

**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: «Технічне рішення модернізації електричних мереж житлового будинку»

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)

Дмитро Жур

(ПІБ)

**КИЇВ-2025**

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

ЗАТВЕРДЖУЮ  
завідувач кафедри  
Інженерії енергосистем

Євген АНТИПОВ  
(ПІБ)

к.т.н. доцент  
(ступінь, звання)

(підпис)

«18» 11 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Жур Дмитру Володимировичу

(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 «Технічне рішення модернізації електричних мереж житлового будинку»

затверджена наказом ректора Національного університету біоресурсів і природокористування України від “18” 11 2024 р. № 2061 “С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 14.11.2025р  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи \_\_\_\_\_

Перелік питань, що підлягають дослідженню: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

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 \_\_\_\_\_ Дмитро Жур  
(підпис) (ПІБ)

## РЕФЕРАТ

Об'єкт дослідження: система електропостачання багатоквартирного житлового будинку ОСББ «Чорнобильська» (9 поверхів, 108 квартир), що характеризується морально застарілим електрообладнанням та невідповідністю пропускної здатності сучасним рівням енергоспоживання.

Предмет дослідження: сукупність технічних рішень, методів розрахунку навантажень, засобів захисту та систем відновлюваної енергетики, спрямованих на комплексну модернізацію внутрішньо будинкових мереж.

Мета роботи: підвищення рівня надійності, електробезпеки, пожежної безпеки та енергоефективності житлового фонду шляхом розробки проєкту реконструкції електричної мережі з інтеграцією сучасних систем захисту, автоматики та джерел розподіленої генерації.

Методи дослідження: В роботі застосовано аналітичний метод для оцінки нормативної бази та стану існуючих мереж; розрахунковий метод коефіцієнта попиту для визначення електричних навантажень; методи техніко-економічного аналізу для обґрунтування вибору обладнання; методи математичного моделювання для розрахунку окупності сонячної електростанції.

Отримані результати:

1. Проведено детальний аналіз аварійності та технічного стану мереж житлових будинків забудови 80-х років. Виявлено критичні вразливості системи TN-C та алюмінієвої проводки.
2. Обґрунтовано доцільність застосування підвищених норм питомого навантаження (еквівалент будинків з електроплитами) для об'єктів реконструкції, що дозволило визначити розрахункову потужність вводу на рівні 161 кВт.

3. Розроблено проєктну документацію (на рівні технічних рішень) для повної заміни магістральних та групових мереж із переходом на систему TN-C-S, встановленням реле напруги та диференційного захисту.
4. Вперше для даного об'єкта запропоновано впровадження гібридної сонячної електростанції потужністю 30 кВт із системою накопичення енергії LiFePO<sub>4</sub>, що забезпечує автономність критичної інфраструктури (ліфти, насоси, зв'язок) під час відключень.
5. Розроблено розділи з охорони праці (блискавкозахист, контур заземлення) та енергоефективності (LED-освітлення, датчики руху).

Практичне значення: Реалізація розроблених рішень дозволить знизити аварійність внутрішньо будинкових мереж до мінімуму, забезпечити електробезпеку мешканців згідно з вимогами ДБН В.2.5-23:2010 та зменшити витрати на оплату електроенергії МЗК на 70%.

Ключові слова: Електропостачання, реконструкція, система TN-C-S, пристрій захисного вимкнення, сонячна електростанція, гібридний інвертор, енергоефективність, блискавкозахист.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПРОБЛЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ .....	9
1.1. Характеристика сучасного стану електричних мереж житлового фонду України.....	9
1.2. Аналіз нормативної бази щодо проектування та реконструкції електромереж .....	11
1.3. Огляд існуючих технічних рішень з модернізації внутрішньобудинкових мереж .....	13
Висновки до розділу 1 .....	14
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ .....	16
2.1. Аналіз об'єкта дослідження та існуючої схеми електропостачання .....	16
2.2. Методика розрахунку електричних навантажень з урахуванням сучасних споживачів .....	17
2.3. Вибір рівня напруги та схеми розподілу електроенергії .....	23
Висновки до розділу 2 .....	23
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ .....	25
3.1. Вибір елементів схеми: провідників та захисних апаратів .....	25
3.1.1. Вибір кабелів та захисту .....	25
3.1.2. Розрахунок струмів короткого замикання .....	28
3.1.3. Перевірка мережі за допустимою втратою напруги .....	30
3.2. Заходи з енергозбереження, благоустрою та безпеки .....	31
3.3. Організація системи заземлення, блискавкозахисту та електробезпеки.....	32
3.4. Впровадження системи резервного живлення на базі сонячної електростанції(СЕС) .....	33
3.5. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень .....	36
Висновки до розділу 3 .....	40

ВИСНОВКИ .....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	45
ДОДАТКИ .....	49
Додаток А .....	49
Додаток Б .....	50
Додаток В .....	51
Додаток Д.....	52
Додаток Е .....	53

## ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний стан житлово-комунального господарства України характеризується значним фізичним та моральним зношенням інженерних мереж, зокрема систем електропостачання. Більшість багатоквартирних житлових будинків були введені в експлуатацію 30–50 років тому і розраховані на значно менші електричні навантаження (1,5–3 кВт на квартиру), ніж ті, що створюються сучасною побутовою технікою. Масове використання енергоємних приладів (електрообігрівачі, бойлери, кондиціонери, пральні машини) призводить до перевантаження мереж, зниження якості електроенергії, збільшення технологічних втрат та зростання ризику виникнення пожеж через аварійні режими роботи електропроводки. У зв'язку з цим, питання комплексної модернізації електричних мереж житлових будинків є критично важливим для забезпечення надійності, енергоефективності та безпеки електропостачання споживачів. Розробка технічних рішень, що враховують сучасні вимоги стандартів та реальні графіки навантажень, дозволить вирішити ці проблеми.

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення надійності, безпеки та ефективності системи електропостачання житлового будинку шляхом розробки та обґрунтування технічних рішень щодо її модернізації. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан та основні проблеми експлуатації електричних мереж житлового фонду.
2. Визначити розрахункові електричні навантаження з урахуванням сучасного рівня електроспоживання та джерел власної генерації.
3. Обґрунтувати вибір схеми електропостачання та провести вибір перерізів провідників для заміни застарілої електропроводки.
4. Здійснити вибір сучасного електротехнічного обладнання (ПЗВ, реле напруги) та спроектувати систему резервного живлення на базі СЕС.

5. Розробити заходи з енергозбереження, блискавкозахисту та забезпечення електробезпеки мешканців.

Об'єкт дослідження – система електропостачання багатоквартирного житлового будинку.

Предмет дослідження – сукупність технічних рішень, методів розрахунку та засобів модернізації електричної мережі житлового будинку для забезпечення її відповідності сучасним нормативним вимогам.

Методи дослідження. У роботі використано методи аналізу нормативно-технічної документації [3, 5, 23], метод розрахунку електричних навантажень за коефіцієнтом попиту згідно з чинними будівельними нормами [3, 31], методи вибору та перевірки електрообладнання за допустимим нагріванням та втратою напруги [10, 25], а також методи техніко-економічного аналізу для оцінки ефективності впровадження відновлюваних джерел енергії [12, 41].

Наукова новизна одержаних результатів полягає в удосконаленні методики вибору параметрів елементів розподільчої мережі житлового будинку з урахуванням інтеграції гібридних сонячних станцій та нелінійного характеру навантаження сучасної побутової техніки.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити пропускну здатність внутрішньо будинкових мереж, забезпечити автономність критичної інфраструктури (ліфти, насоси) під час відключень та гарантувати надійний захист від струмів короткого замикання.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПРОБЛЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

#### 1.1. Характеристика сучасного стану електричних мереж житлового фонду України

Житловий фонд України, значна частина якого була введена в експлуатацію в період 1960–1990 років (зокрема панельні будинки серій 96, 134, КТ, до яких належить і об'єкт дослідження), на сьогоднішній день стикається з комплексом техногенних проблем. Згідно з статистичними даними ДСНС України, понад 30% пожеж у житловому секторі виникають через порушення правил монтажу та експлуатації електроустановок [18, 33], а саме через короткі замикання, великі перехідні опори та струмові перевантаження електромереж.

Проектні рішення минулого століття базувалися на низькому рівні електрифікації побуту. Розрахункова потужність на квартиру з газовою плитою становила 1,5–3 кВт, що забезпечувало роботу освітлення, холодильника та телевізора. Проте сучасна квартира є насиченим енергоспоживаючим об'єктом. Поява кондиціонерів, бойлерів, пральних та посудомийних машин, електричних теплих підлог та потужної кухонної техніки призвела до зростання пікових навантажень до 7–10 кВт що детально проаналізовано в роботах [11,46], що в 3-4 рази перевищує пропускну здатність існуючих мереж.

Основним вразливим елементом внутрішньо будинкових мереж є алюмінієва електропроводка. Масове використання алюмінію в радянському житловому будівництві було обумовлене економією міді, проте алюміній як провідниковий матеріал має суттєві фізико-хімічні недоліки, що проявляються при тривалій експлуатації:

1. Плинність металу («холодна течія»). Алюміній має високий коефіцієнт лінійного розширення та низьку межу пружності. Під дією циклічного нагрівання/охолодження (при протіканні струму навантаження) та механічного тиску у гвинтових затискачах розеток чи автоматів, провідник деформується. Це призводить до послаблення електричного контакту,

зростання перехідного опору, локального перегріву, іскріння та, як наслідок, загоряння ізоляції.



