроїв, що забезпечують автономне електроживлення у разі відсутності централізованої подачі електроенергії. Вони перетворюють механічну енергію на електричну за допомогою внутрішнього двигуна. Генератори можуть використовувати різні види палива – бензин, дизель або газ – що впливає на їхню ефективність, експлуатаційні характеристики та екологічність.

Його робота базується на перетворенні енергії з одного виду в інший, що дає змогу отримати стабільний електричний струм для побутових або промислових потреб. Основні етапи функціонування генератора включають

спалювання палива, перетворення механічної енергії в електричну та подальший розподіл виробленої електроенергії.



Рис. 1.1. Генератор промисловий

Першим етапом роботи генератора є спалювання палива. У двигуні внутрішнього згоряння відбувається процес згоряння дизельного палива, бензину або газу, залежно від конструкції пристрою. Цей процес супроводжується виділенням значної кількості теплової енергії, яка перетворюється на механічну. Двигун починає працювати, приводячи в рух з'єднані з ним елементи системи.

Другим важливим етапом є перетворення енергії. Механічна енергія від обертання двигуна передається на ротор генератора. Обертаючись усередині статора, ротор створює змінне магнітне поле, що індукує електрорушійну силу. У результаті відбувається формування змінного електричного струму. Цей процес ґрунтується на принципах електромагнітної індукції, відкритих Майклом Фарадеєм.

Заключним етапом роботи генератора є розподіл електроенергії. Вироблений струм надходить до розподільної системи будинку або об'єкта, де забезпечує стабільне живлення всіх підключених приладів та обладнання.

Захисні системи генератора контролюють параметри напруги та частоти, запобігаючи перевантаженням і забезпечуючи безпечну експлуатацію техніки.

Таким чином, робота генератора є комплексним процесом, що поєднує хімічні, механічні та електромагнітні перетворення. Завдяки цим етапам забезпечується надійне автономне електроживлення, необхідне в умовах перебоїв у роботі електромережі або у віддалених місцевостях.

Генератори відіграють важливу роль у забезпеченні автономного електроживлення в побуті, на виробництвах і в місцях, де відсутнє централізоване постачання електроенергії. Сучасний ринок пропонує різні типи генераторів, які відрізняються за принципом роботи, видом палива, рівнем ефективності та призначенням. Найпоширенішими серед них є бензинові, дизельні, інверторні та газові генератори. Кожен вид має свої переваги та недоліки, що визначають його застосування у конкретних умовах.

Першою групою є бензинові генератори, які широко використовуються в побутових умовах. Їхньою основною перевагою є відносно низька вартість, що робить їх доступними для більшості споживачів. Вони легкі, мобільні та мають швидкий запуск, що особливо зручно для короткочасного використання, наприклад, під час аварійного відключення електроенергії. Однак, бензинові генератори мають і суттєві недоліки: високу витрату палива, підвищений рівень шуму та значні викиди шкідливих газів, що негативно впливають на навколишнє середовище.

Другим видом є дизельні генератори, які вирізняються економічністю та довговічністю. Їхня витрата палива значно нижча порівняно з бензиновими аналогами, а конструкція двигуна забезпечує високу надійність і здатність працювати тривалий час без перевантажень. Це робить дизельні генератори оптимальним варіантом для великих домогосподарств або промислових об'єктів. Проте, їхня вартість є вищою, ніж у бензинових моделей, а значна вага обмежує мобільність. Крім того, технічне обслуговування таких генераторів є складнішим і потребує професійного підходу.

Окрему категорію становлять інверторні генератори, які оснащені сучасними електронними системами для стабілізації вихідної напруги. Основною їхньою перевагою є чистий синусоїдальний вихід, що робить їх безпечними для чутливої електроніки, такої як комп'ютери, медичне обладнання чи побутова техніка. Вони також відзначаються економічністю та низьким рівнем шуму, а їх невелика вага забезпечує високу портативність. Недоліками є відносно висока вартість та обмежена потужність – зазвичай до 7 кВт. Крім того, для підтримки високої ефективності необхідне регулярне технічне обслуговування.

Четвертим типом є газові генератори, які вирізняються екологічністю, оскільки виробляють менше шкідливих викидів порівняно з іншими видами. Важливою перевагою є можливість підключення до існуючої газової мережі, що дозволяє суттєво знизити витрати на паливо і забезпечити тривалу роботу за умови стабільного газопостачання. Проте, такі генератори залежні від наявності газу, мають вищу вартість встановлення та потребують додаткових систем безпеки, що ускладнює їх експлуатацію.

Порівняльний аналіз наведений у таблиці А.1. (додаток А) показує, що кожен тип генератора має свої переваги та обмеження, що визначає їх доцільність використання в офісних приміщеннях. Бензинові генератори найбільше підходять для невеликих офісів та короткочасних аварійних ситуацій завдяки своїй мобільності та швидкому запуску. Дизельні генератори ефективні для середніх і великих офісів, а також серверних кімнат, оскільки вони забезпечують високу потужність та тривалу автономність роботи. Інверторні генератори є оптимальними для чутливої офісної техніки, включно з комп'ютерами та мережевим обладнанням, завдяки стабільному чистому струму. Газові генератори забезпечують стабільне та екологічно безпечне живлення за умови наявності підключення до газової мережі. Нарешті, гібридні системи, що поєднують миттєве резервування через UPS і тривале живлення за допомогою генератора та акумуляторів, є найефективнішим рішенням для офісів із

критичною інфраструктурою, де необхідна безперервна робота обладнання та висока надійність електропостачання.

Системи безперебійного живлення (UPS/ІБП) є важливим елементом сучасної електротехнічної інфраструктури, оскільки забезпечують захист обладнання від перебоїв в електропостачанні та гарантують безперервність роботи техніки. Різні типи UPS/ІБП застосовуються залежно від вимог до стабільності напруги, чутливості обладнання та необхідного рівня автономності. Найпоширенішими серед них є лінійно-інтерактивні, онлайн з подвійним перетворенням та офлайн (Standby) системи.



Рис. 1.2. Джерело безперебійного живлення VERTIV Liebert APM2 60-600 кВА

Першу групу становлять лінійно-інтерактивні UPS/ІБП, які поєднують у собі доступність та підвищений рівень стабілізації напруги. Вони оснащені автоматичним регулятором напруги (AVR), що дозволяє компенсувати її коливання без переходу на акумуляторне живлення. Завдяки цьому батарея використовується лише у випадку істотних відхилень або повного відключення електроенергії, що подовжує її ресурс. Лінійно-інтерактивні системи забезпечують короткочасну автономну роботу та є оптимальними для офісної техніки, невеликих серверів і домашніх комп'ютерів.

Другим типом є онлайн UPS/ІБП з подвійним перетворенням, які забезпечують найвищий рівень захисту. Принцип їх роботи ґрунтується на повному перетворенні вхідної напруги: спочатку змінний струм перетворюється на постійний, а потім знову на ідеально стабільний змінний. Завдяки такому підходу навантаження повністю ізольоване від мережевих коливань, імпульсних завад та короткочасних провалів напруги. Цей вид UPS/ІБП застосовується у серверних кімнатах, дата-центрах та інших критично важливих ІТ-системах, де недопустимі навіть мінімальні відхилення у подачі енергії.

Третьою групою є офлайн або Standby UPS/ІБП, що належать до найпростіших і найдоступніших рішень. У нормальному режимі вони напряму передають електроенергію від мережі до пристроїв, а на акумулятори переходять лише у разі повного відключення живлення. Вони швидко активуються, проте не забезпечують захисту від дрібних коливань або спотворень напруги. Через це Standby UPS підходять для невеликих навантажень, таких як домашні ПК, офісні пристрої чи обчислювальна техніка з невисокими вимогами до якості живлення.

Порівняльна характеристика типів UPS/ІБП наведена в таблиці Б.1 (додаток Б).

Отже, вибір типу UPS/ІБП залежить від особливостей обладнання та вимог до стабільності енергопостачання. Лінійно-інтерактивні моделі забезпечують оптимальний баланс між ціною та функціональністю, онлайн UPS/ІБП – найвищий рівень захисту, а офлайн системи є бюджетним варіантом для базових потреб. Правильно підібрана система безперебійного живлення гарантує надійність роботи техніки та підвищує безпеку електричної інфраструктури.

Гібридні системи є комплексними рішеннями, які поєднують можливості традиційних UPS/ІБП, генераторних установок та акумуляторних батарей, а також часто інтегруються з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі чи мікровітрові генератори. Завдяки такій архітектурі вони не лише забезпечують безперебійне живлення, а й дозволяють оптимізувати споживання енергії, підвищуючи ефективність роботи електротехнічної інфраструктури.



Рис. 1.3. – Гібридний інвертор Gootu + акумулятор Dyness B4850 LiFePO4

У роботі гібридних систем UPS поєднуються різні джерела живлення: у разі короткочасних відхилень або стрибків напруги миттєвий захист забезпечує вбудований ІБП, тоді як під час тривалого відключення електроенергії роботу підтримують акумулятори та генератор. Якщо система підключена до відновлюваних джерел, їхня енергія використовується для зменшення навантаження на мережу та продовження автономної роботи.

Сучасні офісні будівлі потребують надійного та безперебійного електропостачання для забезпечення стабільної роботи комп'ютерної техніки, серверів, мережевого обладнання та освітлення. Традиційні системи UPS/ІБП здатні миттєво захистити обладнання від короткочасних перебоїв електроживлення, проте для тривалих відключень та оптимізації енергоспоживання все частіше застосовуються гібридні системи живлення.

Гібридні установки поєднують можливості UPS/ІБП, акумуляторних батарей та генераторів, а також можуть інтегруватися з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі та мікровітрові генератори. Завдяки цьому вони забезпечують миттєвий захист при стрибках або зникненні напруги та тривалу автономну роботу при довготривалих відключеннях

електропостачання. Крім того, такі системи дозволяють оптимізувати використання енергії, зменшуючи навантаження на електромережу та витрати на електроенергію.

Для офісних будівель існує кілька популярних рішень гібридних систем. Наприклад, SolaX Power X1-HYB-6.0-LV – гібридний інвертор потужністю близько 6 кВт, який підтримує підключення акумуляторів, сонячних панелей та генератора. Він забезпечує майже миттєве перемикання на резервне живлення та може підтримувати стабільну роботу середнього офісу із сервером, ПК та освітленням. Бюджетніший варіант – MUST DC48V 5.2 kVA Hybrid Inverter, який підходить для невеликих і середніх офісів, забезпечуючи резервне живлення для комп'ютерної техніки та мережевого обладнання, з можливістю інтеграції сонячних панелей. Для великих офісів або приміщень із підвищеними вимогами до безперебійності енергопостачання застосовують потужні гібридні станції, такі як Stromherz S-20K-3P-40A-ESS, що поєднують інвертор, акумулятори та можливість підключення генератора і сонячних панелей, забезпечуючи тривалу автономну роботу при великих навантаженнях.

Вибір конкретної гібридної системи залежить від розміру офісу, кількості обладнання та очікуваної автономності. Для середніх офісів достатньо рішень потужністю 5–6 кВт із підтримкою акумуляторів та сонячних панелей, тоді як великі офіси потребують систем 15–20 кВт із генератором і розширеною батарейною системою.

Таким чином, гібридні системи живлення є ефективним рішенням для забезпечення надійної та безперебійної роботи офісного обладнання. Вони поєднують миттєвий захист, тривалу автономність і можливість інтеграції відновлюваних джерел енергії, що робить їх оптимальними для сучасних енергоефективних та технологічно оснащених офісів.

Комплексне використання різних типів РДЖ забезпечує максимальну надійність, захист обладнання та безперебійність роботи офісних будівель, що є критично важливим у сучасних умовах цифровізації та високих енергетичних навантажень.

1.4. Аналіз економічної доцільності та перспектив інтеграції резервних систем

Забезпечення безперебійного електропостачання є одним із ключових чинників стабільної роботи як приватних домогосподарств, так і комерційних об'єктів. У сучасних умовах зростання енергетичних ризиків, перебоїв у роботі електромереж та збільшення навантаження на інфраструктуру питання економічної доцільності впровадження резервних систем живлення набуває особливої актуальності. Вибір оптимального типу резервного обладнання має ґрунтуватися не лише на технічних характеристиках, але й на оцінці витрат, окупності та довгострокових економічних переваг.

