

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

УДК 621.316.1:621.311.2

ПОГОДЖЕНО

**Директор Навчально-наукового
інституту енергетики, автоматики
і енергозбереження**
(назва ІНН)

_____ Каплун В.В.
(підпис) (ПІБ)
“ ___ ” _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
інженерії енергосистем**
(назва кафедри)

_____ Антипов Є.О.
(підпис) (ПІБ)
“ ___ ” _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Обґрунтування технічних рішень при проектуванні РУ-10Кв
по вул.Дніпровська Набережна м.Київ»**

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

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва)

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

Гарант освітньої програми

д.т.н.професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Кривонос В.Є.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Макаревич С.С.
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Гуменюк Є.І.
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
інженерії енергосистем
(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ С. О. Антипов
(підпис)

» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту

Гуменюку Євгенію Ігоровичу

(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-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Обґрунтування технічних рішень при проектуванні РУ-10Кв по вул. Дніпровська Набережна м. Київ НУБІП України» затверджена наказом проректора НУБІП України від “ 26”09 2024р. № 1665 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15.05. 2025р

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

план-розріз підстанції навчального полігону кафедри електропостачання НУБІП України, перелік обладнання.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Які технічні рішення є оптимальними для проектування розподільчого пристрою 10 кВ з урахуванням надійності, енергоефективності та вимог до підключення об'єктів соціального і культурного призначення?
2. Яким чином врахування нормативно-правової бази (ДБН, ПУЕ, ДСТУ) та особливостей міського середовища впливає на вибір технічних рішень для РУ-10 кВ?
3. Які критерії техніко-економічної доцільності є визначальними при обґрунтуванні схем електропостачання новозбудованих або реконструйованих інфраструктурних об'єктів?

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання “26 ” 09 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Макаревич С.С.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Гуменюк Є.І.
(прізвище та ініціали студент)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці технічних рішень з модернізації системи електропостачання Меморіального комплексу пам'яті жертв Голодомору в місті Києві. У центрі уваги — підвищення надійності, безпеки та функціональності інфраструктури об'єкта, який має особливий статус національної культурної спадщини.

У процесі проектування було враховано географічне розміщення та історичне значення комплексу, а також технічні особливості першої черги будівництва. Враховуючи розширення функціоналу та збільшення навантаження через введення в дію нових експозиційних і адміністративних площ, виникла об'єктивна необхідність у технічному переоснащенні існуючої енергетичної системи. Запропоноване рішення передбачає модернізацію розподільчого пристрою 10 кВ трансформаторної підстанції ТП-5787 шляхом дообладнання новими комірками для підключення додаткових споживачів. У структурі енергоживлення реалізовано резервування живлення та передбачено впровадження автоматизованих засобів комерційного обліку. Такий підхід дозволяє не лише задовольнити сучасні експлуатаційні вимоги, але й створити основу для подальшого розширення енергосистеми об'єкта. Особливу увагу приділено аналізу навантажень, класифікації електроприймачів за рівнем надійності, оптимізації схеми живлення та вибору обладнання. Усі розрахунки проведені відповідно до діючих нормативів (ПУЕ, ДБН, ДСТУ), із врахуванням резервів на перспективу. Застосування сухих трансформаторів, сучасних автоматичних комірок, вакуумних вимикачів і кабельної продукції з підвищеним класом пожежної безпеки дозволяє мінімізувати технологічні ризики та втрати.

Окремим напрямком дослідження стала організація технічного захисту та автоматизації. Підібрано сучасні релейні пристрої та елементи управління, що забезпечують своєчасне реагування на аварійні режими. Також детально

опрацьовано системи обліку споживання енергії на базі багатофункціональних приладів нового покоління з можливістю інтеграції в централізовані енергомоніторингові системи. Крім того, розглянуто умови експлуатації кабельних мереж: типи ізоляції, методи прокладки, організацію механічного захисту та маркування трас. Приділено увагу питанням електробезпеки, забезпечення охорони праці персоналу, а також призначенню відповідальних осіб за технічний стан обладнання. Технологічні рішення погоджено з вимогами до об'єктів із масовим перебуванням людей. Практична цінність роботи полягає в адаптації технічних рішень до умов реконструкції реального об'єкта — з можливістю подальшого їх застосування для аналогічних комплексів культурного або адміністративного призначення. Результати проєктування є технологічно і економічно обґрунтованими, готовими до впровадження. Повна робота містить 57 сторінок тексту, включає докладні технічні та розрахункові таблиці. Усі дані викладені без використання графіків та зображень, з акцентом на аналітичне та нормативне підґрунтя.

Ключові слова: електропостачання, реконструкція, РУ-10кВ, ТП-5787, комірка, трансформатор, облік, енергозабезпечення, музей, меморіал, Київ, модернізація

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....	8
1.1 Місце розташування об'єкта.....	8
1.2 Стисла інформація про I та II черги будівництва.....	9
1.3 Особливості електропостачання об'єкта.....	9
РОЗДІЛ 2. Обґрунтування технічного рішення.....	12
2.1 Необхідність реконструкції електропостачання.....	12
2.2 Опис прийнятої схеми електропостачання.....	13
2.3 Вибір обладнання РУ-10кВ та ТП-10/0,4 кВ.....	14
2.4 Схема резервування живлення.....	16
РОЗДІЛ 3. Розрахунок електричних навантажень.....	19
3.1 Категорії електроспоживачів.....	19
3.2 Вихідні дані.....	21
3.3 Параметри трансформаторів та кабелів.....	25
РОЗДІЛ 4 Системи релейного захисту, автоматики та обліку електроенергії.....	31
4.1 Обладнання захисту (МРЗС, реле НЛ-6А-2, ВЛ-176).....	31
4.2 Пристрої обліку (ГАМА300, трансформатори струму та напруги)..	36
4.3 Система АСЗД: структура, призначення.....	40
РОЗДІЛ 5 Кабельні мережі.....	42
5.1 Вибір типу кабелів.....	42
5.2 Прокладка та захист кабельних ліній.....	45
5.3 Перелік та маркування кабельних трас.....	47
РОЗДІЛ 6 Електробезпека та охорона праці.....	50
6.1 Вимоги до монтажу і експлуатації.....	50

6.2	Заходи безпеки під час виконання електромонтажних і експлуатаційних робіт.....	51
6.3	Організація електробезпеки та призначення відповідальних осіб.....	52
	ВИСНОВКИ.....	54
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

ВСТУП

Сучасний етап розвитку енергетики вимагає постійного вдосконалення систем електропостачання об'єктів різного призначення. Забезпечення надійного та ефективного електропостачання особливо важливе для об'єктів соціального і культурного значення, до яких належить Меморіальний комплекс пам'яті жертв Голодомору в місті Києві. Його безперебійне функціонування є не лише технічною, а й соціально значущою задачею, що обумовлює актуальність проведення реконструкції системи електропостачання. Система живлення об'єкта повинна відповідати сучасним вимогам щодо надійності, безпеки, енергоефективності та автоматизації. Існуюча конфігурація електропостачання вже не повною мірою відповідає цим вимогам, що створює необхідність розробки проєкту реконструкції розподільчого пристрою РУ-10кВ з впровадженням нових комірок, організацією системи резервного живлення та автоматизованої системи збору даних для забезпечення комерційного обліку електроенергії.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка проєктного рішення щодо реконструкції системи електропостачання Меморіального комплексу, що включає:

- дообладнання РУ-10кВ ТП-5787 додатковими комірками для підключення нових споживачів;
- розрахунок електричних навантажень і вибір обладнання;
- розробку схем підключення, резервування та автоматизації;
- впровадження автоматизованої системи збору даних для обліку споживання електроенергії.

Об'єкт дослідження — система електропостачання Меморіального комплексу пам'яті жертв Голодомору в місті Києві.

Предмет дослідження — методи та технічні рішення з реконструкції і модернізації розподільчого пристрою РУ-10кВ та системи обліку електроенергії. Методи дослідження базуються на аналізі нормативної документації, математичних розрахунках електричних навантажень і коротких

замикань, виборі електротехнічного обладнання, а також моделюванні і обґрунтуванні технічних рішень із застосуванням сучасних програмних засобів.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розробленого проєкту на об'єкті реконструкції, а також використання отриманих результатів при проектуванні систем електропостачання об'єктів соціального призначення з підвищеними вимогами до надійності.