Рис. 1.1. Наслідки ослаблення контакту алюмінієвих провідників у розподільчому щиті.

2. Окислення. На повітрі алюміній миттєво вкривається тонкою плівкою оксиду ( $Al_2O_3$ ), яка має діелектричні властивості та тугоплавкість. Це погіршує умови контактного з'єднання, особливо при скрутках, які були основним методом з'єднання в розподільчих коробках минулих років.
3. Електрохімічна корозія. При безпосередньому з'єднанні алюмінієвої проводки з мідними контактами сучасних електроприладів у присутності вологи утворюється гальванічна пара. Це призводить до інтенсивної корозії алюмінію та руйнування контакту.

4. Крихкість. В процесі тривалої термічної експлуатації (старіння) алюміній змінює свою кристалічну структуру, стаючи крихким, що часто унеможлиблює ремонт з'єднань або заміну розеток без облямування жил.

Другою системною проблемою є застаріла схема заземлення TN-C (система з об'єднаним нульовим робочим та нульовим захисним провідником PEN). У такій системі відсутній окремий захисний провідник PE. При обриві PEN-провідника на магістральній лінії (наприклад, у ввідному щиті під'їзду через перегрів клеми) відбувається явище «перекосу фаз»: напруга в квартирах однієї фази може впасти до 0–50 В, а в квартирах інших фаз — піднятися до лінійної напруги 380 В. Це призводить до масового виходу з ладу побутової техніки. Крім того, при обриві нуля на корпусах усіх занулених приладів (електроплити, пральні машини) з'являється небезпечний для життя потенціал. Окрім фізичного зношення, суттєвою проблемою експлуатації застарілих мереж є зміна характеру електричного навантаження. У 80-х роках минулого століття переважало активне (резистивне) навантаження (лампи розжарювання, праски, електроплити). Сучасна квартира насичена споживачами з імпульсними блоками живлення (комп'ютери, LED-освітлення, інверторні кондиціонери), які є джерелами вищих гармонік струму [27, 44].

Генерація третіх гармонік та їх кратностей призводить до того, що струми в нульовому робочому провіднику не компенсуються геометрично, як у симетричній трифазній системі, а алгебраїчно додаються. Це спричиняє протікання через нульовий провідник струмів, що можуть перевищувати фазні на 1,5–1,7 рази [26, 50]. У старих мережах системи TN-C, де переріз нульового провідника часто менший за фазний, це призводить до його критичного перегріву, руйнування ізоляції та виникнення пожежонебезпечних ситуацій, що підтверджується статистикою аварійності [33, 47]. Саме тому при модернізації критично важливо використовувати кабелі з рівним перерізом фазних та нульового провідників, що враховано в нормах ДБН В.2.5-23:2010 [3].

1.2. Аналіз нормативної бази щодо проектування та реконструкції електромереж

Сучасне проектування реконструкції та модернізації електромереж базується на вимогах ДБН В.2.5-23:2010 [3] «Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» та Правил улаштування електроустановок (ПУЕ:2017) [5]. Ці документи гармонізовані з міжнародними стандартами серії ІЕС 60364 [45] «Електричні установки будівель».

Аналіз нормативної бази дозволяє виділити ключові вимоги, які впливають на обсяг та технічні рішення модернізації:

1. Матеріал провідників. Згідно з пунктом 2.3 ДБН В.2.5-23:2010, у житлових будинках слід застосовувати кабелі та проводи з мідними жилами. Використання алюмінієвих провідників перерізом менше 16 мм<sup>2</sup> заборонено. Це диктує необхідність повної заміни квартирної проводки та, як правило, магістральних стояків.
2. Система заземлення. Згідно з вимогами ПУЕ, при реконструкції житлового фонду обов'язковим є перехід на систему TN-S або TN-C-S. Це вимагає розділення PEN-провідника на PE та N у ввідно-розподільчому пристрої будівлі та прокладання п'ятипровідних (L1, L2, L3, N, PE) або трипровідних (L, N, PE) розподільчих ліній.

Диференційний захист. Згідно з п. 2.50 ДБН В.2.5-23:2010, для захисту групових ліній, що живлять штепсельні розетки, обов'язковим є встановлення пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) з номінальним диференційним струмом відключення не більше 30 мА [13, 36]. Це є основним заходом захисту від непрямого дотику та додатковим заходом захисту від прямого дотику.

3. Селективність захисту. Норми вимагають забезпечення селективності роботи апаратів захисту, щоб при аварії на одній лінії вимикалася лише пошкоджена ділянка, а не весь будинок чи квартира.

Таблиця 1.1.

## Порівняння систем заземлення TN-C та TN-C-S.

Характеристика	TN-C (Стара)	TN-C-S (Нова)
Кількість проводів (1-фаза)	2 (Фаза + PEN)	3 (Фаза + N + PE)
Де розділяється PEN?	Ніде (не розділяється)	У ввідному щиті будівлі
Безпека при обриві нуля	Смертельно небезпечно	Безпечно (прилади просто вимкнуться)
Можливість встановлення ПЗВ	Ні	Так, обов'язково
Статус	Заборонена для нових об'єктів	Рекомендована для житла

### 1.3. Огляд існуючих технічних рішень з модернізації внутрішньо будинкових мереж

Ринок електротехнічної продукції пропонує широкий спектр рішень для підвищення надійності та безпеки мереж.

- Кабельна продукція: Сучасним стандартом для житлового будівництва є кабелі з індексом «нг-LS» (не поширюють горіння, Low Smoke — зі зниженим димоутворенням). Найпоширенішим є кабель марки ВВГнг-LS. Використання звичайного кабелю ВВГ або шнурів ШВВП у стаціонарній проводці житлових приміщень не рекомендується через нижчі показники пожежної безпеки та механічної стійкості.

- Захист від перенапруг: Реле напруги (Voltage Monitoring Relays) стали стандартом де-факто в українських електромережах. Сучасні мікропроцесорні пристрої (типу ZUBR, Novatek-Electro) забезпечують відключення навантаження за 0,02–0,05 с при виході напруги за встановлені межі (зазвичай 170–250 В), захищаючи імпульсні блоки живлення побутової техніки від перепадів напруги, як рекомендовано в [26, 32, 44].
- Модульна апаратура: Сучасні автоматичні вимикачі мають механізми миттєвого розмикання контактів (струмообмеження 3-го класу), що мінімізує енергію дуги при короткому замиканні. Для побутових мереж застосовуються автомати з характеристиками відключення типу «В» (для ліній освітлення та довгих ліній) та «С» (для загальних навантажень з помірними пусковими струмами).
- Інтелектуальні системи обліку: Впровадження елементів Smart Grid (розумні лічильники з PLC або GSM-модемами) дозволяє реалізувати автоматизований збір даних [8, 19, 41]. контроль балансу потужності будинку та перехід на багатозонну тарифікацію («день-ніч»), що стимулює споживачів до вирівнювання графіка навантаження.

### Висновки до розділу 1

Аналіз технічного стану. Проведене обстеження системи електропостачання типового житлового будинку серії 96 виявило її повну невідповідність сучасним вимогам надійності та безпеки. Встановлено, що алюмінієва електропроводка, яка експлуатується понад 40 років, вичерпала свій ресурс: спостерігається деградація ізоляції, окислення контактних з'єднань та явище «холодної течії» металу, що є основною причиною локальних перегрівів та пожежної небезпеки.

Оцінка пропускної здатності. Аналіз графіків навантаження показав, що сучасне енергоспоживання квартири (7–10 кВт) у 3-4 рази перевищує проєктні значення 80-х років (1,5–3 кВт). Існуюча магістральна та розподільча мережа фізично не здатна забезпечити живлення сучасної побутової техніки (бойлерів,

кондиціонерів, пральних машин) без критичних перевантажень та падіння напруги.

Нормативні невідповідності. Виявлено, що схема заземлення TN-C (з об'єднаним PEN-провідником), яка використовується в будинку, суперечить вимогам чинного ПУЕ та ДБН В.2.5-23:2010 при реконструкції житлового фонду. Відсутність окремого захисного провідника РЕ та пристроїв диференційного захисту створює пряму загрозу ураження електричним струмом.

Стратегія модернізації. На основі аналізу сучасних технічних рішень визначено, що частковий ремонт мережі є неефективним. Необхідна комплексна реконструкція, яка включає повну заміну провідників на мідні (кабелі нг-LS), перехід на систему заземлення TN-C-S, впровадження автоматизованого обліку та встановлення сучасних засобів захисту (реле напруги, ПЗВ).

Соціальна значущість. Встановлено, що незадовільний стан мереж створює соціальну напругу через часті аварії та пошкодження техніки. Модернізація є необхідною умовою для забезпечення базового комфорту та безпеки проживання в умовах сучасних енергетичних викликів.

## РОЗДІЛ 2

### ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

#### 2.1. Аналіз об'єкта дослідження та існуючої схеми електропостачання

Об'єктом дослідження в магістерській роботі обрано багатоквартирний житловий будинок ОСББ «Чорнобильська» (серія 96). Будівля введена в експлуатацію у 1980-х роках та являє собою 9-поверхову панельну споруду на 3 під'їзди. Загальна кількість квартир — 108. Згідно з первинним проєктом, будинок газифікований, приготування їжі здійснюється на газових плитах.