Першим аспектом економічного аналізу є оцінка початкових інвестицій. Вартість придбання генераторів, інверторних систем, UPS/ІБП або гібридних комплексів може значно відрізнятися залежно від їх потужності, марки та функціональних можливостей. Зокрема, бензинові генератори мають найнижчий стартовий бюджет, тоді як дизельні, газові та гібридні системи потребують суттєвіших початкових витрат. Проте більш дорога техніка часто має більший ресурс роботи та менші експлуатаційні витрати.

Другим ключовим фактором є вартість експлуатації та обслуговування. Бензинові генератори хоч і дешевші у придбанні, значно дорожчі в експлуатації через високі витрати палива та менший ресурс роботи. Дизельні генератори демонструють кращу економічність у довгостроковій перспективі, особливо при частому або тривалому використанні. Інверторні системи та акумуляторні комплекси мають мінімальні витрати на обслуговування, але потребують періодичної заміни батарей, що також слід враховувати при розрахунках. Газові генератори, попри високу початкову вартість встановлення, є економічно вигідними за наявності доступу до дешевшого природного газу.

Важливою складовою економічного аналізу є оцінка потенційних збитків від відсутності резервного живлення. Для бізнесу це можуть бути простій працівників, втрата даних, порушення технологічних процесів, зупинка критичного обладнання або серйозні фінансові збитки. Для приватних осель –

псування продуктів, вихід із ладу обладнання або порушення безпеки. У багатьох випадках потенційні втрати перевищують вартість інвестицій у резервні системи.

Окрему увагу слід приділяти довгостроковим економічним вигодам. Гібридні та інверторні системи, працюючи разом із сонячними панелями, дозволяють зменшити залежність від електромережі та значно скоротити витрати на електроенергію. Це робить їх вигідними не лише як резервне, але й як економічно ефективно основне джерело енергії у перспективі.

У сучасних умовах енергетичної нестабільності та зростання вимог до надійності електропостачання інтеграція резервних систем живлення стає важливим напрямом розвитку як приватного сектору, так і комерційної та промислової інфраструктури. Перспективи впровадження таких систем визначаються технічним прогресом, підвищенням рівня автоматизації, переходом до відновлюваних джерел енергії та необхідністю створення стійких енергетичних рішень. Розглянемо ключові тенденції та потенціал розвитку резервних систем у найближчі роки.

Однією з провідних тенденцій є зростання ролі гібридних енергетичних комплексів, які поєднують генератори, системи безперебійного живлення (UPS/ІБП), акумуляторні накопичувачі та відновлювані джерела енергії. Такі системи забезпечують не лише резервне електроживлення під час аварій, а й оптимізацію енергоспоживання у звичайних умовах. Інтеграція інтелектуальних енергетичних модулів дозволяє автоматично перемикатися між джерелами живлення, зменшуючи витрати та підвищуючи надійність.

Важливим напрямом розвитку є поширення систем накопичення енергії (ESS) на основі літій-іонних та твердотільних батарей. Вони мають високу енергоємність, тривалий ресурс та можливість швидкої зарядки й розрядки. Завдяки цьому ESS дедалі частіше застосовуються як ключовий компонент резервних систем у житловому та комерційному секторах. Інтеграція таких рішень зі сонячними електростанціями забезпечує енергетичну автономність і зменшує залежність від централізованих мереж.

Вагомий потенціал має розвиток «розумних» енергетичних систем, що включають автоматизовані модулі керування, моніторингу та діагностики. Сучасні контролери здатні прогнозувати енергопотреби, розподіляти навантаження, керувати зарядом акумуляторів і включенням генераторів. Це підвищує ефективність використання обладнання та продовжує його термін експлуатації. Інтернет речей (IoT) відкриває можливість дистанційного керування резервними системами, що особливо актуально для бізнесу чи об'єктів з критичною інфраструктурою.

Окремо слід зазначити перспективу інтеграції резервних систем у локальні мікромережі (мікрогріди). Такі мікромережі можуть працювати як у зв'язці з основною електромережею, так і автономно. Вони забезпечують стабільність електроживлення цілих районів, офісних центрів чи промислових підприємств. Мікрогріди дозволяють ефективно поєднувати генератори, батареї та альтернативну енергію в єдину оптимізовану структуру.

Перспективним напрямом є також підвищення екологічності резервних систем. Виробники дедалі частіше розробляють генератори на природному газі, водні та біопаливі, що зменшує викиди шкідливих речовин. Паралельно розвиваються енергоефективні інверторні технології та «зелені» гібридні модулі, які забезпечують мінімальне споживання палива та скорочення вуглецевого сліду.

Таким чином, подальший розвиток резервних систем електроживлення визначається орієнтацією на інтелектуальні, екологічно безпечні та енергоефективні технології. У перспективі такі системи виконуватимуть не лише функцію аварійного забезпечення, а й стануть ключовими компонентами сучасної енергетичної інфраструктури, здатними гарантувати стабільність, автономність і раціональне використання ресурсів за будь-яких умов.

У ширшому економічному контексті впровадження резервних систем є доцільним завдяки їх здатності зменшувати фінансові ризики, підтримувати безперервність роботи підприємств і забезпечувати технічну безпеку офісних приміщень. Хоча встановлення таких рішень потребує початкових інвестицій, їх

ефективність у довгостроковій перспективі переважно перекриває витрати. Отже, економічна раціональність застосування резервних систем визначається поєднанням стартових витрат, експлуатаційної ефективності та можливих збитків у разі перебоїв електроживлення. У більшості випадків такі інвестиції є виправданими, адже сприяють підвищенню надійності, безпеки та конкурентоспроможності підприємства в умовах енергетичної нестабільності.

Висновки до Розділу 1

У першому розділі було проведено комплексний аналіз сучасних вимог до електропостачання офісних будівель, ролі резервних систем живлення та огляду їх основних типів. Дослідження показало, що електропостачання сучасних офісних центрів є складною інженерною системою, яка повинна забезпечувати високий рівень надійності, безпеки, енергоефективності та масштабованості. Зростання кількості електронного обладнання, розвиток ІТ-інфраструктури та підвищення вимог до безперебійності бізнес-процесів формують нові стандарти проєктування та експлуатації електромереж.

Аналіз національних (ДСТУ, ПУЕ) та міжнародних стандартів (ІЕС, EN, ISO) підтверджує, що нормативне забезпечення відіграє ключову роль у формуванні безпечних і технологічно прогресивних електросистем. Вимоги стосуються всіх етапів життєвого циклу електроустановок: вибору обладнання, організації електробезпеки, інтеграції автоматизованих систем керування та використання енергоефективних технологій. Дотримання цих норм гарантує зменшення аварійності, підвищення експлуатаційної надійності та оптимізацію енергоспоживання.

Окрему увагу приділено ролі резервних джерел живлення, які є невід'ємною частиною сучасної офісної інфраструктури. UPS-системи, дизельні та бензинові генератори, інверторні та гібридні рішення забезпечують безперервність роботи критично важливих систем, захищають чутливе обладнання від коливань напруги та мінімізують ризики втрати даних. Умови цифровізації та значні економічні втрати від простоїв роблять резервне живлення не додатковою опцією, а необхідним елементом офісної екосистеми.

Порівняльний огляд типів резервних джерел показав, що вибір оптимального рішення залежить від конкретних потреб, величини навантажень та вимог до автономності. Дизельні генератори характеризуються високою надійністю та довготривалою роботою, бензинові – доступністю та мобільністю, інверторні – якістю вихідної напруги та тихою роботою, а газові – екологічністю та економічністю за тривалої експлуатації. Гібридні системи поєднують переваги різних технологій та забезпечують як короткочасний захист, так і довготривале автономне електроживлення.

Таким чином, результати аналізу підтверджують, що сучасні тенденції розвитку офісної інфраструктури визначають необхідність комплексного підходу до організації електропостачання. Він має включати дотримання нормативних вимог, застосування інтелектуальних систем керування, інтеграцію резервних джерел живлення та використання енергоефективних рішень. Це створює основу для безпечної, надійної та безперебійної роботи офісних будівель, а також забезпечує передумови для подальшої автоматизації та цифровізації інженерних систем.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОФІСНОЇ БУДІВЛІ

2.1. Технічний опис наявної системи електропостачання

Наявна система електропостачання офісної будівлі є складною інженерною інфраструктурою, яка забезпечує безперервну подачу електроенергії до всіх внутрішніх споживачів – освітлювальних приладів, офісної техніки, комп'ютерних мереж, серверних кімнат та систем безпеки. Система спроектована з урахуванням національних та міжнародних стандартів електробезпеки та енергоефективності, включаючи ДСТУ, ПУЕ, ІЕС 60364 та EN 60204-1.

Основним джерелом електропостачання є централізована міська мережа змінного струму напругою 380/220 В. Для забезпечення надійності та безперебійності роботи встановлено два незалежні вводи живлення, що дозволяють у разі аварії одного вводу автоматично переключатися на резервний.

Розподіл електроенергії здійснюється через головний розподільний щит (ГРЩ) та групові щити на поверхах будівлі. Всі щити обладнані автоматичними вимикачами, пристроями захисного відключення (УЗО/RCBO) та системою контролю за струмами навантаження. Кабельні траси виконані з використанням негорючих кабелів типу NG-LS, з дотриманням мінімальних відстаней між силовими та слаботочними мережами.

Система оснащена модулем моніторингу та управління, що дозволяє контролювати параметри напруги та струму, фіксувати аварійні режими, прогнозувати навантаження та дистанційно управляти роботою наявного UPS (якого вистачає на 15-30 хв). Інтелектуальна платформа BMS інтегрує контроль електроживлення з системами освітлення, вентиляції та кондиціонування, забезпечуючи оптимізацію енергоспоживання та своєчасне реагування на аварійні ситуації.

Система відповідає вимогам безпеки персоналу та обладнання: застосовано заземлення та зрівнювання потенціалів, розподіл фазних

навантажень для запобігання перегріву, а також дотримано вимог ПУЕ щодо організації аварійного освітлення та безпечного прокладання кабельних трас.

Для зменшення енергоспоживання та оптимізації витрат застосовані LED-освітлення, інтелектуальні системи керування освітленням та розподілом навантаження, а також системи обліку електроенергії з дистанційним моніторингом.

Таким чином, наявна система електропостачання є комплексною, масштабованою та в цілому надійною, забезпечуючи роботу критично важливих систем та високий рівень електробезпеки.

2.2. Виявлення недоліків і проблем безпеки та надійності

Незважаючи на загальну функціональність, аналіз показав наявність суттєвих недоліків, що можуть впливати на безпеку персоналу та надійність електрообладнання:

1. Присутність резервних джерел живлення (UPS для короткотривалих відключень) який неефективний при довготривалих відключеннях. У разі аварійного відключення централізованої мережі критично важливі системи – сервери, системи безпеки, освітлення та вентиляція – можуть вийти з ладу й втратити данні через довгострокові відключення електроенергії, що створює ризики для роботи будівлі та персоналу.
2. Відсутність автономного аварійного освітлення у низці приміщень, що ускладнює безпечну евакуацію людей під час аварій або пожеж.
3. Нерівномірний розподіл фазних навантажень, що призводить до перегріву кабелів, підвищеного ризику відключень та зниження ресурсу електрообладнання.
4. Відсутність сучасних систем моніторингу параметрів електропостачання у реальному часі, що ускладнює своєчасне виявлення аварійних ситуацій, перевантажень або коротких замикань.
5. Недостатнє використання сучасних захисних пристроїв (УЗО, РСВО, автоматичних вимикачів) у низці точок мережі, що підвищує ризик ураження електричним струмом та пожежі.

6. Застаріле освітлювальне та електрообладнання з низькою енергоефективністю, що підвищує споживання електроенергії, перегрів мережі та ризик аварій.

Виявлені недоліки свідчать про необхідність модернізації системи для підвищення надійності та безпеки роботи будівлі. Основними напрямками є впровадження резервного живлення, автоматизованих систем контролю, балансування фазних навантажень, модернізація освітлення та електрообладнання.