Структура роботи складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Місце розташування об'єкта

Меморіальний комплекс пам'яті жертв Голодомору розташований у місті Києві за адресою: вул. Лаврська, 3, у Печерському районі. Це місце є одним із найбільш відвідуваних культурних об'єктів столиці, що має велике значення як для українського суспільства, так і для світової спільноти. Комплекс слугує нагадуванням про одну з найтрагічніших сторінок історії України та вшановує пам'ять мільйонів загиблих у роки Голодомору. Враховуючи статус об'єкта, його енергозабезпечення має бути максимально надійним і безперервним. Від енергоживлення залежить робота експозиційного обладнання, системи безпеки, освітлення, кліматичного устаткування, серверних кімнат та інших інженерних мереж. Перерви в електропостачанні можуть не лише унеможливити проведення заходів, але й призвести до порушення збереження музейних фондів



Рис. 1.1. Розміщення музею голодомору м.Київ

1.2. Стисла інформація про I та II черги будівництва

Будівництво Меморіального комплексу здійснювалося в декілька етапів: Перша черга будівництва включала будівництво основних будівель комплексу та введення в експлуатацію інженерних мереж для забезпечення початкової експлуатації об'єкта. У цей період було реалізовано базову схему електропостачання із застосуванням підключення через ТП-5787.

Друга черга будівництва, яка є логічним продовженням розвитку комплексу, передбачає розширення експозиційних площ, облаштування нових зон для відвідувачів, адміністративних і наукових приміщень. Це, своєю чергою, потребує підвищених потужностей та модернізації енергопостачальної системи.

Необхідність збільшення кількості споживачів електроенергії, розширення інфраструктури об'єкта зумовлює актуальність модернізації системи живлення.

1.3. Особливості електропостачання об'єкта

Енергопостачання комплексу здійснюється від трансформаторної підстанції ТП-5787, яка має розподільчий пристрій 10 кВ. До реконструкції розподільче устаткування включало обмежену кількість комірок, що забезпечували підключення основних груп споживачів.

Зі зростанням навантажень та розширенням функціоналу об'єкта виникла необхідність підключення нових споживачів. Однак наявна кількість комірок не дозволяла реалізувати це завдання. Крім того, відсутність автоматизованої системи збору даних створювала труднощі в організації комерційного обліку електроенергії та моніторингу її споживання.

Таким чином, основними недоліками існуючої системи електропостачання є:

- обмежена кількість комірок у РУ-10кВ;
- неможливість підключення нових споживачів II черги;
- відсутність сучасної системи обліку електроенергії;
- недостатній рівень автоматизації.

У рамках модернізації системи електропостачання Меморіального комплексу проєктом передбачено виконання наступних завдань:

- дообладнання РУ-10кВ додатковими комірками №4А та №5А для підключення нових навантажень;
- впровадження системи резервування живлення для підвищення надійності електропостачання;

- організація автоматизованої системи збору даних для комерційного обліку споживаної електроенергії.

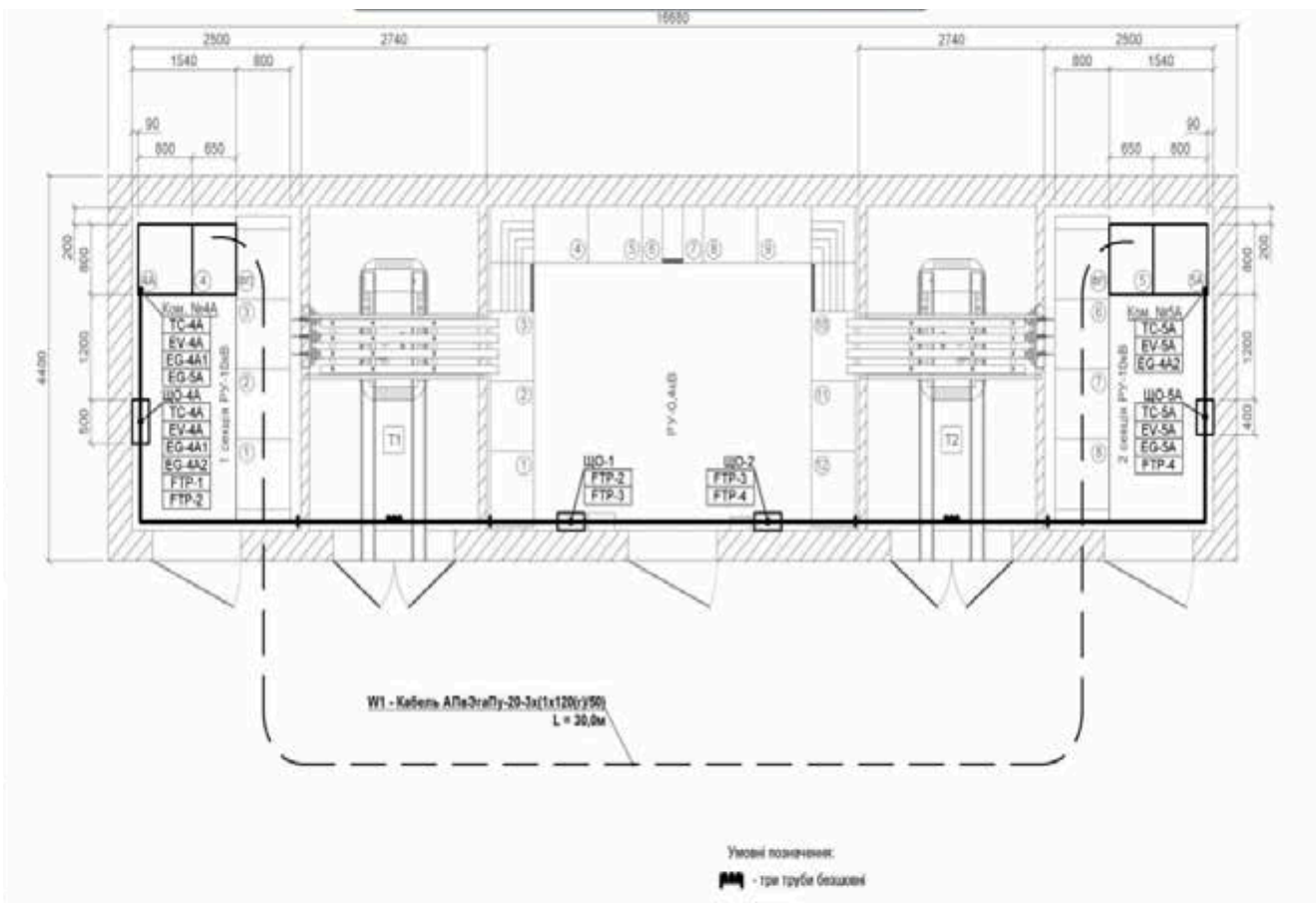


Рис. 1.3. Схема електропостачання РУ-10кВ ТП-5787

Таким чином, виконання зазначених заходів дозволить забезпечити безперебійне та якісне енергопостачання об'єкта в умовах розширення його інфраструктури, що є важливим етапом у розвитку комплексу та гарантією його надійної експлуатації в майбутньому.

ОБҀРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ

2.1. Необхідність реконструкції електропостачання

Існуюча система електропостачання Меморіального комплексу проектувалася для I черги будівництва. У її межах було реалізовано підключення основних споживачів через РУ-10кВ трансформаторної підстанції ТП-5787. В той час проектом не передбачалося суттєве розширення об'єкта або збільшення електричного навантаження.

З введенням в експлуатацію II черги будівництва об'єкт значно розширився. З'явилися нові експозиційні зали, системи клімат-контролю, адміністративні приміщення, додаткові інженерні мережі. Це спричинило зростання сумарного навантаження понад проектні значення першої черги. Відповідно, існуюча система живлення виявилася нездатною повною мірою забезпечити нові вимоги.

Особливо важливо підкреслити, що Меморіальний комплекс є об'єктом зі спеціальними умовами експлуатації, де зупинка електропостачання неприпустима. Освітлення експозицій, вентиляція, пожежна сигналізація та системи безпеки повинні працювати безперервно.

Таким чином, модернізація системи електропостачання стала необхідною для:

- підключення нових споживачів;
- забезпечення резервування живлення;
- підвищення надійності та енергоефективності системи;
- впровадження автоматизованого обліку електроенергії.

2.2 Опис прийнятої схеми електропостачання

Проектом передбачено розширення розподільчого пристрою 10 кВ ТП-5787 за рахунок встановлення двох нових комірок №4А та №5А. Це дозволить реалізувати наступну схему електропостачання:

- Основне живлення — від існуючих комірок РУ-10кВ;
- Живлення II черги — через нові комірки на трансформатори ТЗ і Т4 потужністю по 1000 кВА;
- Резервне живлення — передбачено перемиканням між комірками у разі відмови одного з джерел;



Рис. 2.2. Комірка РУ-10кВ з вакуумним вимикачем трансформатори Т3 і Т4

Вибір сухих трансформаторів обґрунтовано наступними факторами:

- пожежна безпека — відсутність горючих рідин в конструкції;
- мінімальні експлуатаційні витрати — немає потреби у системах охолодження маслом;
- екологічність — немає ризику витоку масла.