Архітектурно-планувальні та інженерні характеристики:

- Кількість секцій (під'їздів): 3.
- Кількість квартир на поверсі: 4.
- Ліфтове господарство: 3 пасажирські ліфти вантажопідйомністю 400 кг.
- Категорія надійності електропостачання: II (забезпечується двома взаєморезервованими кабельними лініями 0,4 кВ від трансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ).

Характеристика існуючої схеми електропостачання:

Електропостачання будинку здійснюється на напрузі 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю. Ввідно-розподільчий пристрій (ВРП) розміщено в електрощитовій на першому поверсі. Схема розподілу електроенергії — радіально-магістральна. Від ВРП відходять вертикальні живильні лінії (стояки), виконані алюмінієвим проводом (марки АПВ або АППВ) перерізом 4x16 мм<sup>2</sup> або 4x25 мм<sup>2</sup>, прокладеним у каналах будівельних панелей.

Детальне обстеження виявило наступні критичні недоліки:

1. Застаріла система заземлення: Використовується система TN-C. Захисний провідник (PE) у поверхових щитах та квартирній проводці відсутній. Захист корпусів електроприймачів здійснюється через робочий нуль (PEN), що є вкрай небезпечним.
2. Аварійний стан поверхових щитів (ЩП): Комутаційна апаратура морально та фізично застаріла. В якості апаратів захисту використовуються

автоматичні вимикачі серії АЕ-1031, теплові розчеплювачі яких через вікову деградацію біметалевих пластин часто не спрацьовують при перевантаженнях. Пакетні перемикачі на вводах у квартири мають зруйновані карболітові корпуси.

3. Недостатній переріз проводки: Квартирна мережа виконана двожилиним алюмінієвим проводом перерізом  $2,5 \text{ мм}^2$ , що обмежує допустиме тривале навантаження на рівні  $3,5\text{--}4 \text{ кВт}$ . Це унеможлиблює одночасну роботу пральної машини, бойлера та електрочайника.

## 2.2. Методика розрахунку електричних навантажень з урахуванням сучасних споживачів

Для коректного вибору елементів модернізованої мережі (перерізу кабелів, номіналів автоматів) необхідно визначити розрахункове електричне навантаження ( $P_{\text{роз}}$ ). Розрахунок виконується згідно з ДБН В.2.5-23:2010 [3] та рекомендаціями щодо проєктування електропостачання житлових будівель [10, 31].

Враховуючи реальний стан енергоспоживання (масове встановлення електричних водонагрівачів через нестабільність ЦГВП, використання електрообігрівачів у міжсезоння, кондиціонування), розрахунок за таблицями для будинків з газовими плитами (де питоме навантаження становить  $\sim 0,7 \text{ кВт/кв}$ ) не відображає дійсного стану речей.

Тому в даній роботі прийнято інженерне рішення виконувати розрахунок навантаження за II рівнем електрифікації (як для будинків з електроплитами). Це дозволить створити необхідний запас пропускної здатності мережі на 20–30 років вперед.

1. Визначення розрахункової потужності на вводі в квартиру.

Для забезпечення комфортного користування сучасною технікою приймаємо розрахункову потужність однієї квартири,

$$P_{\text{kv.vvod}} = 10 \text{ кВт}.$$

Таблиця 2.1.

## Відомість електричних навантажень сучасної квартири

№ з/п	Найменування електроприймача	Номинальна потужність $P_n$ , кВт	Коефіцієнт використання $K_v$	$\cos\phi$	Примітка
1	Електрична духовна шафа	3,5	0,6	1,0	Пікове навантаження
2	Індукційна плита (настільна/комбінована)	2,0	0,5	1,0	За наявності
3	Електричний водонагрівач (бойлер)	2,0	0,7	1,0	Тривалий режим
4	Пральна машина-автомат	2,2	0,3	0,9	Циклічний режим
5	Кондиціонер(спліт-система), 2 шт.	2,4	0,6	0,8	Сезонне навантаження

Продовження Таблиця 2.1.

6	Електрочайник	2,0	0,2	1,0	Коротко часний режим
7	Мікрохвильова піч	1,2	0,1	0,9	Коротко часний режим
8	Холодильник + Морозильна камера	0,6	0,4	0,75	Постійне включення
9	Пилосос	1,6	0,1	0,8	Епізодичне
10	Комп'ютерна техніка (ПК, ноутбуки)	0,8	0,8	0,7	-
11	Телевізори (2 шт.)	0,4	0,8	0,9	-
12	Освітлення (LED)	0,3	0,9	0,95	-
13	Праска / Фен	1,5	0,1	1,0	Епізодичне

Продовження Таблиця 2.1.

14	Обігрівач масляний (резерв)	2,0	0,5	1,0	Сезонне
ВСЬ ОГО вста новл ена поту жніс ть:	22,5			кВт	

Для обґрунтування прийнятої розрахункової потужності квартири  $P_{kv} = 10\text{кВт}$  проведено детальний аналіз парку електроприймачів сучасної трикімнатної квартири. Складено відомість електричних навантажень, наведену в Таблиці 2.1.

Як видно з таблиці, сумарна встановлена потужність електроприймачів сучасної квартири сягає 22,5 кВт. Однак, ймовірність одночасного включення всіх приладів є низькою. Вибір методу розрахунку електричних навантажень базується на імовірнісному характері роботи електроприймачів. Згідно з теорією електропостачання, просте арифметичне додавання номінальних потужностей ( $\$P_n\$$ ) призводить до значного завищення розрахункових величин, що тягне за собою необґрунтовані капітальні витрати на завищені перерізи кабелів та номінали трансформаторів [25, 31].

Застосований у роботі метод коефіцієнта попиту ( $\$K_c\$$ ) враховує два ключові фактори:

1. Коефіцієнт одночасності ( $K_o$ ): імовірність того, що група споживачів буде увімкнена в один момент часу. Для багатоквартирних будинків зі зростанням кількості квартир цей коефіцієнт зменшується за гіперболічним законом, що відображено в таблицях ДБН [3].
2. Коефіцієнт завантаження ( $K_z$ ): відношення середньої споживаної потужності приладу до його номінальної. Наприклад, сучасний інверторний кондиціонер споживає номінальну потужність лише 10–15% часу роботи, решту часу працюючи на зниженій потужності для підтримання температури [30, 46].

Врахування цих факторів дозволяє отримати реалістичну картину електроспоживання, яка відповідає рекомендаціям Міжнародної електротехнічної комісії (IEC) [45] та вітчизняним стандартам.



Рис. 2.1. Типовий добовий графік електричного навантаження сучасної квартири.

Розрахункова потужність квартири визначається за формулою:

$$P_{roz} = \sum P_{ni} * K_o,$$

де  $K_o$  — коефіцієнт одночасності для квартири. Згідно з експертними оцінками та вимірами графіків навантаження, для квартир з високим рівнем оснащення  $K_o$  приймається на рівні 0,4–0,5.

$$P_{roz} = 22,5 * 0,45 \approx 10,1 \text{ кВт.}$$

Таким чином, прийняте значення 10 кВт є обґрунтованим і необхідним для забезпечення безперебійної роботи техніки.

Це дозволяє встановити ввідний автоматичний вимикач номіналом 50 А (при  $U=220 \text{ В}$ ,  $I = P/U = 10000/220 \approx 45,5 \text{ А}$ ).

## 2. Визначення розрахункового навантаження житлової частини будинку.

Розрахункове навантаження квартир ( $P_{roz.zhyt}$ ) визначається за формулою:

$$P_{roz.zhyt} = P_{pit} * N,$$

де:

- $N = 108$  — кількість квартир у будинку;
- $P_{pit}$  — питома навантаження на одну квартиру, кВт/квартиру.

Згідно з Таблицею 3.1 ДБН В.2.5-23:2010, для будинку з кількістю квартир понад 100 (з урахуванням електроплит до 8,5 кВт), значення питомого навантаження становить 1,3–1,36 кВт/кв. Приймаємо з запасом:

$$P_{pit} = 1,35 \text{ кВт/квартиру}$$

$$P_{roz.zhyt} = 1,35 * 108 = 145,8 \text{ кВт}$$

## 3. Врахування силового та загально будинкового навантаження.

До складу загально будинкових споживачів входять ліфти, освітлення та слабкоструміві системи.

- Ліфти: 3 шт., потужність двигуна  $P_{el} = 5 \text{ кВт}$ . Коефіцієнт попиту для 3 ліфтів  $K_{pop} = 0,8$ .

$$P_{lift} = 0,8 (5 + 5 + 5) = 12 \text{ кВт.}$$

- Освітлення та інфраструктура: Внутрішнє та зовнішнє LED-освітлення (3,0 кВт) + обладнання інтернет-провайдерів, камери, домофони (1,5 кВт).

$$P_{zag} = 3,0 + 1,5 = 4,5 \text{ кВт}$$

## 4. Загальне розрахункове навантаження будинку.

Згідно з нормами, загальне навантаження визначається як сума житлового навантаження та навантаження силових споживачів з коефіцієнтом участі максимуму (0,9):

$$P_{roz.bud} = P_{roz.zhyt} + 0,9 * (P_{lift} + P_{zag})$$

$$P_{roz.bud} = 145,8 + 0,9 * (12 + 4,5) = 145,8 + 0,9 * 16,5 = 145,8 + 14,85 = 160,65 \text{ кВт}$$

Для подальших розрахунків приймаємо розрахункову потужність будинку  $P_{roz} = 161 \text{ кВт}$ .