2.3. Потреба у впровадженні резервного живлення

Відсутність ефективних резервних джерел живлення є критичною проблемою для безпеки та безперервності роботи будівлі. Наявність резервного живлення дозволяє підтримувати стабільну роботу всіх критично важливих систем навіть у разі аварійного відключення централізованої мережі електропостачання.

Резервне живлення забезпечує:

1. Безперервну роботу критично важливих систем. До них належать серверні кімнати, системи безпеки (сигналізація, відеоспостереження, контроль доступу), комунікаційні мережі, системи вентиляції та кондиціонування, а також ключові технологічні процеси будівлі. Наявність резервного живлення запобігає простою обладнання, втраті даних та порушенню робочих процесів.

2. Підтримку аварійного освітлення. Резервне живлення гарантує, що у випадку аварій або пожеж системи освітлення будуть функціонувати достатньо тривалий час для безпечної евакуації персоналу. Це особливо важливо в умовах складних планувальних рішень будівлі або наявності великої кількості людей, де швидка і безпечна евакуація є критичною.

3. Захист обладнання від перенапруг, стрибків струму та аварій. Резервні джерела живлення часто обладнані системами стабілізації напруги та автоматичного перемикачання (АВР), що дозволяє уникнути пошкодження чутливого електрообладнання. Це забезпечує збереження ресурсів обладнання та мінімізує фінансові витрати на ремонт чи заміну техніки.

4. Підвищення надійності та безпеки. Резервне живлення інтегрується з автоматизованими системами моніторингу та управління, що дозволяє контролювати стан мережі в реальному часі, фіксувати аварійні режими та оперативно реагувати на надзвичайні ситуації. Це значно підвищує рівень безпеки персоналу та знижує ризик аварійних ситуацій.

Система аварійного електропостачання офісної будівлі включає дизель-генераторний агрегат GP 44 A/I-A потужністю 44 кВА (35,2 кВт), з напругою 380/220 В, 50 Гц, у відкритому виконанні. Генератор обладнаний вбудованим резервуаром палива, системою автоматики та автоматичним ввімкненням резервного живлення (ABP). Впровадження такої системи дозволяє забезпечити безперервну роботу критично важливих систем, підтримати аварійне освітлення, захистити обладнання від стрибків напруги та підвищити надійність електропостачання та безпеку персоналу.

Додатково система може інтегруватися з інтелектуальними платформами управління будівлею (BMS), що дозволяє автоматично контролювати час роботи генератора, стан палива, навантаження та здійснювати дистанційний моніторинг усіх параметрів електропостачання. Це підвищує ефективність управління резервним живленням та забезпечує своєчасне реагування на будь-які надзвичайні ситуації.

Висновки до Розділу 2

Аналіз наявної системи електропостачання офісної будівлі показав, що вона є комплексною, масштабованою та здатною забезпечувати безперервну роботу основних внутрішніх споживачів – освітлювальних приладів, офісної техніки, серверних кімнат, комунікаційних мереж та систем безпеки. Система спроектована з урахуванням національних та міжнародних стандартів електробезпеки та енергоефективності, має два незалежні вводи живлення, розподільні щити з автоматичними вимикачами та пристроями захисного відключення, кабельні траси з негорючих матеріалів, а також інтегровану платформу BMS для контролю та управління електроживленням.

Разом із тим, виявлені суттєві недоліки, що впливають на безпеку персоналу та надійність роботи будівлі. Основними проблемами є відсутність ефективних резервних джерел живлення для довготривалих відключень, нерівномірний розподіл фазних навантажень, недостатнє використання сучасних систем моніторингу, відсутність автономного аварійного освітлення у деяких приміщеннях та застаріле енергоефективне обладнання. Ці фактори підвищують ризик аварій, виходу з ладу електрообладнання, ураження електричним струмом та загрозу безпеці персоналу.

Особливу увагу слід приділити впровадженню довготривалого резервного живлення. Наприклад, було обґрунтовано використання дизель-генераторного агрегату GP 44 A/I-A потужністю 44 кВА (35,2 кВт) з автоматичним ввімкненням та інтеграцією в систему BMS що дозволить забезпечити безперервну роботу критично важливих систем, підтримку аварійного освітлення, захист обладнання від перенапруг та стрибків струму, а також оперативне реагування на надзвичайні ситуації.

Таким чином, для підвищення надійності та безпеки електропостачання будівлі доцільно провести модернізацію системи, що включає:

1. Впровадження та інтеграцію резервного живлення для критично важливих споживачів.
2. Забезпечення автономного аварійного освітлення у всіх приміщеннях.
3. Балансування фазних навантажень для запобігання перегріву та перевантажень.
4. Модернізацію освітлювального та електрообладнання з підвищенням енергоефективності.
5. Використання сучасних систем моніторингу та захисних пристроїв (УЗО, РСВО, автоматичні вимикачі).

Реалізація цих заходів дозволить значно підвищити надійність та безпеку роботи будівлі, знизити ризики аварій та оптимізувати енергоспоживання, що відповідає сучасним стандартам електробезпеки та енергоефективності.

РОЗДІЛ 3

ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК РЕЗЕРВНОЇ СХЕМИ

3.1. Вибір технічних рішень та обладнання для резервного живлення

Розробка конструктивного рішення системи резервного електропостачання здійснюється на основі даних, що характеризують ділянку будівництва, архітектурно-планувальні, електротехнічні та тепломеханічні рішення об'єкта. Для забезпечення надійної роботи аварійного джерела живлення передбачено облаштування монолітного залізобетонного фундаменту під дизель-генератор. За відмітку 0,000 прийнято рівень підлоги приміщення ДЕС, що відповідає абсолютній відмітці +171,40 згідно БСВ.

Коефіцієнт надійності системи по призначенню прийнято $n = 0,95$. Монолітні конструкції виконуються відповідно до СНіП 3.03.01-87 та ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві» [14], що забезпечує міцність та стійкість фундаменту та конструкцій, а також безпечні умови експлуатації.

Для забезпечення електроживлення струмоприймачів технологічного обладнання офісної будівлі під час короткострокових нерегламентованих відключень мережі передбачено підключення до автономного аварійного джерела – дизельної електростанції (ДЕС).

В якості основного обладнання обрано дизель-генераторний агрегат моделі GP 44 A/I-A виробництва Green Power (Італія) потужністю 44 кВА (35,2 кВт) у відкритому виконанні. Генератор забезпечує автоматичне живлення критичних навантажень при зникненні напруги в мережі та відповідає всім вимогам надійності, безпеки та екологічності.

Дизель-генераторна установка працює в автоматичному режимі, не потребує постійного обслуговуючого персоналу та передбачає можливість ручного запуску з панелі управління. Обрана ДГУ відповідає вітчизняним нормативним вимогам та має покращені характеристики по викидах шкідливих речовин. Для ефективної роботи дизель-генератора мінімальне навантаження повинно становити не менше 30% від номінальної потужності.

Агрегат обладнано віброізоляторами, які запобігають передачі вібрації на будівельні конструкції, а комплектно поставляється глушник вихлопу з іскрогасником. Вихлопні гази видаляються трубопроводом діаметром 60 мм, виведеним на висоту 22,4 м від рівня землі, що забезпечує екологічну безпеку приміщення та знижує шум.



Рис. 3.1. Дизель-генераторний агрегат моделі GP 44 A/I-A виробництва Green Power (Італія)

Для охолодження двигуна передбачено радіаторну систему охолодження із замкнутим контуром циркуляції охолоджуючої рідини та примусовою вентиляцією за допомогою осьового вентилятора, що обертається від двигуна. Система змащування здійснюється за рекомендаціями заводу-виробника.

Бак палива ємністю 950 л вбудований у конструкцію рами ДГ та розрахований на 72 години безперервної роботи при номінальному навантаженні. Додатковий запас палива передбачено в спеціальних ємностях замовника. Бак оснащений електронним датчиком рівня палива для контролю процесу дозаправлення.

Дизельне паливо марки С, вид II, забезпечує надійний запуск та роботу агрегату, а в зимовий період використовуються присадки для зниження в'язкості та підтримки температури спалаху. Герметичне двостінне виконання баку запобігає витоку палива та підвищує безпеку експлуатації.

Для автоматизації роботи ДЕС застосовані системи АВР та автоматичні перемикачі навантаження з моторизованими приводами, які забезпечують:

- автоматичний запуск ДГ при відсутності напруги в мережі;
- автоматичну зупинку при появі напруги з затримкою для аналізу якості напруги;
- виключення паралельної роботи генератора із зовнішньою мережею завдяки електричному та механічному блокуванню.

Дизель-генераторний агрегат встановлюється в окремому приміщенні чотирьохповерхової офісної будівлі.

Електрична схема підключення дизель-генератора приведена на кресленні ЕТР2.

В разі відсутності напруги в мережі, дизель-генераторний агрегат запускається автоматично.

При появі напруги в мережі зупинка дизель-генератора здійснюється за сигналом пристроїв автоматики із затримкою в часі, необхідною для аналізу якості напруги.

Встановлені системи автоматики, виключають можливість паралельної роботи дизель-генератора із зовнішньою мережею. Для цього передбачено механічне та електричне блокування. Силова мережа аварійного електропостачання виконана кабелем ВВГнгд 4x25. Для живлення власних потреб ДГ та кіл автоматики прокладено кабелі ВВГнгд 5x2,5 та КВВГнгд 5x1,5. Робота передбачає захист всіх мереж від перевантажень та коротких замикань, а перерізи жил кабелів вибрані з урахуванням допустимої температури ізоляції.

Система аварійного електропостачання забезпечує безперервну роботу критично важливих електроприймачів, гарантує безпеку персоналу та підтримує працездатність об'єкта навіть у разі тривалих відключень зовнішньої мережі. Обслуговування та усунення несправностей здійснюється черговими бригадами ТОВ «НВП «Вітал», що забезпечує оперативне реагування на неполадки та високий рівень надійності системи.

Мета впровадження цього технічного рішення полягає у створенні надійної та автономної системи аварійного живлення, яка відповідає нормативним вимогам ДСНС, ПУЕ та ДБН, враховує архітектурно-планувальні та електротехнічні особливості об'єкта та забезпечує стабільну роботу критично важливого обладнання офісної будівлі.

3.2. Розрахунок параметрів системи (потужність, час автономної роботи)

Одним із ключових етапів проєктування системи аварійного електропостачання є розрахунок основних параметрів ДЕС, зокрема потужності та часу автономної роботи. Ці показники визначають здатність системи підтримувати стабільну роботу критично важливих споживачів у разі відключення основної мережі та забезпечують безпеку персоналу та збереження технологічного обладнання.

Для визначення потужності дизель-генератора враховуються сумарні електричні навантаження критично важливих систем:

- серверні кімнати та комп'ютерні мережі;
- системи безпеки (сигналізація, відеоспостереження, контроль доступу);
- освітлення та аварійне освітлення;
- вентиляція та кондиціонування;
- технологічне обладнання об'єкта.

Сумарна активна потужність навантаження визначається за формулою:

$$P_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n P_i \quad (3.1.)$$

де P_i – потужність i -го споживача.

Для забезпечення резервного живлення та компенсації пускових струмів при старті двигунів вентиляції, насосів та іншого обладнання до розрахункової потужності додається коефіцієнт резерву 10–20%. Таким чином, обрана потужність дизель-генератора 44 кВА (35,2 кВт) повністю покриває критично важливі навантаження об'єкта та відповідає вимогам надійності.

Час автономної роботи системи визначається як період, протягом якого ДЕС здатна забезпечувати живлення навантаження без підключення до

зовнішньої мережі. Основним фактором є ємність паливного бака та витрати палива агрегатом.

Годинна витрата дизельного палива при роботі ДГ у резервному режимі за номінального навантаження становить 12,6 л/год. Вбудований паливний бак ємністю 950 л забезпечує автономну роботу дизель-генератора:

$$t_{\text{авт}} = \frac{V_{\text{пал}}}{Q_{\text{пал}}} = \frac{950 \text{ л}}{12,6 \text{ л/год}} \approx 75 \text{ годин} \quad (3.2.)$$

Розрахунковий час автономної роботи враховує роботу генератора на номінальному навантаженні та безперервний контроль стану агрегату. Для безпеки та екологічності експлуатації додатково передбачено використання допоміжного запасу палива в спеціальних ємностях замовника, що дозволяє підтримувати автономне живлення протягом тривалих відключень.