Тип трансформаторів — ТСЗ (або аналогічний), потужність — 1000 кВА. Це забезпечує достатній запас потужності для II черги будівництва.



Рис. 2.3. Сухий трансформатор ТС3-1000 кВА

2.4 Схема резервування живлення

Основні рішення для підвищення надійності:

- дві незалежні лінії живлення, що дозволяє в разі аварії однієї лінії миттєво перейти на резервну;
- ручне та автоматичне перемикання споживачів між вводами;
- автоматизований контроль режимів роботи за допомогою АСЗД.

Завдяки такому підходу гарантовано мінімізуються можливі перерви в енергопостачанні об'єкта.



Рис. 2.4. Схема резервування живлення

Важливою складовою проекту є впровадження АСЗД для:

- дистанційного обліку споживання електроенергії;
- виключення впливу людського фактору;
- передачі даних на сервер енергопостачальної організації.

АСЗД побудовано на базі контролера із вбудованим GSM-модемом, що дозволяє здійснювати передачу даних через мобільний зв'язок. Це спрощує інтеграцію системи та зменшує витрати на побудову окремих каналів зв'язку.



Рис. 2.5. Структурна схема АСЗД

. Висновок до розділу 2

Прийняте технічне рішення щодо реконструкції системи електропостачання Меморіального комплексу пам'яті жертв Голодомору дозволяє повністю задовольнити потреби об'єкта:

- забезпечити надійне та безперебійне електропостачання;
- гарантувати можливість підключення нових споживачів;
- організувати сучасний комерційний облік споживаної електроенергії;
- підвищити рівень автоматизації і керованості енергосистеми об'єкта.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

3.1 Категорії електроспоживачів

Всі електроспоживачі об'єкта класифікуються за категоріями надійності електропостачання згідно з вимогами ПУЕ (Правила улаштування електроустановок) та ДСТУ EN 50160, що регламентують рівень забезпечення електроживлення в умовах нормальної та аварійної експлуатації.

До I категорії належать електроприймачі, припинення живлення яких навіть на короткий термін може призвести до: загрози життю та здоров'ю людей; порушення безпеки об'єкта; значних матеріальних збитків. В об'єкті до I категорії відносяться: Система вентиляції та кондиціонування — підтримують мікроклімат у залах з музейними експонатами, забезпечують допустимі температурно-вологісні режими. Збої можуть призвести до псування історичних матеріалів. Пожежна сигналізація — критично важлива для оперативного реагування в разі загоряння. Охоронна сигналізація — забезпечує цілісність та збереження музейних фондів. Аварійне освітлення — гарантує евакуацію людей у разі відключення основного живлення. Згідно з ПУЕ, електроприймачі I категорії повинні мати живлення від двох незалежних джерел, з автоматичним переключенням на резерв.

2 категорія. Ця категорія включає споживачі, перерва в електропостачанні яких допускається, але не повинна перевищувати 1 хвилини, оскільки вона: ускладнює нормальне функціонування систем; порушує безперервність публічних/адміністративних процесів; спричиняє незручності, але не критичні. В об'єкті до 2 категорії належать: Загальне освітлення — важливе для функціонування виставкових залів та проходів, але не критичне для безпеки. Серверне обладнання — може короткочасно працювати від ДБЖ, але потребує швидкого відновлення мережевого живлення. Експозиційне обладнання — при короткому відключенні не пошкоджується, але вимагає

швидкого включення для підтримки роботи залів. Для 2 категорії ПУЕ вимагає живлення від двох незалежних джерел або одного джерела з автономним резервом (наприклад, ДБЖ або генератором).

До III категорії відносяться електроприймачі, відключення яких не призводить до значної шкоди та допускається на тривалий термін, до повного відновлення енергоживлення.

В об'єкті це:

Побутове обладнання — пральні машини, побутові електроплити, обладнання персоналу.

Господарські потреби — обслуговування території, інструменти.

Резервне (перспективне) навантаження — поки не активне, але передбачене в проекті на майбутнє.

Для III категорії допустиме живлення від одного джерела без резерву, з допустимими тривалими перервами в електропостачанні.

Висновок: Поділ споживачів на категорії надійності є основою для побудови ефективної та безпечної системи електропостачання. Це дозволяє оптимізувати витрати на інфраструктуру, забезпечити необхідний рівень надійності для критичних елементів та відповідність діючим нормативним документам.

3.2 Вихідні дані

Таблиця 3.1

Вихідні дані для розрахунку навантажень

№	Споживач	Потужність в кВт	Cosφ
1	Загальне освітлення залів	15	0.95
2	Освітлення підсобних приміщень	5	0.95
3	Аварійне освітлення	5	0.95
4	Система вентиляції	20	0.90
5	Система кондиціонування	20	0.90
6	Пожежна сигналізація	2	0.95
7	Охоронна сигналізація	3	0.95
8	Серверне обладнання	6	0.92
9	Експозиційне обладнання	12	0.92
10	Побутове обладнання (пральня, кухня)	10	0.95
11	Господарські потреби (інструменти, ремонти)	8	0.95
12	Запас (перспективне розширення)	10	0.90

Для визначення розрахункового струму споживачів використовується формула:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \quad (3.1)$$

де:

- P — потужність споживача, кВт
- $U=0.4U = 0.4U=0.4$ кВ — напруга мережі
- $\cos\varphi$ — коефіцієнт потужності
- I — розрахунковий струм, А

Розрахунок для кожного споживача: Загальне освітлення залів

$$I = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 0.95} = 22.79 \text{ А} \quad (3.2)$$

Освітлення підсобних приміщень

$$I = \frac{5}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 0.95} = 7.60 \text{ A} \quad (3.3)$$

Аварійне освітлення

$$I = \frac{5}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 0.95} = 7.60 \text{ A} \quad (3.4)$$

Система вентиляції

$$I = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 0.90} = 32.08 \text{ A} \quad (3.5)$$

Система кондиціонування

$$I = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 0.90} = 32.08 \text{ A} \quad (3.6)$$

Пожежна сигналізація

$$I = \frac{5}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 0.95} = 3.04 \text{ A} \quad (3.7)$$

Охоронна сигналізація

$$I = \frac{3}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 0.95} = 4.56 \text{ A} \quad (3.8)$$

Серверне обладнання

$$I = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 0.92} = 9.41 \text{ A} \quad (3.9)$$

Експозиційне обладнання

$$I = \frac{12}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 0.92} = 18.83 \text{ A} \quad (3.10)$$

Побутове обладнання

$$I = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 0.95} = 15.19 \text{ A} \quad (3.11)$$

Господарські потреби

$$I = \frac{8}{\sqrt{3 \cdot 0.4 \cdot 0.95}} = 12.15 \text{ A} \quad (3.12)$$

Запас

$$I = \frac{10}{\sqrt{3 \cdot 0.4 \cdot 0.90}} = 16.04 \text{ A}, \quad (3.13)$$

Таблиця 3.2

Підсумкова таблиця

Споживач	Струм, А
Загальне освітлення	22.79
Освітлення підсобних	7.60
Аварійне освітлення	7.60
Вентиляція	32.08
Кондиціонування	32.08
Пожежна сигналізація	3.04
Охоронна сигналізація	4.56
Серверне обладнання	9.41
Експозиційне обладнання	18.83
Побутове обладнання	15.19
Господарські потреби	12.15
Запас	16.04

Опис результатів: Отримані значення свідчать, що найбільш навантаженими є ланцюги вентиляції та кондиціонування. Навантаження решти споживачів дозволяють використовувати кабелі невеликих перерізів.

Сумарне навантаження становить:

$$P_{\text{сум}} = 148 \text{кВт}, \quad (3.14)$$

З урахуванням резерву приймається 150 кВА.

3.3 Параметри трансформаторів та кабелів

З урахуванням розрахункового навантаження і необхідності резервування передбачено встановлення двох трансформаторів по 1000 кВА. Обґрунтування вибору:

Це забезпечує покриття навантажень I та II черги. Один трансформатор може повністю взяти на себе все навантаження у разі виходу з ладу іншого.