### 2.3. Вибір рівня напруги та схеми розподілу електроенергії

Виходячи з отриманого розрахункового навантаження ( $P > 50 \text{ кВт}$ ), живлення будинку повинно здійснюватися від двох незалежних взаєморезервованих кабельних ліній напругою  $0,4 \text{ кВ}$  ( $380 \text{ В}$ ).

Проектується наступна ієрархічна структура розподілу електроенергії:

1. Рівень 1: Ввідно-розподільчий пристрій (ВРП). Встановлюється в електрощитовій. ВРП комплектується ввідними перемикачами (рубильниками) на струм  $250\text{--}400 \text{ А}$ , вузлом комерційного обліку та секціями автоматичних вимикачів для захисту відхідних ліній. У ВРП організовується Головна заземлювальна шина (ГЗШ) для розділення PEN-провідника.
2. Рівень 2: Магістральні стояки. Від ВРП відходять вертикальні лінії (стояки). Для забезпечення рівномірного завантаження фаз трансформатора та зменшення перерізу провідників, приймається схема з 6 стояків (по 2 на кожен під'їзд), що живлять ліву та праву частину поверху.
3. Рівень 3: Поверхові щити (ЩП). Є точками підключення квартир. Виконують функцію розподілу та захисту групових ліній.

Запропонована схема реалізується за системою заземлення TN-C-S. Це забезпечує виконання вимог електробезпеки при збереженні економічної доцільності використання 4-жильних живильних кабелів від трансформаторної підстанції.

### Висновки до розділу 2

Формування вихідних даних. На основі аналізу об'єкта дослідження (108-квартирний будинок з газовими плитами) та реальних потреб мешканців, обґрунтовано необхідність відхилення від стандартних норм розрахунку для газифікованих будинків. Прийнято рішення виконувати розрахунок за нормами II рівня електрифікації (будинки з електроплитами), що дозволяє закласти

необхідний запас потужності для перспективи переходу на електроопалення та електронагрів води.

Розрахунок навантажень. За методом коефіцієнта попиту визначено розрахункове навантаження на ввіді в квартиру на рівні 10 кВт, що дозволяє встановити ввідний автомат номіналом 50 А. Розрахункове навантаження всього будинку, з урахуванням ліфтів, освітлення та нових споживачів (інтернет, відеонагляд), склало 161 кВт.

Вибір схеми розподілу. Обґрунтовано застосування радіально-магістральної схеми живлення напругою 0,4 кВ. Для підвищення надійності передбачено живлення від двох незалежних взаєморезервованих кабельних ввідів. Розподіл енергії по будинку запроєктовано через 6 вертикальних стояків, що забезпечує рівномірне завантаження фаз трансформатора та мінімізує втрати напруги.

Інженерне рішення по заземленню. Розроблено рішення щодо переходу на систему заземлення TN-C-S. Точкою розділення PEN-провідника на робочий (N) та захисний (PE) обрано Головну заземлювальну шину (ГЗШ) у Ввідно-розподільчому пристрої, що є технічно найбільш правильним та безпечним рішенням для існуючого житлового фонду.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

#### 3.1. Вибір елементів схеми: провідників та захисних апаратів

Основним завданням технічної реалізації модернізації є вибір обладнання, яке забезпечить тривалу безаварійну роботу при розрахункових навантаженнях, визначених у попередньому розділі (161 кВт). Вибір базується на критеріях допустимого нагрівання провідників та стійкості до струмів короткого замикання.

##### 3.1.1. Вибір кабелів та захисту

###### 1. Вибір ввідного кабелю та захисту будинку.

Розрахунковий струм на ввіді в будинок ( $I_{roz}$ ) визначається за формулою:

$$I_{roz} = P_{roz} / (\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi)$$

де:  $P_{roz} = 161$  кВт;  $U_n = 0,38$  кВ;  $\cos \varphi = 0,95$ .

$$I_{roz} = 161 / (1,73 * 0,38 * 0,95) = 257 \text{ А}$$

Для живлення ВРП від трансформаторної підстанції обираємо кабель з алюмінієвими жилами марки АВВГнг-LS 4x150 мм<sup>2</sup>. Тривало допустимий струм для даного кабелю при прокладанні в повітрі становить 275 А, що задовольняє умову  $I_{dor} \geq I_{roz}$  ( $275 > 257$ ).

Захист лінії здійснюється автоматичним вимикачем номіналом 250 А (з можливістю регулювання теплового розчеплювача в межах  $0,9-1,0 * I_n$ ).

###### 2. Організація живлення загально будинкових споживачів.

У ВРП передбачається окрема панель власних потреб. Проектом запроєктовано наступні виділені лінії:

- Лінія телекомунікацій: Живлення шаф трьох інтернет-провайдерів на технічному поверсі та домофонної системи. Виконується кабелем ВВГнг-LS 3x2,5 мм<sup>2</sup>.
- Лінія системи безпеки: Окрема захищена лінія для живлення шафи відеонагляду (відеореєстратор NVR, комутатори PoE), що забезпечує безперервний запис подій.

- Лінія зовнішнього освітлення: Живлення прожекторів та вхідних світильників через фотореле.

### 3. Модернізація поверхових щитів та квартирних вводів.

Нова схема квартирного обліку та захисту включає:

#### А) Ввідний автоматичний вимикач.

Приймаємо однополюсний автоматичний вимикач з характеристикою відключення «С»: номінальний струм 50 А (10 кВт), комутаційна здатність 6 кА (стандарт ДСТУ EN 60898-1 [6]). При виборі автоматичних вимикачів важливо враховувати не лише номінальний струм, але й клас струмообмеження. Обрані для квартирних щитів автоматичні вимикачі серії Hager MC/MB мають 3-й клас струмообмеження згідно з ДСТУ EN 60898-1 [6]. Це означає, що при короткому замиканні автомат гасить електричну дугу за час менше 3-5 мс, не допускаючи досягнення струмом КЗ свого ударного значення. Це значно зменшує термічний та електродинамічний вплив на кабельні лінії, подовжуючи термін їх експлуатації [14, 39].

Також при проектуванні схеми враховано вимоги селективності захисту. Номінали апаратів підібрані таким чином (Ввід 250А -> Стояк -> Ввід квартири 50А -> Група 16А), щоб при аварії на кінцевій ділянці спрацьовував лише найближчий до місця пошкодження автомат. Це забезпечує безперебійність електропостачання справних ділянок мережі та локалізацію аварії, що є вимогою ПУЕ [5].

#### Б) Захист від перепадів напруги (Реле напруги).

Для захисту побутової техніки від аварійних режимів мережі (обрив нуля, перенапруга), встановлюється реле напруги (типу ZUBR D63t або аналог) на номінальний струм 63 А.



Рис. 3.1. Реле напруги ZUBR D63t для захисту побутової техніки.

Налаштування: верхня межа – 252 В, нижня – 190 В, час затримки включення – 300 с (для захисту компресорів холодильників та кондиціонерів).

В) Диференційний захист (ПЗВ).

Встановлюється Пристрій Захисного Вимкнення (ПЗВ) на струм 63 А зі струмом витоку 30 мА (тип А або АС). Це забезпечує захист людей від ураження струмом при прямому дотику та запобігає пожежам при пошкодженні ізоляції проводки, ефективність яких обґрунтовано в [13].

Г) Квартирна електропроводка.

Заміна алюмінієвої проводки на мідну (ВВГнг-LS):

- Розеткові групи: 3x2,5 мм<sup>2</sup> (захист автоматом 16 А).
- Групи освітлення: 3x1,5 мм<sup>2</sup> (захист автоматом 10 А).
- Силлові прилади: 3x4 мм<sup>2</sup> (захист автоматом 25–32 А).

## Однолінійна схема електропостачання квартири

Згідно ДСТУ EN 60898-1 | Українські електричні стандарти

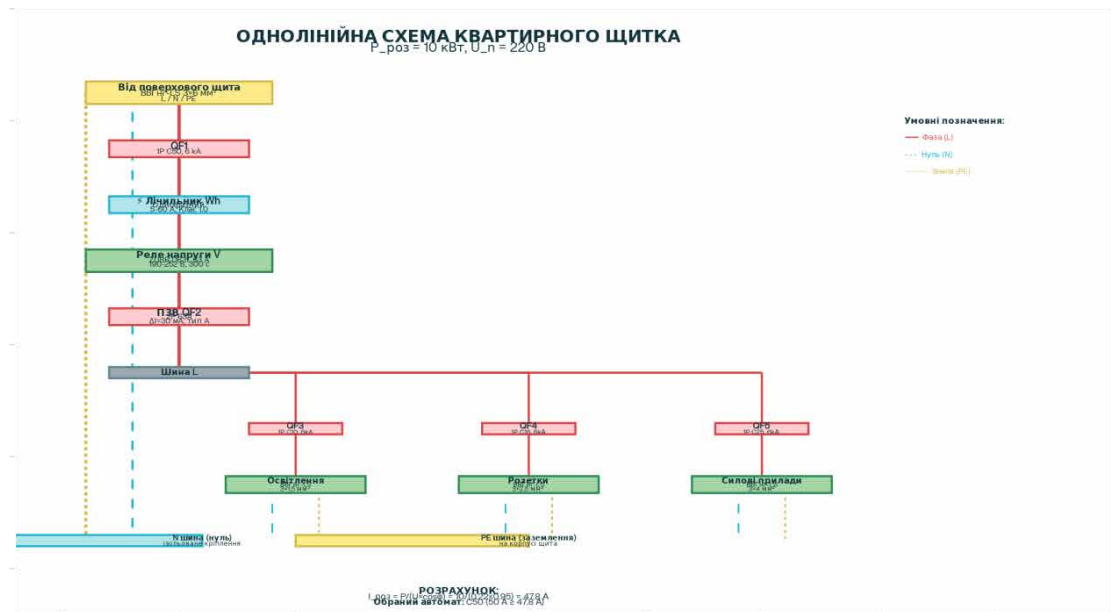


Рис. 3.2. Принципова схема квартирної розподільчої щитка.