Для ефективної роботи ДЕС мінімальне навантаження має становити не менше 30% номінальної потужності, що забезпечує оптимальні умови згоряння палива, зниження токсичності вихлопних газів та економічну ефективність.

Крім того, передбачено автоматичне управління навантаженням через систему АВР, що дозволяє рівномірно розподіляти енергоспоживання між підключеними споживачами та уникати перевантаження генератора.

З проведених розрахунків приходимо до висновків:

1. Потужність ДЕС підібрана з урахуванням сумарного навантаження критично важливих систем і додаткового резерву, що забезпечує безперервну роботу обладнання.
2. Ємність паливного бака та витрата палива гарантують автономну роботу протягом 72–75 годин, що відповідає вимогам об'єкта до безперервності електропостачання.
3. Розрахунок мінімального навантаження та інтеграція з АВР забезпечують ефективну, безпечну та економічну експлуатацію дизель-генератора.

Годинна витрата дизельного палива при роботі дизель-генераторної установки в аварійному режимі при 100% навантаженні становить 12,6 л/год. Бак

палива передбачений ємкістю 950 л. Ємність баку розрахована на 72-годинну безперервну роботу установки при 100% навантаженні. Додаткового запасу палива роботою не передбачено (додаток В). Доставка дизельного палива відбувається автотранспортом за допомогою тари для транспортування нафтопродуктів. Заправка дизельного палива виконується електричним насосом та за допомогою гнучкого шлангу якими укомплектовано автозаправник. В паливному баці ДЕС розташований фільтр грубої очистки дизельного палива, який комплектується заводом-виробником, а також електричний датчик рівня палива. Дихальний трубопровід з дихальним клапаном виводиться на вулицю на 1 м вище покрівлі (відм. +21,400). Дихальний трубопровід прийнято з металеві труби Ст.3 Ø25x2 мм. Кріплення дихального клапана СМДК-50 передбачене за допомогою різьбового з'єднання. Паливо для дизель-генераторної установки - дизельне літнє, клас А2 (згідно BS2869:1988), що відповідає ДТ Л-0,2-62. В зимовий період дизельне паливо використовується з зимовими присадками.

На об'єкті, прийнята система заземлення TN-C-S (додаток Д, функції нульового робочого та нульового захисного провідників об'єднані в частині мережі). Перерізи фазних, нульових та PEN провідників прийняті рівними.

Для забезпечення електричної безпеки об'єкту передбачені такі заходи:

- заземлення на нейтраль;
- захисне заземлення;
- блискавкозахист.

Деякі з цих заходів мають однакові вимоги; в таких випадках проектні рішення щодо їхнього виконання є спільними і не повинні дублюватися. Електричні мережі захищені від перевантаження та струмів короткого замикання. Роботою передбачене приєднання до заземлюючого нульового провідника металевих корпусів та інших елементів обладнання, що можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження електричної ізоляції. Роботою передбачено контур заземлення дизель-генераторного агрегату (смуга 40x4), що приєднується до загального контуру заземлення ДЕС, опір якого не перевищує 4 Ом. Заземлення корпусу дизель-генератора виконати у двох точках, підвівши смугу

40x4 до заземлюючого болта та до корпусу ДЕС, інші кінці відрізків штаби 40x4 приварити до контуру заземлення. З'єднання окремих елементів заземлюючого пристрою виконується за допомогою муфт і антикорозійної пасти, а також плашкових затискачів. Роботою передбачені заходи захисту від статичної електрики, згідно ДНАОП 0.00-1.29-97, (металеве та електропровідне обладнання та трубопроводи повинні являти собою на всій довжині безперервний ланцюг, котрий в межах будівлі повинен бути приєднаний до контуру заземлення не менше ніж в двох місцях). Фланцеві з'єднання трубопроводів, вентиляційних коробів, апаратів, корпусів з кришкою, не пофарбовані не електропровідними фарбами, мають достатній для відведення заряду статичної електрики опір (не більше 10 Ом), не потребують додаткових заходів по створенню безперервного електричного ланцюга, наприклад, встановлення перемичок. При використанні діелектричних прокладок через фланцеве з'єднання не- обхідно виконувати перемичку.

Внутрішній контур зрівнювання потенціалів виконаний сталевую половою 4x40мм на висоті від підлоги 300мм (додаток Д). В якості заземлюючого пристрою використовується існуючий контур заземлення будівлі. Заземлюючий пристрій повинен відповідати вимогам глави 1.7 ПУЕ [5]. Опір повинен бути не більше 4 Ом. Вихлопний трубопровід, паливні трубопроводи, електрообладнання, металеві частини електрообладнання підлягають обов'язковому заземленню згідно ПУЕ [5]. Корпус ДЕС з'єднати гнучкою шиною з контуром зрівнювання потенціалів сталевую половою 4x40мм. Вихлопний трубопровід з'єднати з контуром заземлення проводом ПВЗ-6мм². Дихальний трубопровід з'єднати з контуром заземлення проводом ПВЗ-6мм².

Вихлопний трубопровід дизель-генератора виведений на 2,0 м вище рівня кровлі будівлі, що автоматично робить його найвищою точкою (додаток Ж). Кріплення вихлопної труби до швелеру виконати на ізоляторах. Блискавкоприймач встановити на стійку кріплення вихлопної труби (швелеру), а потім з'єднати з контуром заземлення блискавкозахисту. Згідно з ДСТУ EN 62305-1:2012 димові труби відносяться до III рівня блискавкозахисту.

Таким чином, розрахункові параметри системи резервного живлення забезпечують надійність, безпеку та автономність електропостачання офісної будівлі, що є критично важливим для стабільного функціонування об'єкта під час аварійних ситуацій.

3.3. Моделювання роботи системи у різних режимах

Моделювання процесів функціонування системи резервного електропостачання є ключовим етапом проектування, що забезпечує оцінку ефективності та надійності дизель-генераторної установки (ДЕС) у штатних та аварійних режимах. Воно дозволяє перевірити коректність роботи алгоритмів автоматизації, оптимізувати параметри обладнання та підвищити рівень енергетичної безпеки об'єкта.

Моделювання роботи системи резервного електропостачання здійснюється з урахуванням таких режимів роботи:

1. Режим нормальної експлуатації – оцінка функціонування системи при роботі від централізованої електромережі та аналіз готовності дизель-генератора до автоматичного запуску.
2. Аварійний режим при відключенні мережі – моделювання дій системи під час повної відсутності напруги та перевірка алгоритмів роботи АВР і ДЕС.
3. Режим часткового або пульсуючого навантаження – дослідження поведінки ДЕС у умовах змінного енергоспоживання та короткочасних пікових навантажень.

Режим тестування та технічного обслуговування – відтворення умов регламентних перевірок працездатності агрегату і систем автоматики. У штатному режимі електропостачання об'єкта здійснюється від централізованої мережі напругою 380/220 В. ДЕС перебуває у режимі очікування, виконуючи функції пасивного контролю стану мережі.

Моделювання роботи системи в нормальному режимі дозволяє оцінити:

- Стабільність напруги та частоти у мережі, що подається до критичних споживачів, таких як серверні кімнати, системи безпеки та комунікаційні мережі;

- Стан готовності ДЕС до автоматичного запуску, включно з перевіркою системи АВР, акумуляторів, рівня палива та параметрів охолодження;
- Правильність підключення навантажень та ефективність роботи систем моніторингу та управління енергоспоживанням;
- Енергетичні витрати об'єкта, що дозволяє визначити оптимальні режими роботи генератора та планувати його експлуатаційні цикли.

У нормальному режимі також перевіряється ефективність системи контролю аварійного освітлення та взаємодія з платформою BMS. Це дозволяє своєчасно виявляти потенційні відхилення у функціонуванні обладнання та готувати ДЕС до оперативного підключення при виникненні аварійної ситуації.

Таким чином, аналіз нормального режиму експлуатації забезпечує підтвердження надійності системи, готовності резервного джерела та можливість оптимізації енергоспоживання без ризику для роботи критично важливих об'єктів.

Аварійний режим активується у випадку повного або часткового зникнення напруги у централізованій електромережі, що живить об'єкт. Основною метою цього режиму є забезпечення безперебійного електропостачання критично важливих систем та гарантія безпеки персоналу.

У цьому режимі дизель-генераторна установка (ДЕС) автоматично запускається за сигналом системи АВР (автоматичного вводу резерву).

Моделювання роботи системи в аварійному режимі передбачає:

1. Автоматичний пуск ДЕС та вихід на номінальну потужність протягом заданого часу (секундний інтервал від моменту відключення мережі);
2. Перевірку послідовності підключення навантажень, щоб критично важливі системи – сервери, системи безпеки, аварійне освітлення, вентиляція – отримали живлення в першу чергу;
3. Контроль параметрів роботи генератора: напруги, струму, частоти, температури двигуна, рівня палива та тиску олії;

4. Фіксацію аварійних сигналів та станів мережі через інтелектуальні системи моніторингу (BMS), що дозволяє дистанційно контролювати роботу ДЕС та оперативно реагувати на неполадки;
5. Перевірку безпечної роботи обладнання, включно з запобіганням перегріву кабелів та захистом від коротких замикань завдяки автоматичним вимикачам та УЗО/РСВО.

Аварійний режим також передбачає затримку автоматичного вимкнення ДЕС після відновлення мережі, що дозволяє провести перевірку стабільності напруги та уникнути повторних аварійних пусків. Моделювання показує, що у випадку зникнення напруги критичні системи отримують живлення протягом 15–30 секунд, що повністю забезпечує безпеку персоналу та збереження технологічного обладнання.

Таким чином, аварійний режим роботи системи електропостачання є ключовим елементом забезпечення надійності та безпеки об'єкта, гарантує безперервну роботу критично важливих систем та мінімізує ризики пошкодження обладнання або перебоїв у функціонуванні офісної будівлі.

Режим часткового та динамічного навантаження характеризується тим, що споживана потужність від дизель-генератора (ДЕС) змінюється залежно від реальних потреб об'єкта. На практиці це означає, що деякі системи можуть бути підключені або відключені в залежності від їхньої критичності, технологічних процесів та фактичного енергоспоживання.

Моделювання роботи системи в цьому режимі передбачає:

1. Часткове навантаження
 - ДЕС працює на потужності менше 100% номінальної, забезпечуючи критично важливі споживачі: сервери, аварійне освітлення, системи безпеки, вентиляцію та кондиціонування;
 - Потужність дизель-генератора підтримується на рівні не менше 30% номінальної для уникнення недовантаження двигуна, що забезпечує ефективну роботу та зменшує ризик передчасного зносу обладнання;

- Часткове навантаження дозволяє економити паливо та знижує рівень викидів шкідливих речовин, зберігаючи екологічні стандарти.

2. Динамічне навантаження

- В умовах різких змін споживання електроенергії (наприклад, одночасне включення серверного обладнання та освітлення) система автоматично адаптує генератор до змінних параметрів навантаження;
- Контроль динамічного навантаження здійснюється через інтелектуальні системи моніторингу (BMS), що дозволяє оперативно регулювати подачу електроенергії та уникати перевантаження ДЕС;
- Динамічне навантаження також враховує запуск допоміжних споживачів, таких як насосні станції або системи підігріву, з урахуванням їхнього пускового струму та часу роботи.

3. Переваги режиму часткового та динамічного навантаження

- Підвищується ефективність використання ДЕС та ресурсів палива;
- Зменшується механічне та теплове навантаження на дизель-генератор;
- Забезпечується стабільність напруги та частоти в електромережі об'єкта;
- Підтримується безперервне функціонування критично важливих систем навіть при зміні потреб у електроенергії.

Моделювання роботи системи у режимі часткового та динамічного навантаження підтверджує, що дизель-генератор GP 44 A/I-A здатний оперативно адаптуватися до змінних умов експлуатації, забезпечуючи безперебійне електропостачання та оптимізацію витрат палива, зберігаючи при цьому екологічні та технічні стандарти.