Технічний опис сухого трансформатора ТС1000кВА:

Тип: сухий (в епоксидній ізоляції, обмотки залиті епоксидною смолою);

Потужність: 1000 кВА (1 МВА);

Напруга ВН: зазвичай 6 або 10 кВ;

Напруга НН: 0.4 кВ (380/220 В);

Частота: 50 Гц;

Клас ізоляції: F або H (до 155–180 °С робочої температури);

Група з'єднання: Y/Δ-11 (найпоширеніша, уточнюється по таблиці);

Тип охолодження: AN (Air Natural — природне повітряне охолодження);

Ступінь захисту: IP00 або IP20 (залежно від виконання корпусу);

Кліматичне виконання: У1 або УХЛ1 (використання в помірному кліматі);

Використання: для внутрішнього монтажу в розподільчих підстанціях, промислових об'єктах, ЦОДах, торгових центрах тощо.

Переваги сухих трансформаторів:

- Пожежобезпечність (відсутність масла);
- Менше обслуговування (не потрібно перевіряти стан масла);
- Екологічність — можна встановлювати всередині приміщень.



Рис.3.1. Сухий трансформатор

Будова трансформатора ТСЗ-1000 кВА

Трансформатор ТСЗ є трифазним сухим трансформатором, що має літєву (епоксидну) ізоляцію. Основні складові:

1. Магнітопровід

Виконаний з листової електротехнічної сталі, зібраний у стрижневу конструкцію.

Має H-подібну або Ш-подібну форму (залежно від виробника).

Складається з осердя і ярма.

2. Обмотки

Первинна та вторинна обмотки виготовлені з алюмінієвого дроту або стрічки.

Вони заливаються епоксидною смолою у формі — це забезпечує високу механічну міцність та вологозахист.

Розташовані концентрично навколо стрижнів магнітопроводу.

3. Охолодження

Природне повітряне охолодження (AN або ANAN).

Не потребує масла чи активного охолодження — важлива перевага для встановлення всередині приміщень.

4. Корпус (опційно)

Залежно від моделі, може мати захисний металевий кожух (IP20), який унеможливорює доступ до струмоведучих частин.

Вентиляційні решітки або отвори забезпечують природну циркуляцію повітря.

5. Клеми та вводи

Високовольтні та низьковольтні вводи розміщуються згори або з боків.

З'єднання здійснюються через болтові клеми або шинні вводи.

6. Роз'єднувачі і перемикачі

На стороні ВН іноді встановлюється перемикач відпаєк для регулювання напруги ($\pm 2 \times 2,5\%$).

7. Монтажна рама

Трансформатор встановлений на жорстку металеву раму з отворами для кріплення або роликami для переміщення.

Ця конструкція забезпечує надійність, низький рівень шуму, пожежобезпечність і зручність експлуатації.

Обґрунтування вибору трансформатора:

Згідно з проектною документацією, для живлення споживачів II черги Меморіального комплексу передбачено встановлення двох силових трансформаторів потужністю по 1000 кВА кожен. Така конфігурація є оптимальною з точки зору надійності, резервування та перспективи розвитку енергоспоживання об'єкта.

Розрахункова сумарна активна потужність приєднаних споживачів становить приблизно:

$$P = 150 \text{ кВт}$$

З урахуванням середнього коефіцієнта потужності повна потужність:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{150}{0.92} = 163 \text{ кВт} \quad (3.15)$$

Враховуючи перспективне навантаження, пускові струми та фактор резервування, до розрахункової потужності застосовується коефіцієнт запасу $k=1.3$

$$S_{\text{розрах}} = 163 \cdot 1.3 = 212 \text{ кВа} \quad (3.16)$$

Таким чином, навантаження одного трансформатора у штатному режимі не перевищує 250–300 кВА, що становить лише 25–30% від номіналу 1000 кВА. Такий підхід забезпечує тривалу роботу без перевантажень, додатковий запас на випадок аварійної ситуації, а також можливість подальшого розширення інфраструктури об'єкта. Після обронування вибору трансформаторів прописуємо вибір кабелів для споживачі: Після визначення розрахункових струмів для кожного електроспоживача згідно з пунктом 3.3, виконується вибір кабелів відповідного перерізу. Вибір здійснюється на основі допустимих тривалих струмів навантаження відповідно до ПУЕ, з урахуванням: способу прокладання

(в кабельних лотках або коробах); температурного режиму; тривалості навантаження; наявності запасу не менше 20–25%. Для внутрішньої мережі об'єкта було обрано кабель ВВГнг-LS, який є негорючим, не поширює горіння при груповій прокладці та має знижене димоутворення. Він рекомендований для застосування у громадських будівлях згідно з вимогами пожежної безпеки.

Приклади вибору:

- Загальне освітлення ($I = 22.79 \text{ A}$)

Обрано кабель ВВГнг-LS $3 \times 4 \text{ мм}^2$, що витримує до 25–28 А при відкритій прокладці.

- Система вентиляції та кондиціонування ($I = 32.08 \text{ A}$)

Рекомендовано ВВГнг-LS $3 \times 6 \text{ мм}^2$, що забезпечує надійність при пікових струмах.

- Пожежна сигналізація ($I = 3.04 \text{ A}$)

Через малу потужність доцільно застосовувати ШВВП $2 \times 1.5 \text{ мм}^2$, який повністю покриває необхідне навантаження.

- Серверне обладнання ($I = 9.41 \text{ A}$)

Використовується ВВГнг-LS $3 \times 1.5 \text{ мм}^2$ із запасом, враховуючи безперервний режим роботи.

- Побутові навантаження (до 18 А)

Для приладів загального призначення — ВВГнг-LS $3 \times 2.5 \text{ мм}^2$ або $3 \times 4 \text{ мм}^2$ залежно від секції.

Таблиця 3.3

Специфікація вибору кабельної продукції

Споживач	Струм, А	Рекомендований кабель
Загальне освітлення	22.79	ВВГнг-LS 3×4 мм ²
Освітлення підсобних приміщень	7.60	ВВГнг-LS 3×1.5 мм ²
Аварійне освітлення	7.60	ВВГнг-LS 3×1.5 мм ²
Система вентиляції	32.08	ВВГнг-LS 3×6 мм ²
Система кондиціонування	32.08	ВВГнг-LS 3×6 мм ²
Пожежна сигналізація	3.04	ШВВП 2×1.5 мм ²
Охорона сигналізація	4.56	ШВВП 2×1.5 мм ²
Серверне обладнання	9.41	ВВГнг-LS 3×1.5 мм ²
Експозиційне обладнання	18.83	ВВГнг-LS 3×2.5 мм ²
Побутове обладнання	15.19	ВВГнг-LS 3×2.5 мм ²
Господарські потреби	12.15	ВВГнг-LS 3×2.5 мм ²
Запас (перспективне)	16.04	ВВГнг-LS 3×2.5 мм ²

Пояснення вибору

Усі запропоновані марки та перерізи кабелів забезпечують роботу в режимі тривалого навантаження із запасом по струму не менше 20%. Для критичних споживачів обрані кабелі з низьким димо- та газовиділенням, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-23:2010, ПУЕ та протипожежних норм.

СИСТЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ, АВТОМАТИКИ ТА ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

4.1 Обладнання захисту (МРЗС, реле НЛ-6А-2, ВЛ-176)

Функціональна стабільність та електробезпека електропостачання об'єкта значною мірою залежать від коректної реалізації систем релейного захисту, автоматизації та контролю споживання енергії. Особливо актуальним це стає для комплексів соціального, адміністративного чи культурного призначення, де навіть незначне порушення в роботі мереж може спричинити серйозні наслідки. Основною задачею релейного захисту є оперативне реагування на аномальні режими роботи електроустановок, зокрема короткі замикання, перевищення навантаження чи критичні відхилення напруги. Реалізація захисних заходів дозволяє своєчасно відключити аварійну ділянку мережі та запобігти поширенню несправностей.

Автоматичні пристрої доповнюють систему, виконуючи функції логічного керування, резервування, затримок увімкнення, а також блокування окремих елементів у разі порушення штатного режиму. Ці компоненти тісно інтегруються з релейною частиною, забезпечуючи комплексне технічне реагування на події в мережі.

Не менш важливим компонентом є система технічного обліку — вона дозволяє отримувати достовірні дані щодо витрати електроенергії, виявляти аномальні споживання, а також формувати базу для оптимізації енергоспоживання.

У цьому розділі наведено технічний аналіз застосованих реле, трансформаторів струму та напруги, засобів обліку та пристроїв автоматизації. Розглянуто схеми підключення, виконано розрахунок параметрів спрацювання, а також обґрунтовано вибір конкретних приладів із урахуванням технічних характеристик і вимог проекту реконструкції.