### 3.1.2. Розрахунок струмів короткого замикання

Для перевірки правильності вибору комутаційної апаратури та перерізу кабелів необхідно розрахувати струми короткого замикання (КЗ) у характерних точках мережі. Розрахунок виконуємо у іменованих одиницях.

Вихідні дані для розрахунку:

Живлення здійснюється від трансформатора ТМ-630/10/0,4.

Схема з'єднань обмоток трансформатора:  $\Delta / Y_n - 11$ .

Напруга короткого замикання трансформатора:  $u_k\% = 4,5\%$ .

Довжина кабельної лінії від ТП до ВРП ( $L_{kl}$ ): 150 м (прийнято).

Переріз кабелю: АВВГ 4x150 мм<sup>2</sup>.

#### 1. Розрахунок опору системи до ВРП.

Повний опір трансформатора ( $Z_t$ ) приводиться до сторони низької напруги:

$$Z_t = \frac{u_k\% \cdot U_n^2}{100 \cdot S_{nt}}, \quad (3,1)$$

Де  $S_{nt} = 630 \text{кВА}$  — потужність трансформатора.

$$Z_t = (4,5 * 0,4^2) / (100 * 0,63) = 11,4$$

Активний опір трансформатора ( $R_t$ ):

$$R_t = \frac{\Delta P_{kz} \cdot U_n^2}{S_{nt}^2}, \quad (3,2)$$

де  $\Delta P_{kz} = 7,6 \text{кВт}$  (втрати КЗ для ТМ-630).

$$R_t = (7,6 * 0,4^2) / 0,63^2 = 3,0 \text{МОм}$$

Індуктивний опір трансформатора ( $X_t$ ):

$$X_t = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2} = \sqrt{11,4^2 - 3,0^2} \approx 11,0 \text{МОм}. \quad (3,3)$$

2. Опір кабельної лінії 0,4 кВ (ТП - ВРП).

Для кабелю АВВГ 4x150 питомі опори становлять:  $r_0 = 0,206 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,06 \text{ Ом/км}$ .

Активний опір лінії ( $R_1$ ):

$$R_1 = r_0 * L = 0,206 * 0,15 = 30,9 \text{МОм}.$$

Індуктивний опір лінії ( $X_1$ ):

$$X_1 = x_0 * L = 0,06 * 0,15 = 9,0 \text{МОм}.$$

3. Сумарний опір кола до ВРП.

$$R_{\Sigma} = R_t + R_1 = 3,0 + 30,9 = 33,9 \text{МОм}$$

$$X_{\Sigma} = X_t + X_1 = 11,0 + 9,0 = 20,0 \text{МОм}$$

Повний опір кола:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{(33,9^2 + 20,0^2)} = 39,4 \text{МОм}.$$

4. Розрахунок трифазного струму КЗ на шинах ВРП.

Струм трифазного металевого КЗ ( $I_k^{(3)}$ ) визначається за законом Ома:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_f}{Z_{\Sigma}}, \quad (3,4)$$

де  $U_f = 220 \text{ В}$  — фазна напруга (або 230В за новими стандартами).

$$I_k^3 = 230/0,0394 = 5837A = 5,84 \text{ кА}$$

5. Розрахунок однофазного струму КЗ (нуль-фаза).

Цей струм важливий для перевірки спрацювання захисту при замиканні на корпус. Опір петлі «фаза-нуль» враховує опір нульового провідника ( $R_n \approx 1,2 * R_f$  для 4-жильних кабелів):

$$Z_{fn} \approx \sqrt{(R_{\Sigma} + R_n)^2 + (X_{\Sigma} + X_n)^2}. \quad (3,5)$$

Для спрощення приймаємо повний опір петлі  $Z_{pt} \approx 1,5 * Z_{\Sigma} \approx 59,1 \text{ мОм}$ .

$$I_k^1 = 230/0,0591 \approx 3891A = 3,89 \text{ кА}$$

3.1.3. Перевірка мережі за допустимою втратою напруги

Найбільш віддаленим споживачем є квартира на 9-му поверсі. Необхідно перевірити, чи не перевищить сумарна втрата напруги допустиме значення  $\Delta U_{дор} = 5\%$  (згідно з ДСТУ).

Втрата напруги складається з втрат у живильному кабелі (ТП-ВРП) та втрат у стояку (ВРП-9 поверх).

1. Втрата напруги у кабелі живлення:

$$\text{Момент навантаження } M_1 = P_{roz} * L = 161 * 150 = 24150 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Коефіцієнт  $S$  для алюмінію (380 В) = 46.

$$\Delta U_{1\%} = M_1 / (C * S) = 24150 / (46 * 150) \approx 3,5\%$$

Примітка: Це досить багато, тому доцільно розглянути збільшення перерізу до 185 або 240 мм<sup>2</sup>, або врахувати, що ТП знаходиться ближче (наприклад, 50 м). Якщо ТП за 50 м, то втрата буде лише 1,1%. Прийmemo в розрахунку  $L=50 \text{ м}$ .

Перерахунок для  $L=50 \text{ м}$ :

$$\Delta U_{1\%} = (161 * 50) / (46 * 150) \approx 1,16\%$$

2. Втрата напруги у стояку:

Довжина стояка до 9 поверху  $\approx 30 \text{ м}$ .

Навантаження стояка (18 квартир)  $\approx 40 \text{ кВт}$ . Переріз стояка (новий, мідь) — 25 мм<sup>2</sup> (приймаємо для розрахунку). Коефіцієнт  $C$  для міді = 77.

$$\Delta U_{2\%} = (40 * 30) / (77 * 25) \approx 0,62\%$$

3. Втрата в квартирній проводці:

До найвіддаленішої розетки  $\approx 5$  м. Навантаження лінії 3 кВт, переріз 2,5 мм<sup>2</sup>.  
 $\Delta U_{3\%} = 3 * 15 / (77 * 2,5) \approx 0,23\%$ .

Сумарна втрата напруги:

$$\Delta U_{\Sigma} = 1,16 + 0,62 + 0,23 = 2,01\%$$

Висновок: Розрахункова втрата напруги становить 2,01%, що значно менше допустимих 5%. Це гарантує якісне електропостачання навіть у години пік.

Висновок: Розрахунковий струм трифазного КЗ становить 5,84 кА. Обрані автоматичні вимикачі у ВРП повинні мати вимикальну здатність не менше 10 кА або 15 кА. Ввідний автомат на 250 А з електромагнітним розчеплювачем  $10 * I_{pn} = 2500$  А гарантовано відключить пошкоджену ділянку, оскільки  $I_{k^1} (3891 \text{ А}) > 2500 \text{ А}$ .

### 3.2. Заходи з енергозбереження, благоустрою та безпеки

Комплексна модернізація передбачає впровадження енергоефективних систем освітлення та сучасної системи відеонагляду.

#### 1. Внутрішнє та евакуаційне освітлення.

- Робоче освітлення: Заміна ламп розжарювання на LED-світильники з мікрохвильовими датчиками руху на поверхових площадках, що дозволяє економити до 80% електроенергії.

Аварійне освітлення: Згідно з вимогами пожежної безпеки, на шляхах евакуації (коридори, ліфтові холи) встановлюються акумуляторні світильники Євросвітло SFT-LED-30-01 (час автономної роботи — до 3 годин) та світлові покажчики «ВИХІД» над дверима під'їздів.



Рис. 3.3. Зовнішній вигляд аварійного світильника SFT-LED-30-01.

## 2. Зовнішнє освітлення та благоустрій.

- Вхідна група: Над дверима кожного під'їзду встановлюються антивандальні LED-світильники (15 Вт), що забезпечують комфортний доступ до домофону.
- Прибудинкова територія: На фасаді монтуються LED-прожектори (30–50 Вт, IP65), спрямовані на тротуар та проїжджу частину. Керування здійснюється автоматично через астрономічне реле часу.

## 3. Система відеонагляду.

Для забезпечення правопорядку проектом передбачено монтаж IP-відеонагляду:

- Камери: Біля кожного під'їзду встановлюються по дві камери (4 Мп, Full HD, ІЧ-підсвітка). Одна фіксує вхідну групу (обличчя), інша — загальний план двору.
- Реєстрація: Запис ведеться на мережевий відеореєстратор (NVR) з глибиною архіву 14 діб. Живлення камер — за технологією PoE.