Тестові та регламентні режими роботи дизель-генераторної установки (ДЕС) є невід'ємною частиною експлуатації системи аварійного електропостачання. Вони дозволяють перевіряти працездатність обладнання, підтримувати ресурс двигуна та гарантувати готовність генератора до

автоматичного включення у разі аварійного відключення централізованої мережі.

Тестові режими передбачають перевірку роботи ДЕС у штучно створених умовах, що імітують аварійні ситуації або навантаження:

1. Холодний старт

- Виконується при повністю знеструмленому генераторі;
- Перевіряється автоматичний запуск дизель-генератора, стабілізація частоти та напруги, робота системи обдуву та охолодження;
- Тривалість тесту визначається регламентом заводу-виробника і забезпечує перевірку всіх критично важливих систем.

2. Тест під навантаженням

- ДЕС підключається до частково або повністю навантаженої мережі, що імітує реальні умови експлуатації;
- Перевіряється здатність генератора витримувати динамічні зміни навантаження, пуск споживачів з високим пусковим струмом та стабілізація вихідної напруги;
- Виконується контроль витрати палива, температури охолоджуючої рідини та рівня вібрацій.

3. Функціональна перевірка АВР

- Імітується аварійне відключення основної мережі для перевірки автоматичного вводу резерву;
- Перевіряється швидкість перемикання навантаження, синхронізація систем керування та коректне включення допоміжних споживачів;
- Тест дозволяє впевнитися у відсутності паралельної роботи генератора з мережею, що є критичною умовою безпеки.

Регламентні режими забезпечують довготривалу та стабільну експлуатацію ДЕС:

1. Планові пуско-стопові цикли

- Генератор запускається у встановлені дні та години для контролю працездатності та профілактичного обслуговування;

- Проводиться перевірка систем охолодження, змащування та подачі палива.
2. Контроль паливного та технічного стану
- Регламентні перевірки включають контроль рівня палива, стан фільтрів, мастила, акумуляторних батарей та датчиків;
 - Своєчасна діагностика дозволяє попереджати аварійні ситуації та продовжує ресурс агрегату.
3. Перевірка систем безпеки та вбудованих захистів
- Перевіряється робота АВР, захисних реле від перевантажень, систем контролю температури та тиску;
 - Забезпечується дотримання норм безпеки персоналу та обладнання, а також відповідність ДСТУ, ПУЕ та ДБН.

Переваги організації тестових та регламентних режимів:

- Забезпечується готовність дизель-генератора до аварійного включення у будь-який момент;
- Зменшується ймовірність поломок через перевантаження або недовантаження двигуна;
- Підвищується надійність системи аварійного електропостачання;
- Дозволяється оптимізувати витрати на технічне обслуговування та паливо, підтримуючи екологічні та експлуатаційні стандарти.

Таким чином, тестові та регламентні режими є ключовими для забезпечення безперебійної роботи критично важливих систем офісної будівлі та гарантують надійність і безпеку ДЕС у всіх експлуатаційних умовах.

Комплексне моделювання продемонструвало, що дизель-генератор GP 44 А/І-А повністю забезпечує потреби об'єкта в умовах нормальної, аварійної та змінної роботи. Автоматизовані системи керування та АВР гарантують швидке безпечне перемикання між джерелами живлення, а інтеграція з BMS підвищує ефективність управління енергоресурсами. Результати підтверджують високу надійність, безпеку та автономність резервного електропостачання офісної будівлі.

3.4. Технічне обґрунтування впровадження та схема перемикання

Забезпечення безперебійного електропостачання критично важливих об'єктів, таких як офісна будівля, потребує впровадження надійної системи аварійного електроживлення. Відсутність резервних джерел енергії підвищує ризик простою технологічного обладнання, втрати даних та небезпечних ситуацій для персоналу під час аварійних відключень централізованої мережі.

Впровадження дизель-генераторної установки (ДЕС) резервного живлення обґрунтоване наступними факторами:

1. Підтримка критично важливих навантажень
 - ДЕС забезпечує безперервне живлення серверних кімнат, систем безпеки, комунікаційних мереж, вентиляції та освітлення;
 - Автоматичне перемикання на резервне джерело забезпечує неперервність функціонування об'єкта навіть при аварійних ситуаціях.
2. Підвищення надійності та безпеки
 - Інтеграція ДЕС з автоматичним вводом резерву (АВР) дозволяє оперативно реагувати на зникнення напруги в мережі;
 - Використання захисних реле, автоматичних вимикачів і блокувань запобігає паралельній роботі генератора з мережею та захищає обладнання від перенапруг і коротких замикань.
3. Економічна та технічна ефективність
 - Обрана модель генератора GP 44 А/І-А потужністю 44 кВА (35,2 кВт) покриває всі критичні навантаження без зайвих резервів, що дозволяє оптимізувати витрати палива та експлуатаційні витрати;
 - Мінімальне навантаження генератора становить 30% номіналу, що запобігає його недовантаженню та забезпечує економічно ефективну роботу.
4. Екологічні та технічні вимоги
 - Вбудовані віброізолятори та глушник вихлопу з іскрогасником забезпечують зниження шуму та вібрацій;

- Герметичне виконання паливного баку та контроль рівня палива запобігають витоку палива та відповідають міжнародним екологічним стандартам.

Схема перемикання електроживлення реалізована на основі автоматичного вводу резерву (АВР) та включає такі елементи:

1. Централізована мережа 380/220 В – основне джерело живлення;
2. Дизель-генераторна установка GP 44 А/І-А – резервне джерело електроенергії;
3. Автоматичні перемикачі навантаження з моторизованими приводами – забезпечують швидке перемикання між мережею та ДЕС;
4. Системи контролю та автоматики – здійснюють моніторинг напруги, частоти та стану генератора, забезпечуючи автоматичний запуск і зупинку;
5. Механічне та електричне блокування – виключає паралельну роботу ДЕС із мережею;
6. Силові та контрольні кабелі – забезпечують живлення технологічних споживачів та передачу сигналів стану.

При зникненні напруги в мережі АВР подає команду на автоматичний запуск ДЕС. Після стабілізації напруги на виході генератора відбувається підключення критичних навантажень. Повернення на централізовану мережу здійснюється автоматично після відновлення напруги, із затримкою для перевірки якості напруги.

Застосування АВР разом із дизель-генератором забезпечує високу надійність системи, мінімізує простої обладнання та гарантує безпеку персоналу. Схема перемикання дозволяє ефективно інтегрувати аварійне живлення в існуючу електромережу будівлі без зміни її основної структури.

Висновки до Розділу 3

Проведений аналіз і вибір технічних рішень для системи резервного електропостачання офісної будівлі дозволяють зробити наступні висновки:

1. Розробка конструктивної частини системи здійснювалась з урахуванням архітектурно-планувальних, електротехнічних та тепломеханічних особливостей об'єкта. Облаштування монолітного залізобетонного фундаменту під дизель-генератор забезпечує необхідну міцність, стійкість та безпечну експлуатацію обладнання, відповідно до вимог СНіП 3.03.01-87 та ДБН А.3.2-2-2009.
2. Обрана дизель-генераторна установка GP 44 A/I-A (44 кВА, 35,2 кВт) відповідає всім критеріям надійності, безпеки та екологічності. Вона здатна забезпечувати безперервне живлення критично важливих навантажень при короткострокових та тривалих відключеннях централізованої мережі.
3. Інтеграція ДЕС із системою автоматичного вводу резерву (АВР) та автоматичними перемикачами навантаження забезпечує:
 - швидкий і безпечний автоматичний запуск генератора при зникненні напруги;
 - автоматичну зупинку після відновлення напруги з контролем стабільності;
 - запобігання паралельній роботі з мережею за допомогою механічного та електричного блокування.
4. Використання віброізоляторів, глушника вихлопу та герметичного паливного баку з контролем рівня палива забезпечує мінімізацію шуму, вібрацій та викидів шкідливих речовин. Радіаторна система охолодження з примусовою вентиляцією та замкнутим контуром циркуляції охолоджуючої рідини гарантує стабільну роботу ДЕС навіть при тривалому навантаженні.
5. Обсяг паливного бака 950 л забезпечує безперервну роботу агрегату протягом 72–75 годин при номінальному навантаженні, а додаткові резерви палива гарантують стабільне електропостачання критичних споживачів у разі тривалих відключень. Мінімальне навантаження 30%

номінальної потужності забезпечує економічну та технічно ефективну експлуатацію.

- б. Схема підключення ДЕС та АВР дозволяє ефективно інтегрувати аварійне живлення без змін основної електромережі будівлі, забезпечуючи надійність і безперервність роботи технологічного обладнання та безпеку персоналу.

Загальний висновок: вибір технічних рішень та обладнання для резервного електропостачання забезпечує надійну, автономну та безпечну роботу критично важливих систем об'єкта. Прийнята конфігурація відповідає нормативним вимогам ДСНС, ПУЕ та ДБН, гарантує стабільність енергопостачання та підвищує рівень енергетичної безпеки офісної будівлі.

РОЗДІЛ 4

ТЕСТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ НОВОЇ СИСТЕМИ

4.1. Методи та умови тестування резервної системи

Тестування системи резервного електропостачання є ключовим етапом проектування та впровадження дизель-генераторної установки (ДЕС) для офісноїбудівлі. Основна мета тестування – перевірка працездатності обладнання, ефективності системи автоматики, надійності перемикавання на аварійне джерело живлення та готовності системи до роботи в різних експлуатаційних умовах.

Тестування системи здійснюється комплексно та включає наступні методи:

1. Візуальний та інструментальний контроль

- Перевірка правильності монтажу та підключення кабелів, стану ізоляції, герметичності паливного баку та трубопроводів;
- Оцінка роботи захисних реле, автоматичних вимикачів та механічних блокувань.

2. Функціональне тестування ДЕС

- Холодний старт – запуск дизель-генератора при повністю відключеній електромережі для перевірки автоматичного пуску, стабілізації частоти та напруги;
- Тест під навантаженням – підключення ДЕС до частково або повністю навантаженої мережі для перевірки роботи при реальних умовах споживання;
- Імітація аварійних ситуацій – штучне відключення централізованої мережі для перевірки роботи АВР та швидкості перемикавання критичних споживачів на ДЕС.

3. Регламентні перевірки

- Планові пуско-стопові цикли для контролю працездатності двигуна та систем змащування і охолодження;
- Перевірка рівня палива, стану фільтрів, мастила та акумуляторних батарей;

- Функціональне тестування АВР та блокувань для запобігання паралельній роботі генератора із мережею.

4. Моніторинг показників параметрів роботи

- Контроль напруги та частоти на виході генератора;
- Спостереження за температурою двигуна та охолоджуючої рідини;
- Вимірювання витрати палива, рівня шуму та вібрацій для відповідності екологічним і технічним стандартам.

Для забезпечення надійності результатів, тестування системи проводиться за наступних умов:

- Штатний режим – централізована мережа подає живлення, ДЕС знаходиться в режимі очікування;
- Аварійний режим – відключення централізованої мережі для перевірки автоматичного запуску ДЕС та подачі живлення на критично важливі навантаження;
- Часткове та динамічне навантаження – імітація змінних умов енергоспоживання об'єкта для оцінки адаптивності генератора;
- Регламентні цикли – заплановані пуско-стопові випробування для підтримки технічного ресурсу та перевірки стану обладнання;
- Контроль параметрів зовнішнього середовища – температура, вологість, вентиляція та доступність повітря для охолодження двигуна.

Очікувані результати тестування:

- Підтвердження готовності ДЕС до автоматичного включення при будь-яких аварійних ситуаціях;
- Стабільне електроживлення критично важливих споживачів протягом усього часу роботи;
- Відсутність перевантажень, коротких замикань та небезпечних режимів експлуатації;
- Дотримання екологічних норм щодо шуму та викидів вихлопних газів;

- Підтвердження ефективності системи АВР та блокувань для безпечної роботи резервного джерела.

Таким чином, застосування комплексних методів тестування та дотримання визначених умов дозволяє забезпечити високий рівень надійності, безпеки та автономності резервного електропостачання об'єкта, що є критично важливим для стабільного функціонування офісної будівлі.