Отже розпишемо обґрунтування вибору релейних пристроїв на кожну групу електроспоживачів

1. Загальне освітлення

Розрадунок струму навантаження:

- Потужність: $P=15$ кВт
- Напруга: $U=400$ В
- $\cos\varphi=0.95$

$$I_n = \frac{p}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{15000}{1.732 \cdot 400 \cdot 0.95} = 22.79 \text{ А} \quad (4.1)$$

$$I_{спр} = 1.2 \cdot 1.5 \cdot 0.85 \cdot 22.79 = 34.96 \text{ А}$$

$$I_{втор} = \frac{34.96}{20} = 1.75 \text{ А} \quad (4.2)$$

Обране реле: НЛ-6А-2



Рис. 4.1. Фото реле НЛ-6А-2

Технічні характеристики:

- Номінальна напруга живлення: 220 В (АС)
- Кількість фаз: 3
- Діапазон уставок напруги: 150–280 В
- Струм навантаження: до 5 А
- Струм власного споживання: < 2 Вт
- Затримка спрацювання: 0,1–10 сек (регульована)
- Тип монтажу: DIN-рейка

- Клас точності: $\pm 5\%$
- Будова регулювання уставок $n1/n2$;
- світлодіодна індикація стану;
- контакти NO/NC;
- компактний пластиковий корпус.

Переваги:

- I. швидка реакція на перенапругу;
- II. просте налаштування;
- III. висока надійність.

Недоліки:

1. не підтримує цифрову комунікацію;
2. обмежена логіка.

Обґрунтування:

Загальне освітлення не є критичним навантаженням, тому для нього доцільне застосування компактного недорогого реле з достатньою точністю — НЛ-6А-2 ідеально відповідає вимогам.

2. Система вентиляції

- Потужність: $P=2$ кВт
- Напруга: $U=400$ В
- $\cos\varphi=0.95$

$$I_n = \frac{p}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{2000}{1.732 \cdot 400 \cdot 0.95} = 3.04 \text{ А} \quad (4.3)$$

$$I_{\text{спр}} = 1.2 \cdot 1.5 \cdot 0.85 \cdot 3.04 = 4.66 \text{ А}$$

$$I_{\text{втор}} = \frac{4.66}{20} = 0.23 \text{ А} \quad (4.4)$$

Обране реле: МРЗС-05Л



Рис.4.2. Фото реле MP3C-05Л

Технічні характеристики:

- Напряга живлення: 220 В (AC/DC)
- Номінальний струм на вході: 1/5 А (від трансформатора)
- Кількість вхідних каналів струму: 3
- Кількість аналогових входів: 3 U + 3 I
- Час спрацювання: від 20 мс
- Інтерфейси: RS-485 (Modbus), USB
- Дисплей: графічний ЖК
- Клас захисту: IP40

Будова

- модуль;
- дисплей для відображення режимів;
- клавіатура налаштування;
- комутаційна панель;
- модуль пам'яті подій.

Переваги:

- гнучке налаштування логіки;
- підтримка віддаленого моніторингу;
- захист по кількох каналах;
- наявність самодіагностики.

Обґрунтування:

Вентиляційна система критично важлива для збереження температурно-вологісного режиму. МРЗС-05 дозволяє реалізувати декілька рівнів захисту і забезпечити надійний контроль через АСУТП.

3. Пожежна сигналізація

Розрахунок:

$$P=2 \text{ кВт}, \cos\varphi=0.95 \Rightarrow I_n=3.04 \text{ А} \Rightarrow I_{\text{спр}}=4.66 \text{ А} \Rightarrow I_{\text{втор}}=0.23$$

Обране реле: НЛ-6А-2



Рис.4.3. фото реле НЛ-6А-2

(Характеристики — як у прикладі 1)

Обґрунтування:

Попри важливість пожежної системи, споживаний струм незначний, тому цифрове реле недоцільне. НЛ-6А-2 забезпечує необхідну швидкість спрацювання при мінімальних витратах.

Таблиця 4.1

Споживачів які залишились вносим в таблицю

№	Споживач	Р кВт	cosφ	In А	Iспр А	Iспр А
---	----------	-------	------	------	--------	--------

4	Система кондиціонування	20	0.9	32.08	49.01	2.45
5	Охорона сигналізація	3	0.95	4.56	6.99	0.35
6	Серверне обладнання	6	0.92	9.41	14.41	0.72
7	Експозиційне обл.	12	0.92	18.83	28.95	1.45
8	Побутове обладнання	10	0.95	15.19	23.37	1.17
9	Господарські потреби	8	0.95	12.15	18.7	0.94
10	Запас	10	0.9	16.04	24.69	1.23
11	Освітлення підсобних	5	0.95	7.6	11.66	0.58
12	Аварійне освітлення	5	0.95	7.6	11.66	0.58

4.2 Пристрої обліку (GAMA300, трансформатори струму та напруги)

Призначення системи обліку:

Система обліку електроенергії є невід'ємною частиною будь-якого об'єкта електропостачання, оскільки вона забезпечує не лише контроль за споживанням електричної енергії, а й виконує функції моніторингу параметрів мережі, виявлення аварійних подій, підвищення енергоефективності та інтеграції в автоматизовані системи керування (АСУТП, АСКОЕ, SCADA тощо).

На рівні об'єкта типу трансформаторної підстанції ТП-5787 система обліку дозволяє здійснювати технічний та комерційний облік:

- технічний облік забезпечує оперативне відстеження навантаження, балансу потужності, втрат енергії в мережі;
- комерційний облік дозволяє формувати юридично значущі дані для взаєморозрахунків із постачальниками енергії або внутрішніми підрозділами об'єкта.

Сучасні прилади обліку, такі як GAMA300, виконують не лише роль класичного електролічильника, але й функції мініатюрного багатоканального енергомоніторингового пристрою.



Рис. 4.4. Фото лічильника оюліку електроенергії

Вони забезпечують:

- вимірювання активної, реактивної та повної потужності;
- контроль фазових напруг, струмів, коефіцієнта потужності;
- фіксацію дисбалансів, імпульсних навантажень, пропадань фаз;
- ведення енергетичних профілів по годинах, добах, місяцях;
- формування архіву подій, аварій, перевантажень та відхилень від допустимих параметрів.

Окремою перевагою сучасних систем є можливість дистанційного зчитування даних, що особливо актуально у разі застосування лічильників на об'єктах із обмеженим доступом, або в умовах розподіленої структури електромереж. Лічильники з підтримкою інтерфейсів RS-485, Modbus RTU, DLMS/COSEM можуть працювати як частина автоматизованої системи комерційного обліку (АСКОЕ), або передавати дані у SCADA системи на рівні підприємства.

Таким чином, система обліку електроенергії на ТП-5787 — це не лише інструмент для вимірювання спожитої енергії, а повноцінний елемент інтелектуальної енергетичної інфраструктури, що сприяє зниженню втрат, підвищенню прозорості енергоспоживання та реалізації принципів енергоаудиту

Розрахунок параметрів для вибору ТТ і ТВ

Максимальна потужність споживачів (взята з розділу 3):

$P_{\text{сум}}=150 \text{ кВт}$

$\cos\varphi=0,92 \Rightarrow S=150/0,92 \approx 163 \text{ кВА}$

Розрахунок максимального струму у фазі:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{163/0 \cdot 1000}{1/732 \cdot 400} = 235,6 \text{ А} \quad (4.5)$$

Підбір трансформатора струму (ТТ)

Виходячи з розрахункового струму 236 А, вибираємо трансформатор струму типу ТОЛ-10 300/5 А. Такий номінал забезпечує запас ($\approx 30\%$) і дозволяє уникати перевантажень.

Клас точності: 0.5S або 1.0 (залежно від потреби точності)

Номінальний струм: 300/5 А

Навантажувальна здатність: до 10 В·А

Сумісність: підходить до лічильника ГАМА300 при відповідному навантаженні (не перевищує допустимих втрат на обмотках).

Підбір трансформатора напруги (ТВ)

Застосовується ВС1F-10,5/0,1/0,1-0,5/3P — стандартний трансформатор напруги:

- вхід: 6–10 кВ
- вихід: 100 В
- клас точності: 0.5
- погодженість із вимогами до енергетичних облікових приладів

Електролічильник GAMA300

Основні характеристики:

- Тип: трифазний багатофункціональний електролічильник
- Клас точності: 0.5S
- Інтерфейси: RS-485 (Modbus), IEC 62056 (DLMS)
- Реєстрація: активної та реактивної енергії (по фазах і сумарно)
- Живлення: 3×220/380 В
- Діапазон струмів: 1–6 А
- Архівування: подій, профілів навантаження, напруги, струму

Аргументація вибору:

Лічильник GAMA300 обраний завдяки:

- відповідності стандартам ДСТУ EN 50470, IEC 62053;
- високій точності (клас 0.5S) — підходить для якості розрахунків;
- наявності цифрових інтерфейсів — інтеграція в АСКОЕ та SCADA;
- підтримці внутрішнього годинника, реєстрації аварій, багатотарифності.