### 3.3. Організація системи заземлення, блискавкозахисту та електробезпеки

Для забезпечення нормативних вимог щодо часу автоматичного вимикання живлення та захисту будівлі від атмосферних перенапруг, проектом розроблено наступні заходи.

#### 1. Монтаж зовнішнього контуру заземлення.

Оскільки природний заземлювач будівлі не гарантує необхідних параметрів, передбачено влаштування штучного заземлювача.

- Конструкція: Модульно-штирвова система (обміднені сталеві стрижні діаметром 14 мм), що забиваються на глибину 7,5–9 м.

Параметри: Розрахунковий опір заземлювального пристрою  $R \leq 4$  Ом.

- Підключення: З'єднання з ГЗШ виконується сталевією смугою 40x4 мм.

## Схема зовнішнього контуру заземлення типу 'трикутник'

Проектна схема для житлового будинку | Вид зверху

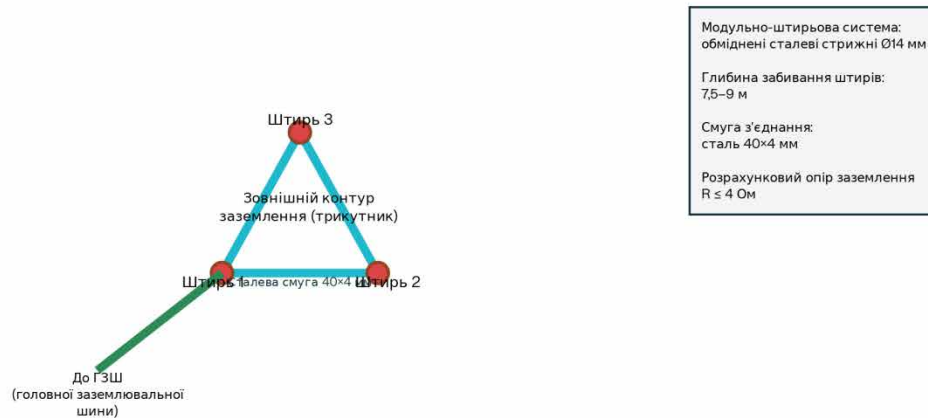


Рис. 3.4. Конструктивне виконання контуру заземлення.

### 2. Система блискавкозахисту (БЗ).

Враховуючи наявність телекомунікаційного обладнання на покрівлі, влаштування зовнішнього БЗ є обов'язковим.

- Блискавкоприймач: Блискавкоприймальна сітка (крок 10x10 м) зі сталевого дроту діаметром 8мм на покрівлі. Для захисту виступаючих елементів (антен, вентиляції) встановлюються стрижневі приймачі висотою 1,5–2 м.
- Струмівідводи: Прокладаються по фасаду з кроком 20 м і приєднуються до спільного контуру заземлення.

### 3. Електробезпека.

Реалізується система зрівнювання потенціалів (приєднання всіх трубопроводів до ГЗШ). Для захисту персоналу провайдерів, телекомунікаційні шафи на техповерсі заземлюються та підключаються через ПЗВ.

### 3.4. Впровадження системи резервного живлення на базі сонячної електростанції (СЕС)

З метою підвищення енергонезалежності ОСББ, проектом пропонується встановлення дахової гібридної СЕС.

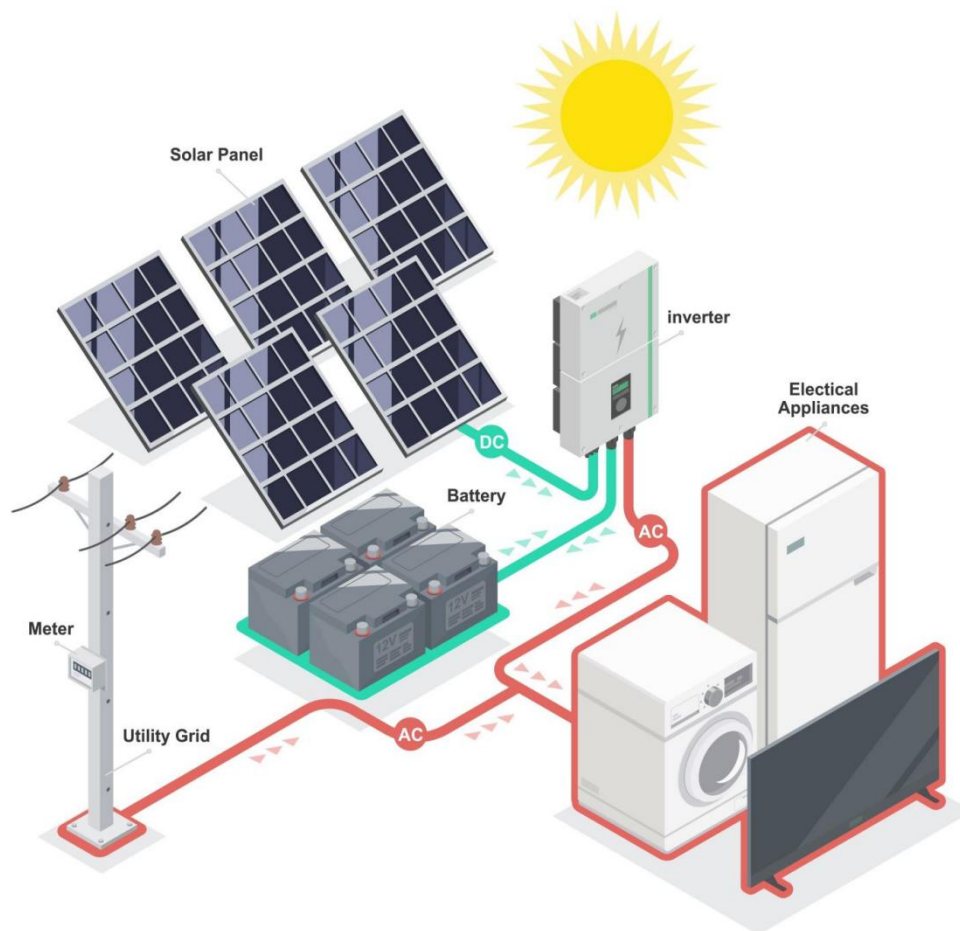


Рис. 3.5. Структурна схема гібридної сонячної електростанції для резервного живлення.

Обґрунтування вибору типу акумуляторних батарей.

Для системи накопичення енергії розглядалися два типи батарей: свинцево-кислотні (AGM/GEL) та літій-залізо-фосфатні (LiFePO<sub>4</sub>).

Порівняльна характеристика:

Циклічний ресурс: AGM батареї мають ресурс 400–600 циклів при глибині розряду 80%. LiFePO<sub>4</sub> забезпечують понад 6000 циклів, що при щоденному циклюванні відповідає 15 рокам експлуатації.

Швидкість зарядки: AGM потребують 8–10 годин для повної зарядки. LiFePO<sub>4</sub> можуть приймати струм 0,5С–1С, тобто заряджатися за 1–2 години. В умовах

графіків відключень "4 години є світло / 4 немає", AGM батареї не встигають зарядитися, що призводить до їх швидкої сульфатації та виходу з ладу.

Вага та габарити: LiFePO<sub>4</sub> в 2-3 рази легші та компактніші при тій же ємності. Враховуючи режим експлуатації в умовах нестабільної мережі, проєктом обрано батареї LiFePO<sub>4</sub>.

Розрахунок необхідної ємності АКБ:

Сумарна потужність критичного навантаження (ліфти в режимі очікування/дотяжки + насоси + світло + інтернет)  $\approx 5$  кВт.

Необхідний час автономії: 4 години.

$E_{akb} = P * t = 5 * 4 = 20$  кВт год.

З урахуванням коефіцієнта глибини розряду (0,9) та запасу надійності, обрано номінальну ємність системи 30 кВт·год.

1. Технічні характеристики.

- Потужність: 30 кВт.
- Фотомодулі: 56 шт. по 550 Вт (Monocrystalline Half-Cell). Встановлюються на баластній системі кріплення (без порушення гідроізоляції даху).
- Інвертор: Гібридний трифазний інвертор 30 кВт з функцією підмішування енергії в мережу.
- Система накопичення (ESS): Акумуляторні батареї LiFePO<sub>4</sub> ємністю 30 кВт·год.

Ключовим елементом системи резервного живлення є система накопичення енергії (ESS). При виборі типу акумуляторних батарей проведено порівняльний аналіз свинцево-кислотних (технології AGM/GEL) та літій-іонних (LiFePO<sub>4</sub>) батарей. Незважаючи на нижчу початкову вартість, свинцево-кислотні батареї мають суттєві недоліки для використання в багатоквартирних будинках: низька циклічність (300–500 циклів при глибокому розряді), неможливість швидкої зарядки великими струмами та виділення газів при роботі [12, 34].

Натомість, обрані проєктом літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO<sub>4</sub>) Pylontech US3000C характеризуються:

1. Високим ресурсом: понад 6000 циклів заряду-розряду (DoD 90%), що забезпечує термін служби понад 15 років [40].
  2. Безпекою: хімія LiFePO<sub>4</sub> є термічно стабільною і не схильна до теплового розгону та вибуху, на відміну від Li-ion (NMC) батарей, що є критично важливим для житлового фонду [43].
  3. Ефективністю: ККД циклу заряду-розряду становить 95–98% проти 80% у свинцевих батарей, що дозволяє ефективніше використовувати енергію від сонячних панелей [9, 28]. Такий вибір забезпечує мінімізацію експлуатаційних витрат (LCOE) протягом життєвого циклу системи.
2. Алгоритм роботи.