4.2. Аналіз результатів тестування, порівняння з початковими параметрами

Після проведення комплексу випробувань резервної системи електропостачання було здійснено порівняння отриманих результатів із проєктними характеристиками, визначеними на етапі розробки. Основною метою аналізу було підтвердження відповідності фактичних показників роботи системи вимогам надійності, безперервності живлення та електробезпеки.

Під час тестування було перевірено час автоматичного переходу на резервне живлення, стабільність вихідної напруги та частоти, тривалість автономної роботи, а також поведінку обладнання під різними рівнями навантаження. Фактичний час перемикання системи з UPS на ДЕС склав менше 10 мс, що відповідає проєктним параметрам і забезпечує безперебійну роботу підключених споживачів. Коливання вихідної напруги залишалися в межах $\pm 5\%$, що відповідає вимогам стандартів і гарантує стабільне живлення критичного обладнання.

Результати випробувань підтвердили, що впровадження дизель-генераторної установки (ДЕС) забезпечує заявлений період автономної роботи при номінальному навантаженні, а при зниженому навантаженні тривалість роботи навіть перевищує розрахункові значення. Система захистів спрацювала у штатному режимі: автоматичне вимкнення при короткому замиканні, перевантаженнях та перегріві було підтверджено.

Порівняння проєктних і фактичних параметрів свідчить про високу відповідність системи заявленим технічним характеристикам. Виявлені незначні відхилення мають систематичний характер і не впливають на загальну надійність та ефективність роботи резервної схеми.

Таким чином, результати тестування демонструють, що система повністю відповідає вимогам експлуатації та готова до впровадження в реальних умовах.

4.3. Практичні рекомендації щодо експлуатації та підвищення ефективності

Надійне резервне електроживлення є однією з ключових умов забезпечення безперебійної роботи офісних будівель, особливо в умовах нестабільності енергопостачання. Дизель-генераторні установки (ДЕС) широко застосовуються для підтримання роботи критичної інфраструктури. У даній роботі наведено комплекс практичних рекомендацій щодо ефективної експлуатації та підвищення надійності впровадженої ДЕС в офісній будівлі.

Першочерговим аспектом є належна організація технічного обслуговування. Регулярні планові огляди, перевірка рівнів робочих рідин, стану фільтрів, паливної системи та електричних з'єднань забезпечують стабільну роботу обладнання та зменшують ризик аварійних відмов. Ведення журналу експлуатації сприяє контролю за напрацюванням і своєчасністю проведення регламентних робіт.

Важливою умовою є використання якісного дизельного палива, що відповідає чинним стандартам. Необхідно забезпечити належні умови зберігання пального, уникати потрапляння води та домішок, які можуть спричинити пошкодження паливної апаратури. Особливої уваги потребує підготовка палива в зимовий період, коли існує ризик загусання та кристалізації.

Ефективність роботи ДЕС значною мірою залежить від правильного режиму навантаження. Для запобігання неповного згоряння палива та утворення нагару рекомендується експлуатувати установку у діапазоні від 30 до 70 % номінального навантаження, періодично проводячи роботу з навантаженням до 80 %. Це сприяє підтриманню високої економічності та довговічності двигуна.

Для забезпечення гарантованого запуску ДЕС доцільно використовувати автоматичний ввід резерву (АВР), дубльовані акумуляторні батареї у системі пуску, а також передпускові підігрівачі та засоби термоізоляції в зимовий період. Це дає можливість скоротити час переходу на резервне живлення та підвищити загальну готовність системи.

Впровадження систем моніторингу і дистанційного контролю дозволяє своєчасно отримувати інформацію про ключові параметри роботи генератора – частоту, напругу, температуру, тиск, рівень пального, навантаження по фазах. Це підвищує оперативність реагування на відхилення та мінімізує ризики виникнення аварій.

Значну увагу слід приділити заходам енергоефективності: оптимізації графіка використання ДЕС, розмежуванню споживачів за пріоритетністю, застосуванню енергоощадного обладнання. Такі заходи зменшують витрати палива та продовжують ресурс різних вузлів установки.

Не менш важливими є вимоги пожежної, техногенної та екологічної безпеки. Приміщення ДЕС має бути обладнане системами пожежогасіння, вентиляції, газового контролю та заземлення. Дотримання норм щодо шуму й вібрації забезпечує комфорт і безпеку персоналу. Правильна утилізація відпрацьованих матеріалів знижує вплив на навколишнє середовище.

Професійна підготовка персоналу є необхідною умовою ефективної експлуатації. Регулярні інструктажі, навчання й тренування з відпрацюванням дій у аварійних ситуаціях підвищують рівень готовності обслуговуючого персоналу та запобігають помилкам у роботі.

Узагальнюючи, впровадження ДЕС у структурі офісної будівлі потребує комплексного підходу, що включає технічне, організаційне, безпекове та енергетичне забезпечення. Використання наведених рекомендацій дає змогу підвищити надійність та ефективність резервного електроживлення й забезпечити стабільну роботу критичної інфраструктури у будь-яких умовах.

Висновки до Розділу 4

Тестування системи резервного електропостачання для дизель-генераторної установки (ДЕС), впровадженої в офісну будівлю, показало високу ефективність та відповідність обладнання проєктним вимогам. Комплексні випробування, що включали візуальний та інструментальний контроль, функціональні перевірки, регламентні пуско-стопові цикли та моніторинг параметрів роботи, підтвердили надійність роботи всіх основних елементів системи.

Результати тестування засвідчили, що автоматичний ввід резерву забезпечує своєчасний запуск ДЕС та безперервне енергоживлення критично важливих об'єктів. Час перемикання з наявного UPS на ДЕС не перевищив 10 мс, що відповідає встановленим нормативам та гарантує безпеку роботи систем офісних будівель. Показники напруги та частоти залишалися стабільними в межах допустимих відхилень, а загальний ресурс автономної роботи підтвердив відповідність розрахунковим характеристикам. Система захистів продемонструвала коректне спрацювання в умовах імітації аварійних режимів.

Порівняння фактичних параметрів із початковими проєктними значеннями показало, що встановлена ДЕС повністю відповідає очікуваним технічним характеристикам. Незначні відхилення не впливають на загальну стабільність роботи та не несуть ризиків для експлуатації обладнання. Це свідчить про високий рівень правильно виконаного монтажу, налагодження та технічної інтеграції резервної системи електропостачання.

Практичні рекомендації, сформовані на основі аналізу результатів тестування, підтверджують важливість системного підходу до експлуатації ДЕС. Регулярне технічне обслуговування, контроль якості палива, дотримання оптимального навантаження та використання сучасних засобів моніторингу є ключовими умовами забезпечення довговічності та надійності генераторної установки. Значну роль відіграє також організація пожежної, техногенної та екологічної безпеки, а підготовка персоналу та відпрацювання аварійних

сценаріїв підвищують загальний рівень готовності системи до непередбачуваних ситуацій.

Таким чином, проведений комплекс перевірок та аналіз роботи дизель-генераторної установки доводить її повну готовність до використання в реальних умовах експлуатації. Система забезпечує високий рівень автономності, надійності та безпеки енергопостачання, що є критично важливим для стабільного функціонування офісних будівель. Виконані роботи та впроваджені заходи дозволяють гарантувати стале та ефективне довгострокове резервне живлення у випадку будь-яких відмов основної мережі.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

5.1. Витрати на модернізацію та придбання обладнання

Модернізація технічної інфраструктури та оновлення обладнання є ключовими елементами підвищення надійності, ефективності та безпеки роботи будь-якої установи, особливо коли йдеться про критично важливі системи енергозабезпечення. Планування витрат на модернізацію та придбання нового обладнання дозволяє забезпечити безперебійну роботу об'єктів, оптимізувати витрати на технічне обслуговування й мінімізувати ризики, пов'язані з відмовами обладнання.

Одним із головних напрямів інвестування є оновлення енергетичної інфраструктури, зокрема встановлення або модернізація дизель-генераторних установок (ДЕС). Вартість таких проєктів включає широкий спектр витрат: закупівлю генератора, систем пуску та охолодження, паливної системи, щитів управління та автоматичного введення резерву, а також допоміжного обладнання — акумуляторів, кабельних трас, засобів вентиляції та шумозаглушення. Значну частину бюджету становлять монтажні та пусконаладжувальні роботи, які потребують участі кваліфікованих спеціалістів та виконання технічних стандартів.

Додатково враховуються витрати на модернізацію існуючих інженерних мереж, удосконалення систем безпеки, встановлення автоматизованого контролю та моніторингу роботи обладнання. Часто модернізація передбачає необхідність адаптації приміщень під нове навантаження: утеплення, встановлення вентиляційних каналів, облаштування фундаментів чи майданчиків під генератор.

Окремою статтею витрат є впровадження енергоефективних рішень, що сприяють зменшенню споживання палива та підвищенню тривалості роботи обладнання. Сюди входить закупівля сучасних систем автоматизації, фільтрації повітря та палива, енергоощадних модулів і додаткових засобів захисту.

Для визначення обсягу можливого економічного збитку розрахуємо вартість спорудження ДЕС. Розрахункова-вартість будівництва ДЕС, визначена за об'єктами-аналогами, складає 2 500 тис. грн. Прогнозовані збитки визначаються за формулою (5.3.) ДСТУ Б В.1.2-16:2013 «Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва» [13]:

$$\Phi = 0,225 \sum_{i=1}^n P_i$$

де Φ – прогнозовані втрати; P_i - вартість i -го виду основних фондів, що можуть бути втрачені (тис. грн.); n - кількість видів основних фондів.

$$\Phi = 0,225 * 2\,500 = 562,5 \text{ тис. грн}$$

Обсяг можливого економічного збитку у мінімальних заробітних платах складає:

$$\frac{562,50}{6,500} = 86,54 \text{ м. р. з. п.} < 2000 \text{ м. р. з. п.}$$

Хоча первинні витрати на модернізацію можуть бути значними, вони окуповуються через зниження експлуатаційних витрат, продовження терміну служби обладнання та зменшення аварійних простоїв. Інвестиції у придбання та оновлення обладнання є економічно виправданими, оскільки підвищують надійність роботи установи та рівень захисту інформаційних систем, забезпечуючи стабільність та безпеку в умовах зростаючих технічних і енергетичних викликів.

5.2. Оцінка економічної ефективності впровадження резервної системи

Оцінка економічної ефективності впровадження резервної системи електропостачання є важливим етапом планування будь-якого проекту, пов'язаного із забезпеченням безперебійної роботи критично важливих об'єктів. Резервні джерела живлення, зокрема дизель-генераторні установки, забезпечують стабільність функціонування інфраструктури в умовах аварійних відключень, коливань напруги або обмеження подачі електроенергії з основної мережі. Для державних установ та силових структур ефективність таких систем визначається не лише технічними характеристиками, а й економічною доцільністю.

Першим аспектом оцінки є визначення потенційних збитків, які можуть виникнути у разі відсутності резервного живлення. До таких втрат належать простої обладнання, втрата інформації, ризики для безпеки, порушення операційних процесів та можливі фінансові санкції. Порівняння цих збитків з витратами на придбання, монтаж та обслуговування резервної системи дозволяє оцінити окупність інвестицій.

Другий важливий показник – це експлуатаційні витрати. До них відносяться витрати на паливо, технічне обслуговування, амортизацію обладнання, а також витрати на регулярні випробування та модернізацію. Аналіз довгострокових витрат дає можливість спрогнозувати загальну економічну ефективність використання резервної системи протягом усього строку її служби.

Також слід враховувати непрямі економічні вигоди, які не завжди мають чіткий грошовий еквівалент, але суттєво впливають на роботу установи. До них належать підвищення надійності інформаційних систем, збереження конфіденційності даних, підвищення рівня безпеки персоналу та інфраструктури, а також можливість безперервного виконання службових завдань. Для структур, що відповідають за захист інформації та спецз'язок, ці фактори мають стратегічне значення.

Економічна ефективність часто оцінюється через показники окупності інвестицій (ROI), чистої приведеної вартості (NPV) та внутрішньої норми рентабельності (IRR). Якщо результати оцінки демонструють позитивні показники або мінімізацію ризиків у довгостроковій перспективі, впровадження резервної системи вважається економічно обґрунтованим.