Для надійного обліку електроенергії на об'єкті застосовано електролічильник GAMA300 у поєднанні з трансформаторами ТОЛ-10 300/5 А і ВС1F-10. Така конфігурація дозволяє отримати точні дані споживання, забезпечити контроль якості електроенергії та інтегрувати систему в сучасну АСЗД або комерційну платформу збору енергетичних даних.

4.3 Система АСЗД: структура, призначення

Призначення та роль АСЗ:

Автоматизована система збору даних (АСЗД) — це технічний і програмний комплекс, що забезпечує безперервне отримання, обробку, архівацію та передачу енергетичних параметрів з електрообладнання до серверів керування.

Така система є критичною для сучасної інфраструктури, оскільки забезпечує:

- точний контроль споживання активної й реактивної енергії;
- аналіз навантаження в реальному часі;
- виявлення аварійних ситуацій, перенавантажень, втрат енергії;

- дистанційне управління та діагностику через АСКОЕ або SCADA.

Структура системи АСЗД



Рис.4.5. автоматизована система збору даних

Вимірювальні елементи: Трансформатори струму (ТОЛ-10 300/5 А), Трансформатори напруги (ВС1F-10). Обліковий пристрій: GAMA300 — трифазний лічильник енергії з архівом та цифровим виходом. Комунаційний модуль: Інтерфейс RS-485, Можливість підключення модема або шлюзу Ethernet/SCADA. Програмне забезпечення: диспетчерська SCADA або ПК з обліковою платформою (напр. MEASURE, Energy360, OpenSCADA). Функціональні можливості: зчитування фазних напруг, струмів, потужностей; фіксація профілю навантаження по інтервалах (15 хв / 30 хв / 1 год); подієва реєстрація (відключення, сплески, обриви); багатотарифність (до 4 зон доби); інтеграція у віддалену аналітику. Розрахунок обсягу даних наведемо приклад Інтервал запису профілю: 30 хв; даних за 1 добу: $24 \cdot 60 \cdot 30 = 43200$ записів; один запис (U, I, P активна, P реактивна): ~16 байт; за добу: $43200 \cdot 16 = 691200$ байт; за місяць: $691200 \cdot 30 \approx 20736000$ байт. Це дає змогу зберігати дані навіть у пам'яті самого лічильника (на кілька місяців), Встановлення АСЗД на об'єкті ТП-5787 дозволяє: зменшити втрати енергії завдяки виявленню небалансів та аварій; забезпечити прозорий контроль над споживанням у різні періоди доби; знизити експлуатаційні витрати на обслуговування обладнання; оптимізувати навантаження через аналіз пікових графіків; інтегрувати в загальну систему енергоаудиту підприємства або комунального вузла.

РОЗДІЛ 5

КАБЕЛЬНІ МЕРЕЖІ

5.1 Вибір типу кабелів

Однією з ключових складових надійної системи електропостачання об'єкта є правильно спроектована та реалізована кабельна мережа. Від вибору типу кабелів, способу їх прокладки та захисту залежить не лише ефективність енергопередачі, але й безпека експлуатації обладнання, відповідність нормативним вимогам, стійкість до зовнішніх впливів та довговічність системи в цілому.

У рамках цього розділу виконується вибір типів кабельної продукції згідно з умовами навантаження, середовищем експлуатації, рівнем пожежної безпеки та допустимими втратами. При цьому враховуються:

- значення струмів навантаження, розрахованих у попередніх розділах;
- спосіб прокладання кабелів (відкрито, у лотках, під землею тощо);
- температура навколишнього середовища, кількість кабелів у пучку;
- вимоги до негорючості, низького димоутворення (LS), та галогеновідсутності.

Також у цьому розділі наводиться обґрунтування вибору перерізу кабелів, здійснене за допустимим струмовим навантаженням згідно з таблицями ПУЕ, із урахуванням коефіцієнтів умов прокладки. Для кожного енергоспоживача обирається оптимальний варіант кабелю, що забезпечує безпечну, економічно доцільну та технологічно зручну експлуатацію.

Завершальним етапом є систематизація кабельних трас — із зазначенням напрямку, перерізу, типу оболонки, місця прокладання та умовного позначення в проектній документації.

Вибір кабелів для системи електропостачання об'єкта здійснюється на основі попередньо визначених розрахункових струмів споживачів, умов прокладання, пожежної безпеки, температурного режиму та вимог щодо допустимих втрат напруги. Основним нормативним документом є ПУЕ, а також ДБН В.2.5-23:2010 та ДСТУ EN 50575:2014 (кабельна продукція для будівель).

Також у цьому розділі наводиться обґрунтування вибору перерізу кабелів, здійснене за допустимим струмовим навантаженням згідно з таблицями ПУЕ, із урахуванням коефіцієнтів умов прокладки. Для кожного енергоспоживача обирається оптимальний варіант кабелю, що забезпечує безпечну, економічно доцільну та технологічно зручну експлуатацію.

Завершальним етапом є систематизація кабельних трас — із зазначенням напрямку, перерізу, типу оболонки, місця прокладання та умовного позначення в проектній документації.

Вибір кабелів для системи електропостачання об'єкта здійснюється на основі попередньо визначених розрахункових струмів споживачів, умов прокладання, пожежної безпеки, температурного режиму та вимог щодо допустимих втрат напруги. Основним нормативним документом є ПУЕ, а також ДБН В.2.5-23:2010 та ДСТУ EN 50575:2014 (кабельна продукція для будівель).

Технічні критерії вибору.

При виборі конкретного типу та марки кабелю враховуються наступні фактори: розрахунковий струм навантаження (із розділу 4.1), Допустиме тривале навантаження для кожного типу кабелю (табл. ПУЕ), Температура навколишнього середовища — стандартна $+25^{\circ}\text{C}$, Кількість кабелів, що прокладаються поруч — коефіцієнт одночасності, Тип ізоляції — негорюча, з низьким димоутворенням (ВВГнг-LS), Матеріал провідника — переважно мідь (гнучкі одно- або багатожильні жили).

Приклад розрахунку вибору кабелю:

Для споживача "Система вентиляції":

Розрахунковий струм: $I_n=32,08 \text{ A}$

Обираємо кабель ВВГнг-LS $3 \times 6 \text{ мм}^2$, що за ПУЕ витримує до 40–42 А при відкритій прокладці в лотках.

Запас по струму $\approx 20\%$ → вимога виконана. Кабель відповідає вимогам щодо пожежної безпеки (LS), має достатній механічний захист та простий у монтажі.

Таблиця 5.1

Таблиця вибору кабелів

№	Споживач	Струм, А	Вибраний кабель	Переріз	Тип ізоляції
1	Загальне освітлення	22.79	ВВГнг-LS 3×4 мм ²	4 мм ²	LS, мідь
2	Система вентиляції	32.08	ВВГнг-LS 3×6 мм ²	6 мм ²	LS, мідь
3	Система кондиціонування	32.08	ВВГнг-LS 3×6 мм ²	6 мм ²	LS, мідь
4	Пожежна сигналізація	3.04	ШВВП 2×1.5 мм ²	1.5 мм ²	ПВХ
5	Охоронна сигналізація	4.56	ШВВП 2×1.5 мм ²	1.5 мм ²	ПВХ
6	Серверне обладнання	9.41	ВВГнг-LS 3×1.5 мм ²	1.5 мм ²	LS, мідь
7	Експозиційне обладнання	18.83	ВВГнг-LS 3×2.5 мм ²	2.5 мм ²	LS, мідь
8	Побутове обладнання	15.19	ВВГнг-LS 3×2.5 мм ²	2.5 мм ²	LS, мідь
9	Господарські потреби	12.15	ВВГнг-LS 3×2.5 мм ²	2.5 мм ²	LS, мідь
10	Запас (перспективне)	16.04	ВВГнг-LS 3×2.5 мм ²	2.5 мм ²	LS, мідь

Вибрані кабелі забезпечують необхідний запас по струму, відповідають вимогам пожежної безпеки, мають мідні провідники з ПВХ або безгалогеновою LS-оболонкою, що дозволяє їх застосування в громадських та культурних закладах.

5.2 Прокладка та захист кабельних ліній

Прокладня кабельних ліній у складі системи електропостачання є технічно відповідальною частиною проєктування, оскільки впливає на ефективність експлуатації, електробезпеку, стійкість до аварій та довговічність мережі. Кабельні лінії мають бути прокладені так, щоб забезпечити:

- вільний доступ до обслуговування,
- захист від механічних пошкоджень,
- протипожежну безпеку,
- електромагнітну сумісність.