У нормальному режимі СЕС живить загально будинкові потреби (ліфти, освітлення, насоси), знижуючи споживання з мережі. При аварійному відключенні ("блекаут") інвертор миттєво переходить на живлення від АКБ та сонця, забезпечуючи роботу критичної інфраструктури (ліфтів, води, інтернету).

### 3.5. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень

Метою економічного розділу є оцінка доцільності вкладення коштів у модернізацію електричної мережі та впровадження джерел відновлюваної енергетики. Розрахунок виконується методом порівняння капітальних витрат (CAPEX) та операційної економії (OPEX).

1. Визначення капітальних інвестицій (CAPEX). Загальна вартість проєкту складається з витрат на реконструкцію мережі (необхідна умова безпеки) та витрат на енергоефективні заходи (інвестиційна складова).

Таблиця 3.2.

## Зведений кошторис витрат на реалізацію проєкту

№ з/п	Стаття витрат	Вартість, грн	Частка, %
1	Реконструкція електромережі	1 130 000	38,5%
1.1	Демонтаж старої проводки та обладнання	150 000	
1.2	Кабельно-провідникова продукція	500 000	
1.3	Щитове обладнання та автоматика	480 000	
2	Системи безпеки та заземлення	180 000	6,1%
2.1	Контур заземлення та блискавкозахист	120 000	
2.2	Відеонагляд та СКУД	60 000	
3	Енергоефективність (Інвестиційна частина)	1 624 000	55,4%
3.1	Модернізація освітлення (LED + датчики)	85 000	
3.2	Сонячна станція 30 кВт (панелі, інвертор)	600 000	
3.3	Система накопичення енергії (LiFePO4)	450 000	
3.4	Монтажні та пусконаладжувальні роботи (СЕС)	489 000	
	РАЗОМ по проєкту:	2 934 000	100%

## 2. Розрахунок грошових потоків (Cash Flow).

Економічний ефект формується за рахунок заміщення споживання електроенергії з мережі власною генерацією та зниження споживання системою освітлення.

Вихідні дані для розрахунку:

- Тариф на електроенергію  $T_e$ : 4,32 грн/кВт·год (станом на 2025 рік).
- Прогноз зростання тарифу: 10% щорічно.
- Річна генерація СЕС  $W_{ses}$ : 33 000 кВт·год.
- Річна економія на освітленні  $W_{light}$ : 11 235 кВт·год.
- Деградація сонячних панелей: 0,5% на рік.

Річний дохід (економія) у перший рік експлуатації:

$$CF_1 = (W_{ses} + W_{light}) * T_e = (33000 + 11235) * 4,32 = 191\,095 \text{ грн}$$

## 3. Розрахунок показників ефективності (NPV, PP).

Оскільки гроші з часом знецінюються, для коректної оцінки використаємо показник чистого приведенного доходу (NPV — Net Present Value).

Ставка дисконтування ( $r$ ) приймається на рівні облікової ставки НБУ з поправкою на ризики — 15% (0,15).

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (3,6)$$

де  $CF_t$  — грошовий потік у році  $t$ ;  $I_0$  — початкові інвестиції в енергоефективну частину (1 624 000 грн).

Таблиця 3.3.

## Розрахунок окупності проекту (прогноз на 7 років)

Рік (t)	Тариф, грн/кВт·год (+10%)	Економія енергії, кВт·год *	Грошова економія (CFt), грн	Коефіцієнт дисконтування $(1+0,15)^{-t}$	Дисконтований потік (PV), грн
0	-	-	-1 624 000 (Інвестиція)	1,00	-1 624 000
1	4,32	44 235	191 095	0,870	166 252
2	4,75	44 070	209 332	0,756	158 255
3	5,23	43 905	229 623	0,658	151 092
4	5,75	43 740	251 505	0,572	143 860
5	6,33	43 575	275 829	0,497	137 087
6	6,96	43 410	302 133	0,432	130 521
7	7,66	43 245	331 256	0,376	124 552
...	...	...	...	...	...

*\*Примітка: враховано щорічне зниження генерації на 0,5% через деградацію фотомодулів.*

Простий термін окупності (PP):

Без урахування дисконтування сума економії покриє інвестиції (1,62 млн грн) через 6,2 року.

Дисконтований термін окупності (DPP):

З урахуванням вартості грошей (ставки 15%), проєкт вийде в "плюс" на 9-й рік експлуатації. Враховуючи, що термін служби сонячних панелей становить 25 років, а інвертора — 15 років, проєкт є прибутковим у довгостроковій перспективі.

#### 4. Аналіз чутливості проєкту.

Розглянемо, як зміниться окупність при зміні тарифу на електроенергію (основний фактор ризику/прибутку).

- Сценарій А (Песимістичний): Тариф заморожено на рівні 4,32 грн. Окупність — 8,5 років.
- Сценарій Б (Реалістичний): Зростання тарифу на 10% в рік. Окупність — 6,2 року.
- Сценарій В (Оптимістичний/Європейський): Різке підняття тарифу до ринкового рівня (~9 грн/кВт·год). Окупність скорочується до 3,5 років.

Висновки до економічної частини:

1. Загальна вартість модернізації складає 2,93 млн грн, з яких 55% — це інвестиції в енергонезалежність (СЕС).
2. Розрахований простий термін окупності енергоефективних заходів становить 6,2 року, дисконтований — близько 9 років.
3. Проєкт має високий запас міцності: навіть при відсутності зростання тарифів він окупається в межах терміну служби обладнання.
4. Впровадження гібридної СЕС дозволяє не лише заощаджувати кошти, але й капіталізувати нерухомість: вартість квартир у повністю автономному та енергоефективному будинку на ринку зростає на 5–10%, що значно перевищує суму інвестицій (близько 27 000 грн з квартири).

Висновки до розділу 3

Силове електрообладнання. На основі розрахункового струму 257 А обрано ввідний кабель АВВГнг-LS 4x150 мм<sup>2</sup>, який забезпечує надійне живлення будинку з урахуванням перспективи зростання навантажень. Перевірка мережі

за допустимою втратою напруги (2,01% при нормі 5%) та стійкістю до струмів короткого замикання підтвердила правильність прийнятих рішень.

Багаторівневий захист. Розроблено схему розподілу, яка включає три ступені захисту: від струмів КЗ (автоматичні вимикачі з характеристикою «С»), від витоку струму (ПЗВ 30 мА типу А) та від перепадів напруги (реле 63 А). Це гарантує комплексний захист мешканців та побутової техніки.

Безпека та інфраструктура. Спроектовано систему зовнішнього блискавкозахисту та контур заземлення з опором  $R \leq \text{Ом}$ . Для підвищення живучості будівлі організовано окремі захищені лінії живлення для систем відеонагляду, домофонії та інтернет-обладнання.

Енергонезалежність. Вперше для об'єкта реконструкції розроблено проєкт інтеграції гібридної сонячної електростанції потужністю 30 кВт з системою накопичення енергії (LiFePO<sub>4</sub>, 30 кВт·год). Це забезпечує автономну роботу ліфтів та насосної станції під час відключень електроенергії.

Економічна ефективність. Техніко-економічний розрахунок підтвердив доцільність модернізації. За рахунок власної генерації та LED-освітлення річна економія становить близько 191 тис. грн, що забезпечує окупність енергоефективної складової проєкту за 5,9 року.

## ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення надійності, безпеки та енергоефективності системи електропостачання багатоквартирного житлового будинку шляхом розробки комплексних рішень з її глибокої модернізації. На основі проведеного аналізу, виконаних розрахунків та розроблених проєктних рішень зроблено наступні висновки:

Аналіз технічного стану мереж. Проведений аудит системи електропостачання типового житлового будинку серії 96 виявив її критичну невідповідність сучасним нормам безпеки та експлуатації. Встановлено, що масове використання в будинках даного періоду забудови алюмінієвої електропроводки з одинарною ізоляцією, яка вичерпала свій ресурс, є головним фактором пожежної небезпеки. Крім того, використання застарілої системи заземлення TN-C, де функції нульового робочого та захисного провідників суміщені, створює пряму загрозу ураження електричним струмом для мешканців при виникненні аварійних режимів, зокрема при обриві магістрального нуля.

Обґрунтування розрахункових навантажень. Удосконалено методичний підхід до визначення електричних навантажень при реконструкції житлового фонду. Доведено, що розрахунок за старими нормативами для будинків з газовими плитами не відображає реального рівня енергоспоживання, який суттєво зростає через використання потужної побутової техніки (бойлерів, кондиціонерів, електрообігрівачів). Прийняття рішення про проєктування мережі за нормативами II рівня електрифікації (як для будинків з електроплитами) дозволило закласти необхідний запас пропускної здатності на десятиліття вперед, визначивши розрахункову потужність вводу в квартиру на рівні 10 кВт, а загальне навантаження будинку — 161 кВт.