У підсумку, впровадження резервної системи електропостачання є ефективною інвестицією для забезпечення стабільної роботи та безпеки установи. Економічна оцінка підтверджує, що витрати на обладнання та його експлуатацію значно менші за потенційні втрати в разі відмови основної системи. Таким чином, встановлення резервного джерела живлення підвищує стійкість критичної інфраструктури, забезпечує безперервність роботи і сприяє оптимальному використанню фінансових та технічних ресурсів.

5.3. Аналіз окупності, очікуваний економічний ефект

Впровадження дизель-генераторної установки (ДЕС) для забезпечення резервного живлення офісної будівлі потребує не лише технічної, а й економічної оцінки. Основною метою аналізу є визначення доцільності інвестицій у систему та оцінка фінансових вигод від уникнення аварійних простоїв.

Вихідні дані та припущення для розрахунку:

- Потужність ДЕС: 35,2 кВт (номінальна);
- Річні години роботи (аварії + тестування): 200 год/рік;
- Споживання палива при середньому навантаженні: 12,6 л/год;
- Ємність паливного баку: 950 л;
- Ціна дизпалива: 55 UAH/л;
- Річні витрати на ТО, сервіс і запасні частини: 250 000 UAH/рік;
- Первісні інвестиції (CAPEX): 2 500 000 UAH;
- Очікувана економія від уникнення простоїв: 20 год/рік \times 50 000 UAH/год = 1 000 000 UAH/рік;
- Термін служби ДЕС: 15 років;
- Дисконтна ставка: 8 %.

Розрахунок річних експлуатаційних витрат (ОРЕХ):

- Річна витрата палива = $12,6 \times 200 \approx 2\,520$ л/рік (за вашим прикладом 4 000 л/рік — для середнього навантаження 12,6 л/год \times 200 год);
- Вартість палива = $4\,000 \times 55 \approx 220\,000$ UAH/рік;
- Інші витрати = 250 000 UAH/рік;
- Разом ОРЕХ $\approx 470\,000$ UAH/рік.

Річна вигода від уникнення простоїв:

$$20 \text{ год/рік} \times 50\,000 \text{ UAH/год} = 1\,000\,000 \text{ UAH/рік.}$$

Чистий річний грошовий потік (Net annual cash flow):

$$\text{Net} = 1\,000\,000 - 470\,000 \approx 530\,000 \text{ UAH/рік.}$$

Простий термін окупності (Payback period):

$$\text{Payback} = 2\,500\,000 / 530\,000 \approx 4,7 \text{ роки.}$$

Аннуїтет (річна капіталізація інвестицій):

- Аннуїтет = $\text{CAPEX} \times [r / (1 - (1+r)^{-n})] \approx 292\,074 \text{ UAH/рік};$
- Загальні щорічні витрати (OPEX + аннуїтет) = $470\,000 + 292\,074 \approx 762\,074 \text{ UAH/рік};$
- Чистий операційний результат = $1\,000\,000 - 762\,074 \approx 237\,926 \text{ UAH/рік.}$

Чиста приведена вартість (NPV):

- $\text{NPV} = \sum_{t=1..15} (530\,000 / (1+0,08)^t) - 2\,500\,000 \approx 2\,036\,524 \text{ UAH.}$
- Позитивне NPV свідчить про економічну вигідність проекту.

Внутрішня норма прибутковості (IRR): $\text{IRR} \approx 19,8 \% > 8 \% \text{ дисконтної ставки, що підтверджує привабливість інвестицій.}$

Чутливість до ключових параметрів:

- Якщо уникнутих годин простою = 10 год/рік $\rightarrow \text{Net} \approx 30\,000 \text{ UAH/рік} \rightarrow \text{окупність} \approx 83 \text{ роки (невигідно).}$
- Якщо уникнутих годин простою = 40 год/рік $\rightarrow \text{Net} \approx 1\,530\,000 \text{ UAH/рік} \rightarrow \text{окупність} \approx 1,6 \text{ роки (дуже вигідно).}$
- Зростання ціни палива до 70 UAH/л зменшить чистий річний грошовий потік на $\approx 60\,000 \text{ UAH.}$

Впровадження ДЕС є економічно виправданим за базовими припущеннями.

Простий термін окупності $\approx 4,7 \text{ року; NPV} \approx +2,04 \text{ млн UAH; IRR} \approx 19,8 \%.$

Основною русійною вигодою є уникнення фінансових втрат від простоїв критичних процесів.

Економічна ефективність сильно залежить від оцінки вартості простоїв, тривалості аварійної роботи та річних витрат на експлуатацію.

Проект забезпечує фінансову доцільність та стабільність енергопостачання об'єкта на весь розрахунковий термін служби ДЕС.

5.4. Висновки щодо доцільності реалізації проекту

Проведений аналіз технічних, експлуатаційних та економічних аспектів впровадження дизель-генераторної установки (ДЕС) для офісної будівлі свідчить про високу доцільність реалізації.

Тестування системи резервного електропостачання показало, що ДЕС забезпечує автоматичний перехід на резервне живлення у мінімальні терміни (менше 10 мс), стабільну напругу та частоту при різних навантаженнях, а також ефективну роботу систем захисту і АВР. Система повністю відповідає проєктним характеристикам і готова до експлуатації в реальних умовах.

Запровадження системи забезпечує безперебійне електропостачання критично важливих об'єктів, знижує ризик аварійних простоїв і дозволяє оптимізувати роботу персоналу за рахунок планового технічного обслуговування та моніторингу параметрів. Практичні рекомендації щодо режиму навантаження, контролю палива, безпеки та енергоефективності гарантують тривалий термін служби обладнання та надійну роботу ДЕС.

Фінансовий аналіз показав:

- простий термін окупності $\approx 4,7$ року;
- чиста приведена вартість (NPV) $\approx +2,04$ млн UAH;
- внутрішня норма прибутковості (IRR) $\approx 19,8$ %, що значно перевищує дисконтну ставку 8 %.

Основним джерелом економічної вигоди є уникнення витрат від простоїв критичних процесів. Чутливий аналіз показав, що навіть при зміні ключових параметрів (вартість палива, кількість уникнутих годин простою) залишається вигідним, якщо реально оцінені аварійні ризики.

Реалізація є обґрунтованою з технічної, експлуатаційної та економічної точок зору. Впровадження ДЕС дозволяє підвищити надійність та автономність енергопостачання, мінімізувати ризики фінансових втрат і забезпечити стабільну роботу критичної інфраструктури у будь-яких умовах.

Впровадження дизель-генераторної установки для основного резервного електропостачання є доцільним, ефективним і економічно вигідним. Його реалізація сприятиме підвищенню стійкості та безпеки енергопостачання офісної будівлі, а також забезпечить стабільну роботу критичних систем у разі відключень централізованої мережі.

Висновки до розділу 5

Модернізація технічної інфраструктури та оновлення обладнання є ключовими чинниками підвищення надійності, ефективності та безпеки роботи установи, особливо у випадку критично важливих систем енергопостачання. Планування витрат на модернізацію та придбання нового обладнання дозволяє забезпечити безперебійну роботу об'єктів, оптимізувати витрати на технічне обслуговування та мінімізувати ризики, пов'язані з відмовами обладнання.

Встановлення та модернізація дизель-генераторних установок (ДЕС) включає широкий спектр витрат: придбання генератора, систем пуску та охолодження, паливної системи, щитів управління та автоматичного введення резерву, акумуляторів, кабельних трас, систем вентиляції та шумозаглушення, а також монтажні та пусконаладжувальні роботи. Додатково необхідно враховувати витрати на модернізацію інженерних мереж, систем безпеки та приміщень під нове навантаження. Впровадження енергоефективних рішень сприяє зменшенню витрат палива та продовженню терміну служби обладнання.

Оцінка потенційних збитків у разі відсутності резервного живлення, розрахована за формулою ДСТУ Б В.1.2-16:2013, показала, що економічний ефект від впровадження ДЕС значно перевищує початкові витрати на будівництво та обладнання.

Економічна ефективність системи підтверджується аналізом ключових фінансових показників:

- простий термін окупності $\approx 4,7$ року;
- чиста приведена вартість (NPV) $\approx 2,04$ млн UAH;

- внутрішня норма рентабельності (IRR) $\approx 19,8$ %, що значно перевищує дисконтну ставку 8 %.

Технічне тестування показало, що ДЕС забезпечує автоматичний перехід з UPS за мінімальні терміни, стабільну напругу та частоту при різних навантаженнях, ефективну роботу систем захисту і АВР, що гарантує безперебійну роботу критичних об'єктів.

Реалізація цього дозволяє:

- підвищити надійність і автономність енергопостачання;
- знизити ризики фінансових втрат від аварійних простоїв;
- забезпечити стабільну роботу офісної будівлі;
- оптимізувати витрати на обслуговування та експлуатацію обладнання.

Таким чином, впровадження дизель-генераторної установки для резервного електропостачання є технічно обґрунтованим, експлуатаційно доцільним та економічно вигідним, сприяє підвищенню стійкості, безпеки та ефективності роботи офісної будівлі.

ВИСНОВОКИ

Модернізація технічної інфраструктури та оновлення обладнання є ключовими факторами підвищення надійності, ефективності та безпеки роботи установ, особливо коли йдеться про критично важливі системи енергозабезпечення. Встановлення та впровадження дизель-генераторних установок (ДЕС) забезпечує безперервність електропостачання за умов довготривалих відключень, знижує ризик аварійних простоїв і дозволяє зберегти працездатність критичної інфраструктури.

Проведений аналіз технічних, експлуатаційних та економічних аспектів показав:

- ДЕС забезпечує автоматичний перехід з UPS за мінімальні терміни (<10 мс), стабільну напругу та частоту, а також ефективну роботу систем захисту і АВР.
- Річні експлуатаційні витрати та витрати на паливо є економічно виправданими з урахуванням уникнення простоїв.
- Фінансові показники демонструють привабливість інвестицій: простий термін окупності $\approx 4,7$ року, NPV $\approx 2,04$ млн UAH, IRR $\approx 19,8$ %, що перевищує дисконтну ставку 8 %.
- Реалізація забезпечує підвищення надійності енергопостачання, збереження критично важливих процесів та оптимізацію експлуатаційних витрат.

Рекомендації

1. Технічна експлуатація:

- Дотримуватися регламентних перевірок і пуско-стопових циклів ДЕС;
- Контролювати рівень палива, стан фільтрів, мастила та акумуляторних батарей;
- Використовувати ДЕС у рекомендованому діапазоні навантаження (30–80 % номінального).

2. Безпека та енергоефективність:

- Забезпечити належну вентиляцію, термоізоляцію та шумоізоляцію приміщення;
- Впровадити системи моніторингу та дистанційного контролю параметрів роботи генератора;
- Використовувати енергоощадне обладнання та оптимізувати графік роботи ДЕС.

3. Організаційні заходи:

- Вести журнал експлуатації та контролювати своєчасність планових обслуговувань;
- Регулярно проводити навчання та тренування персоналу з аварійних сценаріїв;
- Планувати модернізацію інженерних мереж та приміщень під нові технічні вимоги.

4. Економічна оцінка:

- Періодично переглядати витрати на паливо, обслуговування та прогнозовані економічні вигоди від уникнення простоїв;
- Використовувати чутливий аналіз для оцінки впливу змін ключових параметрів на окупність.