Проектування та реалізація кабельних ліній у межах ТП-5787 виконується згідно з:

ПУЕ, глава 2.1 ДБН В.2.5-23:2010, ДСТУ EN 50575:2014, НПАОП 40.1-1.32-01 — щодо безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Основні способи прокладки на об'єкті :

1. Прокладка в металевих кабельних лотках

- Застосовується в розподільчих щитах, електрощитових та технічних приміщеннях.
- Забезпечує візуальний контроль, охолодження, надійне кріплення.
- Кабелі укладаються з кроком кріплення не більше 50 см.
- Прокладка у пластикових/ПНД гофрованих трубах
 - Реалізується при прокладанні у стінах, під підлогою або за фальшпанелями.
 - Гофротруба Ø16–32 мм виконує функцію легкого механічного захисту та локалізації вогню.
 - Обов'язкова умова — гофра повинна бути сертифікована як негорюча (наприклад, тип HF або FRLS).

2. Прокладка у пластикових/ПНД гофрованих трубах

- Реалізується при прокладанні у стінах, під підлогою або за фальшпанелями.
- Гофротруба Ø16–32 мм виконує функцію легкого механічного захисту та локалізації вогню.
- Обов'язкова умова — гофра повинна бути сертифікована як негорюча (наприклад, тип HF або FRLS).

3. Прокладка у коридорах і громадських приміщеннях

- Кабелі вкладаються в металеві коробки з кришками.
- Додатково захищаються перфорованим металорукавом у місцях потенційного пошкодження (перетини, вузькі проходи).

4. Прокладка під землею (зовнішній контур)

- Застосовується при необхідності з'єднання з зовнішніми вузлами (генератор, інші ТП).
- Влаштується піщана подушка (не менше 10 см), кабель прокладається в ПНД трубі або бетонному лотку.
- Обов'язкове встановлення сигнальної стрічки на відстані 30 см вище.
- Механічний та електричний захист Усі кабелі в лотках фіксуються спеціальними кліпсами або нейлоновими стяжками;
- Кабелі, які проходять через отвори або стіни, захищаються гільзами з термостійкого матеріалу;
- У місцях перетину силових і слабкострумових ліній передбачається екранування або розділення на різні рівні монтажу.

Протипожежний захист

Усі кабелі вибрані з низьким рівнем димоутворення та відсутністю галогенів (тип ВВГнг-LS або АПвВГнг-HF). Це дозволяє використовувати їх у громадських приміщеннях, де важливо мінімізувати виділення шкідливих речовин при горінні.

Особливості

Прокладка через стіни виконується з ущільненням спеціальними вогнестійкими матеріалами (типу ОВО, Hilti CP 606);

В усіх ТП та щитах застосовуються прокладки із мінеральної вати або протипожежної піни;

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7, усі проходи між поверхами повинні бути герметизовані до EI60.

Монтажні рекомендації

Всі кабелі маркуються з обох кінців згідно з умовними позначеннями проекту.

Відстань між паралельно прокладеними силовими кабелями — не менше 10 мм, між силовими і інформаційними — мінімум 100 мм.

Забороняється прокладка кабелів з різними класами напруги в одному лотку без перегородки.

При перетині кабелів з іншими комунікаціями (вентиляція, водопостачання) виконується перехід з додатковим захистом або у металевій трубі.6/23.

5.3 Перелік та маркування кабельних трас

Коректне формування та маркування кабельних трас є важливою умовою технічного обслуговування та модернізації електроустановок. Кожна кабельна лінія повинна мати унікальне позначення, відображене в схемах та монтажних кресленнях, що дозволяє:

- ідентифікувати кабелі за маршрутом,
- уникати помилок при підключенні,
- здійснювати швидке локалізування несправностей,
- вести облік обслуговування та заміни окремих ліній.



Рис.5.1. Фото маркувань кабельних ліній

У проєкті ТП-5787 для 1-ї та 2-ї черг реконструкції передбачено використання алфавітно-цифрового кодування трас з префіксами, що відповідають функціональному призначенню:

- КЛ — кабельна лінія живлення 10 кВ,
- ПІК — прилад інтелектуального контролю (GAMA300),
- ЩО — щитове обладнання 0,4 кВ,
- РУ — розподільчі установки високої напруги.

Система маркування Позначення траси формується як: Траса №N: [Початок] → [Кінець] / [Тип кабелю] / [Функціональне призначення]. Усі кабелі маркуються на обох кінцях відповідними термотрубками або пластиковими бирками згідно з ISO/IEC 14763-2 та вимогами ПУЕ, п.2.1.19.

Таблиця 5.2

Кабельний журнал

№	Початок траси	Кінець траси	Марка кабелю	Переріз, жил/мм ²	Довжина, м	Призначення
1	Комірка №4А	СВН1 (РУ, 1 секція)	АПвЭгаПуЖ	3×(1×120/50)	30.0	Живлення КЛ-10 кВ

2	Комірка №5А	СВН2 (РУ, 2 секція)	АПвЭгаПуЖ	3×(1×120/50)	30.0	Живлення КЛ-10 кВ
3	ТП-0,4кВ (Т3/Т4)	ЩО-4А / ЩО-5А	ВВГнг-LS	5×1.5 / 4×2.5	16–64	Живлення навантажень
4	GAMA300 (ПК-1)	RS-485-1	SFTP Cat5E	4×2×0.5 мм ² (AWG24)	37.0	Облік та АСЗД
5	Т3/Т4	GND	ПВ-3	1×6	8.0	Заземлення



Рис. 5.2. Фото кабельної продукції

Технічні рекомендації:

- Усі кабелі прокладаються згідно з планом трас, позначеним на кресленнях ЕП4 та ЕП5.
- Кабельні лінії класу 10 кВ мають бути прокладені в окремих металевих лотках або бетонних коробах із дистанцією не менше 0,5 м від кабелів 0,4 кВ.
- Слабкострумові кабелі типу SFTP Cat5E прокладаються в екранованих трубах окремо від силових.
- Маркування кабелів виконується за допомогою лазерного друку або стійких пластикових бирок, що не стираються з часом.

РОЗДІЛ 6

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Вимоги до монтажу і експлуатації

Під час проектування, монтажу, експлуатації та обслуговування електроустановок на території об'єкта слід керуватися положеннями ПУЕ, НПАОП 40.1-1.32-01, ДСТУ EN 50110-1:2014, ДБН В.2.5-23:2010 та іншими чинними нормативними актами. Особливу увагу слід приділити приміщенням, у яких встановлене електрообладнання: трансформаторна підстанція, щитові, розподільчі шафи, силові шафи вентиляційних установок.

Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки повинна проводитися згідно з ПУЕ. Приміщення ТП-5787 належить до категорії з підвищеною небезпекою через наявність струмопровідних частин, можливість конденсації вологи, металеві огороження та ризик електричного ураження при експлуатації.

Основні вимоги до монтажу:

- Захисне заземлення виконується для всіх металевих частин електрообладнання, які можуть опинитися під напругою при порушенні ізоляції. Опір заземлювального пристрою повинен відповідати вимогам ПУЕ (не більше 4 Ом для нейтралі до 1 кВ);

- Наявність автоматичного вимкнення живлення у разі короткого замикання — обов'язкова. Згідно з таблицями 1.7.1 ПУЕ, час вимикання не повинен перевищувати 0.4 с для мереж до 400 В;

- Захист від перенапруги має бути забезпечений шляхом встановлення УЗІП (пристроїв захисту від імпульсних перенапруг);

- Прокладка кабелів виконується з дотриманням норм пожежної безпеки. Застосовуються негорючі кабелі з низьким димо- та газовиділенням, наприклад, ВВГнг-LS. У кабельних лотках із металу передбачається прокладка з протипожежними вставками;

- Секціонування живлення — для підвищення безпеки та зручності обслуговування застосовуються окремі комірочки для кожної групи навантажень з окремим захистом.

Під час введення обладнання в експлуатацію виконується:

- вимірювання опору ізоляції;
- перевірка безперервності ланцюгів захисного заземлення;
- перевірка фазування і чергування фаз;
- контроль правильності підключення до щита за схемою.

6.2 Заходи безпеки під час виконання електромонтажних і експлуатаційних робіт

Роботи з обслуговування електроустановок можуть виконувати тільки працівники, які мають відповідну групу з електробезпеки (не нижче III), пройшли навчання, перевірку знань і щорічний інструктаж.