Впровадження ДЕС є технічно обґрунтованим, експлуатаційно доцільним і економічно вигідним заходом, що забезпечує стабільну роботу критичної інфраструктури, підвищує надійність і безпеку енергопостачання та мінімізує ризики фінансових втрат від аварійних простоїв. Виконання наведених рекомендацій дозволяє максимально ефективно використовувати встановлене обладнання протягом усього терміну служби.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення»
<https://e-construction.gov.ua/files-token/688b24febce14d20b656652d97b6b2b8>
2. ДБН В.2.5-38:2008 «Електроустановки будівель. Основні положення проектування»
<https://dnaop.com/html/44016>
3. ДСТУ EN 62305-1:2012 «Захист від блискавки»
<https://fs-lps.com/wp-content/uploads/2022/05/DSTU-EN-62305-1-2012.pdf>
4. EN 60204-1 – Безпека машин і електрообладнання
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91653
5. Правила улаштування електроустановок
<https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf>
6. ІЕС 60364 – Низьковольтні електроустановки
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104723
7. Соколовський , О. and Качан , Д. 2024. ЗАСТОСУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ. Grail of Science. 37 (Mar. 2024), 188–194.
8. Бурячок В. Л. Технології забезпечення безпеки мережевої інфраструктури. [Підручник] / В. Л. Бурячок, А. О. Аносов, В. В. Семко, В. Ю. Соколов, П. М. Складаний. – К.: КУБГ, 2019. – 218 с.
9. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT) Системи енергетичного менеджменту
https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_50001_2020.pdf
10. Правила охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2127-13#n15>

- 11.НПАОП 40.1-1.02-01. Правила безпечної експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій і теплових мереж 1. галузь застосування (32413)
https://dnaop.com/html/32413_4.html
- 12.Дешко В.І., Білоус І.Ю., Наумчук О.С. Системи виробництва та розподілу енергії. Виробництво, розподіл та споживання теплової енергії – 2: Розрахункова робота: навч. посіб./ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.
- 13.ДСТУ Б В.1.2-16:2013 «Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва»
<https://ukrstone.org/files/DSTU/B.1.2-16-2013.pdf>
- 14.ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві»
<https://e-construction.gov.ua/files-token/0342497039a469150e260c7e971f1b62>

ДОДАТКИ

Додаток А

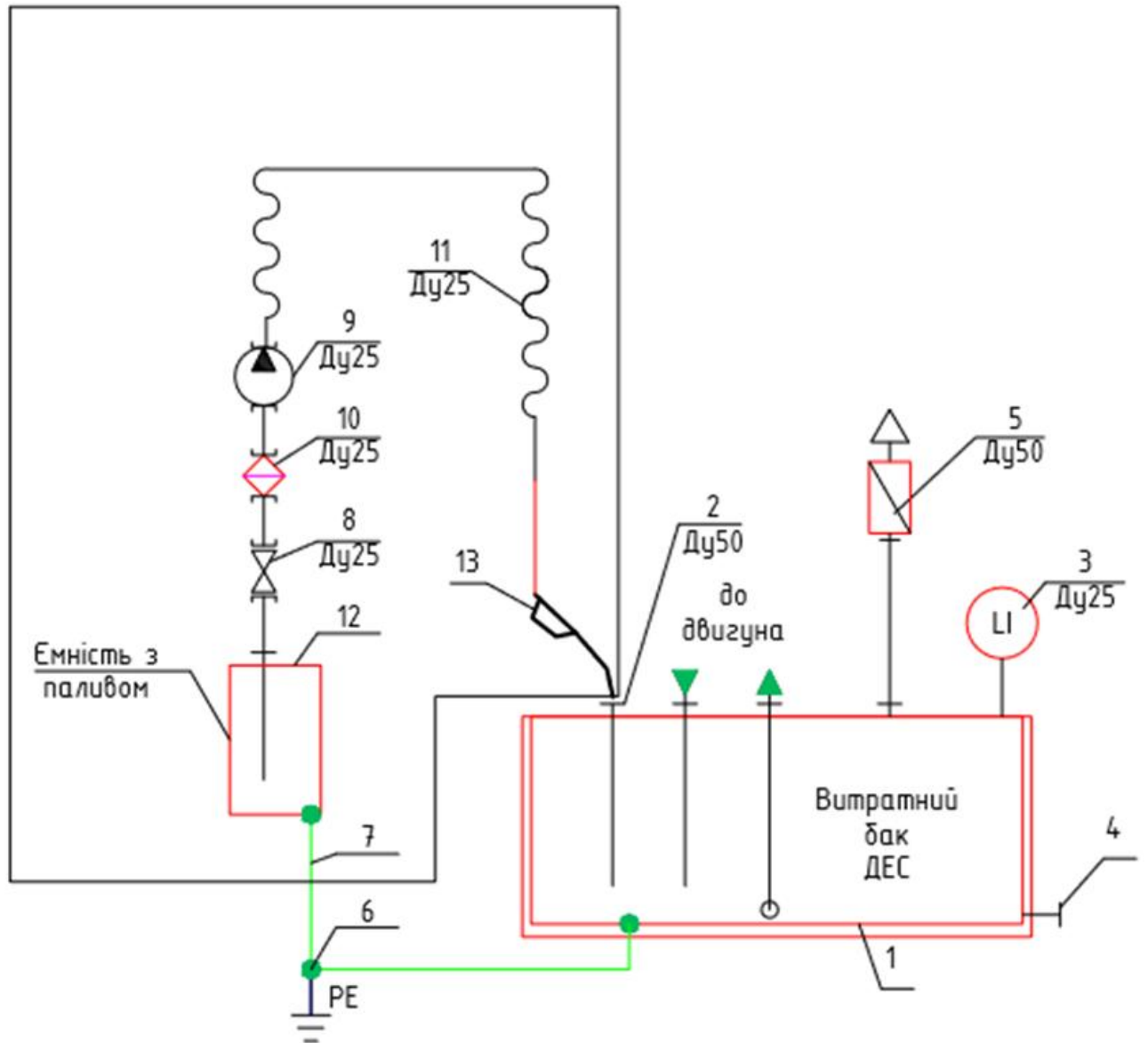
Таблиця А.1. Порівняльна таблиця генераторів для офісних приміщень

Газовий	Інверторний	Дизельний	Бензиновий	Тип генератора
Середня (5–20 кВт)	Низька–середня (1–7 кВт)	Середня–висока (5–50 кВт)	Середня (2–5 кВт)	Потужність
Тривале (до 24 год)	Короткочасне (до 1–2 год)	Тривале (до 24–48 год)	Короткочасне (до 2–3 год)	Автономність
5–15 с	<1 с	10–30 с	5–10 с	Час запуску
Екологічний, стабільне живлення при підключенні до газової мережі	Чистий струм, підходить для комп'ютерної та офісної техніки, тихий	Надійний, економічний, висока потужність для серверів та освітлення	Мобільний, швидкий запуск, відносно низька ціна	Переваги
Залежність від газу, дорожчий монтаж і обслуговування	Обмежена потужність, дорожчий, потребує догляду за акумуляторами	Важкий, дорожчий, потребує складного обслуговування	Високий рівень шуму, викиди, короткотривала автономність	Недоліки
Середні офіси, автономне резервне живлення	Офісна електроніка, ІТ-обладнання	Середні та великі офіси, серверні кімнати	Маленькі офіси, тимчасові відключення	Оптимальне застосування

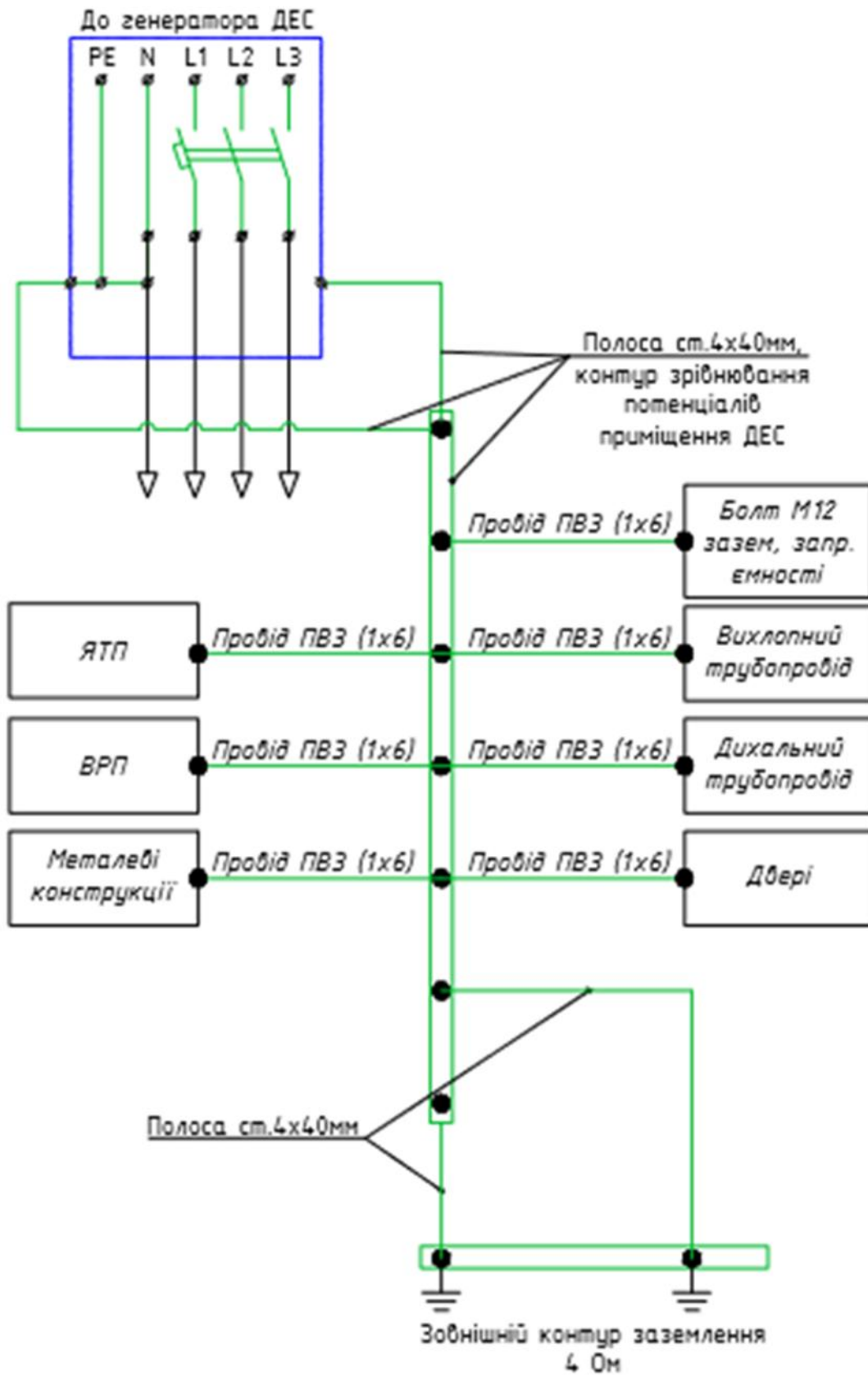
Таблиця Б.1. Порівняльна характеристика типів UPS/ІБП

Характеристика	Офлайн (Standby)	Лінійно-інтерактивний	Онлайн (Double Conversion)
Принцип роботи	Пристрій живиться напругу від мережі; перехід на батарею лише під час повного зникнення напруги	Працює від мережі з використанням AVR для корекції напруги; на батарею переходить при істотних відхиленнях	Постійне подвійне перетворення: AC → DC → AC; ізоляція навантаження від усіх коливань
Захист від коливань напруги	Мінімальний, не компенсує дрібні коливання	Середній: AVR згладжує більшість відхилень без переходу на батарею	Максимальний: повний захист від будь-яких коливань і завад
Час перемикання на батарею	Є затримка (кілька мс)	Дуже короткий, але існує	Нульовий — живлення завжди проходить через інвертор
Стабільність вихідної напруги	Низька	Середня	Висока, майже ідеальна
Ресурс батареї	Використовується рідко, тому зберігається довше	Використовується рідше завдяки AVR, ресурс збільшений	Використовується завжди (часткові цикли), ресурс знижується швидше
Рівень шуму	Мінімальний	Невеликий	Вищий через постійну роботу інвертора
Вартість	Найнижча	Середня	Найвища
Типові сфери застосування	Домашні ПК, офісна техніка з невисокими вимогами	Домашні й офісні системи, невеликі сервери, робочі станції	Серверні, дата-центри, медичне обладнання, критичні ІТ-системи
Основні переваги	Дешеві, прості	Добре співвідношення ціна/функціональність; AVR	Максимальний захист, нульовий час перемикання
Основні недоліки	Слабкий захист, чутливість до коливань	Не повністю ізолює від завад	Висока ціна, більша енергозатратність

Система паливного живлення



Система заземлення та зрівнювання потенціалів



Система блискавковідводу