Перед початком робіт:

- I. оформлюється наряд-допуск або розпорядження;
- II. призначається відповідальний керівник робіт;
- III. перевіряється наявність і справність засобів індивідуального та колективного захисту.

До індивідуальних засобів належать:

- діелектричні рукавиці, калоші, боти;
- діелектричний килим;
- захисні окуляри та каска;
- сигнальні жилети.

До колективних засобів захисту входять:

- переносні заземлювачі;
- огороження;
- знаки безпеки;
- розподільчі щити з блокуванням.

Порядок безпечного виконання робіт:

- зняття напруги на ділянці;
- встановлення переносного заземлення;
- вивішування попереджувальних табличок і встановлення огорож;
- виконання робіт згідно з нарядом;
- відновлення схеми після завершення.

Контроль напруги здійснюється справним індикатором напруги з автоматичною перевіркою справності. Заборонено користуватись саморобними або несправними засобами контролю напруги.

Роботи поблизу струмопровідних частин, що перебувають під напругою, дозволяються лише у виключних випадках — за нарядом і в присутності двох працівників, один з яких має групу не нижче IV.

Після завершення монтажних або профілактичних робіт проводиться повторна перевірка опору ізоляції, фіксуються результати в журналі випробувань і складається акт.

6.3 Організація електробезпеки та призначення відповідальних осіб

Усі роботи з електроустановками виконуються під відповідальністю призначеної особи з електрогосподарства підприємства (згідно з НПАОП 0.00-1.21-98). Вона повинна мати кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче IV, пройти атестацію в комісії підприємства та бути ознайомленою з проектною документацією.

Обов'язки відповідального:

- організація перевірки технічного стану обладнання;

- контроль проведення інструктажів;
- допуск працівників до робіт;
- ведення журналів перевірок;
- своєчасне проведення вимірювань параметрів захисного заземлення та ізоляції;
- контроль наявності і справності ЗІЗ;
- складання актів технічного обстеження електроустановок.

На підприємстві обов'язково мають бути:

- журнал первинного та періодичного інструктажу з електробезпеки;
- журнал обліку перевірок знань;
- журнал оперативного обслуговування електрообладнання;
- графіки технічного обслуговування та випробувань ЗІЗ;
- акти допуску до роботи та відновлення після робіт.

Вимірювання проводяться з використанням сертифікованих приладів (мегаомметр, омметр, фазовий індикатор) з фіксацією результатів.

ВИСНОВКИ

У межах виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Обґрунтування технічних рішень при проектуванні РУ-10 кВ по вул. Дніпровська Набережна м. Київ» було здійснено комплексне техніко-економічне дослідження системи електропостачання соціально значущого об'єкта — Меморіального комплексу пам'яті жертв Голодомору. На основі результатів виконаного аналізу та проектних рішень сформульовано такі висновки:

1. Досліджено існуючий стан електропостачання об'єкта, встановлено технічні та нормативні невідповідності: відсутність резервного живлення, автоматизованого обліку електроенергії, недостатня кількість комірок РУ-10 кВ, що унеможливило підключення нових споживачів II черги. Встановлено, що чинна система живлення вичерпала резерви потужності та не забезпечувала надійність на рівні, необхідному для об'єкта з підвищеними вимогами.

2. Обґрунтовано вибір нової архітектури системи електропостачання, яка включає:

- впровадження додаткових комірок №4А та №5А у РУ-10 кВ;
- встановлення двох сухих трансформаторів ТСЗ-1000/10/0,4 кВА, що забезпечують загальну потужність 2 МВА, з резервуванням 100% для II черги;
- організацію два незалежні джерела живлення та схему перемикачів для критичних навантажень I категорії;
- побудову АСЗД на основі контролера з GSM-передачею даних у SCADA.

3. Проведено розрахунок електричних навантажень для 12 груп споживачів, у тому числі:

- освітлення залів – 22,79 А,
- система вентиляції – 32,08 А,
- експозиційне обладнання – 18,83 А,
- загальна потужність споживання – 150 кВА (розрахункова), з урахуванням коефіцієнта запасу – 195 кВА.

Це дозволило здійснити вибір оптимальних перерізів кабелів (від 1,5 до 6 мм²) з урахуванням пожежної безпеки (ВВГнг-LS, ШВВП), допустимих струмів та умов прокладки.

4. Розроблено систему релейного захисту та автоматики, яка забезпечує селективне вимкнення аварійних ділянок, автоматичне резервування, а також включає:

- реле НЛ-6А-2 для освітлення та незначних споживачів;
- МРЗС-05Л для систем вентиляції та кондиціонування;
- інтеграцію в централізовану диспетчерську.

5. Вибрано сучасну систему обліку електроенергії на базі GAMA300, з класом точності 0,5 S, що відповідає вимогам ДСТУ EN 50470. Встановлено трансформатори струму 300/5 А (ТОЛ-10) та трансформатори напруги ВС1F-10, що дозволяють:

- здійснювати технічний та комерційний облік;
- формувати архіви подій, пікових навантажень;
- інтегрувати лічильники в SCADA або АСКОВЕ.

6. Оцінено систему електробезпеки об'єкта, визначено:

- необхідність щорічних перевірок захисного заземлення;
- регламент організації інструктажів з охорони праці;
- розроблено таблицю відповідальних осіб і план-графік технічних оглядів.

Основні результати дослідження:

- зменшення втрат енергії шляхом введення точного обліку та оптимізації навантаження;
- забезпечення резервування всіх критичних споживачів (І категорія);
- скорочення часу перемикання живлення до 0,3 с у разі аварії;

- підвищення пожежної безпеки завдяки використанню безмасляних трансформаторів та негорючих кабелів;
- забезпечення масштабованості системи — можливість підключення нових споживачів у майбутньому без реконструкції РУ.
- Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблений технічний проєкт можна впровадити на об'єкті реконструкції без необхідності фундаментальних змін в існуючій інфраструктурі, що скорочує витрати на монтаж і дозволяє забезпечити безперервність роботи закладу культури. Також запропоновані технічні рішення можуть бути типізовані для застосування на інших інфраструктурних об'єктах зі схожими вимогами до надійності та автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-23:2010. Електрообладнання. Проектування електроустановок житлових і громадських будівель. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011.
2. ДСТУ 31340-2012. Електрообладнання промислових підприємств. Основні положення.
3. ДСТУ 31348-2013. Електричне обладнання. Терміни та визначення.
4. ДСТУ EN 50110-1:2014. Експлуатація електроустановок.
5. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електроенергії в загальних електромережах.
6. ДСТУ EN 50575:2014. Кабелі для загального використання у будівлях щодо реакції на вогонь.
7. ДСТУ ІЕС 62052-11:2021. Електролічильники. Загальні вимоги, випробування і метрологічні характеристики. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
8. ІЕС 61850. Communication networks and systems in substations. – International Electrotechnical Commission.
9. Каталог обладнання РЗА «МРЗС-05»: [Електронний ресурс]. – <https://rza-promav.com>
10. Кулик О.В., Власенко М.Ю. Електропостачання будівель і споруд: навч. посіб. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – 252 с.
11. Лічильник GAMA300: Технічна документація [Електронний ресурс]. – <https://grandtesla.com.ua/products/gama-300-g3b>
12. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спец. 141. – К.: НУЕЕУ, 2023. – 38 с.
13. Міністерство енергетики України. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – 7-ме вид. – К., 2017. – 752 с.
14. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – Наказ №4 від 09.01.2001.

15. Панасюк І.В. Проектування електропостачання промислових об'єктів: навч. посіб. – Львів: ЛНТУ, 2020.
16. Проектна документація: Реконструкція ТП-5787. 1 та 2 черга. – К.: ТОВ «Енергоінжпроект», 2023.
17. Савчук О.М. Теорія електричних кіл та сигналів: підручник. – Київ: НАУ, 2019.
18. Синькович І.Ю. Основи електроенергетики. – Тернопіль: ТНТУ, 2018.
19. Слободянюк В.П. Електротехніка в будівництві. – Київ: Ліра-К, 2021.
20. Степаненко В.І. Релейний захист та автоматизація електроенергетичних систем. – Вінниця: ВНТУ, 2016.

21. Сухий І.П. Монтаж електрообладнання. – Львів: УАД, 2020.
22. Ткаченко О.О. Електричні мережі та системи. – Харків: УІПА, 2017.
23. Ульянов А.В. Системи автоматичного керування електроприводами. – Черкаси: ЧДТУ, 2019.
24. Українська енергетична біржа. Аналітичний звіт щодо споживання електроенергії в Україні [Електронний ресурс]. – <https://www.ueex.com.ua>
25. Харченко С.В. Основи енергетичного менеджменту. – Суми: СумДУ, 2020.