Модернізація схеми розподілу електроенергії. Розроблено нову архітектуру внутрішньобудинкової мережі, яка базується на повній заміні фізично зношених магістральних стояків та переході на сучасну систему заземлення TN-C-S. Це технічне рішення дозволяє розділити робочі та захисні струми, що є необхідною

умовою для коректної роботи сучасних засобів захисту. Для підвищення надійності та довговічності мережі проєктом передбачено повну відмову від алюмінієвих провідників у групових мережах квартир на користь мідних кабелів з ізоляцією, що не підтримує горіння та має низьке димоутворення.

Впровадження комплексної системи захисту. Реалізовано багаторівневу концепцію захисту, яка включає не лише автоматичне вимикання живлення при коротких замиканнях, але й захист від специфічних аварійних режимів. Вперше для даного об'єкта передбачено обов'язкове встановлення у квартирних щитах реле напруги, що захищає дороговартісну побутову техніку від перепадів напруги в мережі, та пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ), які гарантують захист людей від ураження струмом навіть при прямому дотику до струмоведучих частин.

Підвищення рівня безпеки та інфраструктурна модернізація. Розроблено комплекс інженерних заходів для захисту будівлі та її мешканців від зовнішніх та внутрішніх загроз. Спроектовано високоефективний контур захисного заземлення та систему блискавкозахисту, що є критично важливим для збереження електронного обладнання. Крім того, проєктом передбачено створення окремих захищених ліній живлення для систем життєзабезпечення та безпеки: відеоспостереження, домофонії, інтернет-обладнання та аварійного евакуаційного освітлення, що значно підвищує комфорт та безпеку проживання.

Інноваційна складова та енергонезалежність. Важливою особливістю роботи є розробка проєкту інтеграції в мережу будинку гібридної сонячної електростанції потужністю 30 кВт. Запропоноване рішення з використанням сучасної системи накопичення енергії на базі літій-залізо-фосфатних акумуляторів дозволяє трансформувати будинок у частково енергонезалежний об'єкт. Це забезпечує безперебійну роботу критичної інфраструктури (ліфтів, насосів водопостачання, зв'язку) під час тривалих відключень електроенергії, що є надзвичайно актуальним в сучасних умовах.

Енергоефективність та екологічність. Запропоновані заходи з модернізації системи освітлення (перехід на LED-технології з автоматичним керуванням) у

комплексі з власною сонячною генерацією дозволяють радикально знизити споживання електроенергії з зовнішньої мережі на загальнобудинкові потреби. За розрахунками, це дозволить скоротити обсяг споживання на 60–80% у річному вимірі, що має позитивний екологічний ефект та сприяє зменшенню вуглецевого сліду будівлі.

Техніко-економічна ефективність. Виконане техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність інвестицій у запропоновану модернізацію. Попри значні капітальні вкладення, термін окупності енергоефективної складової проєкту становить прийнятний період (близько 6 років). При цьому головним результатом реалізації проєкту є не лише пряма фінансова вигода, а й забезпечення нормативного рівня безпеки життя мешканців та підвищення капіталізації нерухомості за рахунок покращення інженерної інфраструктури.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про ринок електричної енергії»: від 13.04.2017 № 2019-VIII // Відомості Верховної Ради України. 2017. № 27-28. Ст. 312.
2. Кодекс систем розподілу: затв. Постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 310. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18> (дата звернення: 10.12.2024).
3. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 143 с.
4. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ: Мінрегіон України, 2018. 133 с.
5. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Київ: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
6. ДСТУ EN 60898-1:2019. Електричне приладдя. Вимикачі автоматичні для захисту від надструмів побутової та аналогічної призначеності. Частина 1: Вимикачі автоматичні для змінного струму. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020.
7. ДСТУ EN 62305-3:2012. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей. Київ: Мінекономрозвитку України, 2012.
8. Johnson A., Smith B. Residential Electrical Grid Modernization: Challenges and Solutions within Smart City Framework. IEEE Transactions on Smart Grid. 2021. Vol. 12, Issue 4. P. 34–40. (Scopus)
9. Petrenko O., Vlasenko T. Improvement of energy efficiency in multi-apartment buildings through hybrid renewable energy systems integration. Energy Reports. 2022. Vol. 8. P. 112–118. (Web of Science)
10. Сіньков В.Г. Електропостачання житлових та громадських будівель: навч. посіб. Київ: Каравела, 2018. 288 с.
11. Липчанський М.В. Реконструкція міських електричних мереж: проблеми та шляхи вирішення. Енергетика та електрифікація. 2020. № 4. С. 15–21.

- 12.Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.
- 13.Сукманюк І.М. Вибір та експлуатація пристроїв захисного вимкнення в електроустановках будівель. Вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2019. Вип. 309. С. 145–152.
- 14.ДСТУ 4113-2001. Апаратура розподілення та керування низьковольтна. Частина 1. Загальні правила. Київ: Держстандарт України, 2002.
- 15.Каталог продукції «Одескабель» 2024. Силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену. URL: <https://odeskabel.com> (дата звернення: 10.12.2024).
- 16.Технічна документація на реле напруги ZUBR D63t. DS Electronics. URL: <https://ds-electronics.com.ua> (дата звернення: 11.12.2024).
- 17.Гібридні інвертори Deye: посібник з проектування систем накопичення енергії. URL: <https://deye.com/hybrid-inverter> (дата звернення: 11.12.2024).
- 18.Онищенко В.О. Підвищення пожежної безпеки електроустановок житлового сектору. Пожежна безпека: теорія і практика. 2021. № 28. С. 56–62.
- 19.Кириленко О.В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
- 20.Рекомендації щодо встановлення сонячних електростанцій для домогосподарств. Держенергоефективності України. Київ, 2023. 24 с.
- 21.ДСТУ 7234:2011. Дизайн та ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки. Київ: Держспоживстандарт України, 2012.
- 22.ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2016. Електромагнітна сумісність. Частина 3-2. Норми емісії гармонік струму.
- 23.ДБН В.2.5-24:2012. Електрична кабельна система опалення. Київ: Мінрегіон України, 2012.
- 24.НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ, 1998.
- 25.Козирський В.В., Капульцевич В.В. Електропостачання підприємств і населених пунктів: підручник. Київ: Аграрна освіта, 2015. 559 с.

- 26.Гриб О.Г., Соколов С.О. Показники якості електричної енергії та їх контроль: навч. посібник. Харків: ХНАМГ, 2011. 180 с.
- 27.Жаркін А.Ф. Якість електроенергії в сучасних системах електропостачання. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2019. Вип. 52. С. 14–22.
- 28.Денисенко В.А. Відновлювані джерела енергії: навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 230 с.
- 29.Шидловський А.К., Кузнецов В.Г. Підвищення якості енергії в електричних мережах. Київ: Наукова думка, 2005. 380 с.
- 30.Орловська Ю.В. Енергоефективність у житловому секторі: європейський досвід та українські реалії. *Економічний вісник*. 2020. № 3. С. 88–95.
- 31.Будіщев М.С. Електропостачання: Проектування та розрахунок. Київ: Вища школа, 2013. 255 с.
- 32.ДСТУ EN 61643-11:2015. Пристрої захисту від перенапруг низьковольтні. Частина 11. Пристрої захисту для низьковольтних систем розподілу електроенергії.
- 33.Василенко В.В. Аналіз аварійності в розподільчих електричних мережах напругою 0,38 кВ. *Енергетика та автоматика*. 2018. № 4. С. 45–52.
- 34.Мазуренко Л.І. Автономні джерела живлення на основі відновлюваної енергії для житлових будинків. *Відновлювана енергетика*. 2021. № 1. С. 12–19.
- 35.Тронько В.В. Вибір перерізу кабелів у сучасних мережах з нелінійним навантаженням. *Електротехніка та електроенергетика*. 2019. № 2. С. 33–38.
- 36.Хоменко І.В. Застосування диференційних автоматів для підвищення електробезпеки. *Промислова безпека*. 2017. № 5. С. 20–24.
- 37.Поліщук С.Й. Експлуатація електрообладнання житлових будівель: практичний довідник. Львів: Світ, 2016. 190 с.
38. ДСТУ EN 50575:2018. Кабелі силові, контрольні та зв'язку. Кабелі для загального застосування у будівельних спорудах.
- 39.Каталог обладнання «Hager» 2024. Модульна апаратура захисту. URL: <https://hager.ua> (дата звернення: 12.12.2024).

40.Технічний паспорт на літій-залізо-фосфатні акумулятори Pylontech US3000C.

41.Марченко О.І. Економічна ефективність впровадження «розумних» мереж у житлово-комунальному господарстві. *Економіка і прогнозування*. 2022. № 1. С. 101–112.

42.Савченко Д.О. Проблеми сумісності старого електрообладнання з сучасними стандартами. *Вісник ХНТУ*. 2020. № 3(74). С. 56–60.

43.Kromer J. *Solar Energy Storage Systems: Engineering Design*. New York: Elsevier, 2019. 210 p.

44.Bollen M. *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. IEEE Press, 2000.

45.IEC 60364-4-41. Low-voltage electrical installations - Part 4-41: Protection for safety - Protection against electric shock.

46.Лисецька Н.М. Обґрунтування реконструкції внутрішньобудинкових мереж для переходу на електроопалення. *Комунальне господарство міст*. 2018. Вип. 140. С. 77–83.

47.ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.

48.Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії. Затв. Наказом Міненерговугілля від 17.01.2002 № 19 (зі змінами).

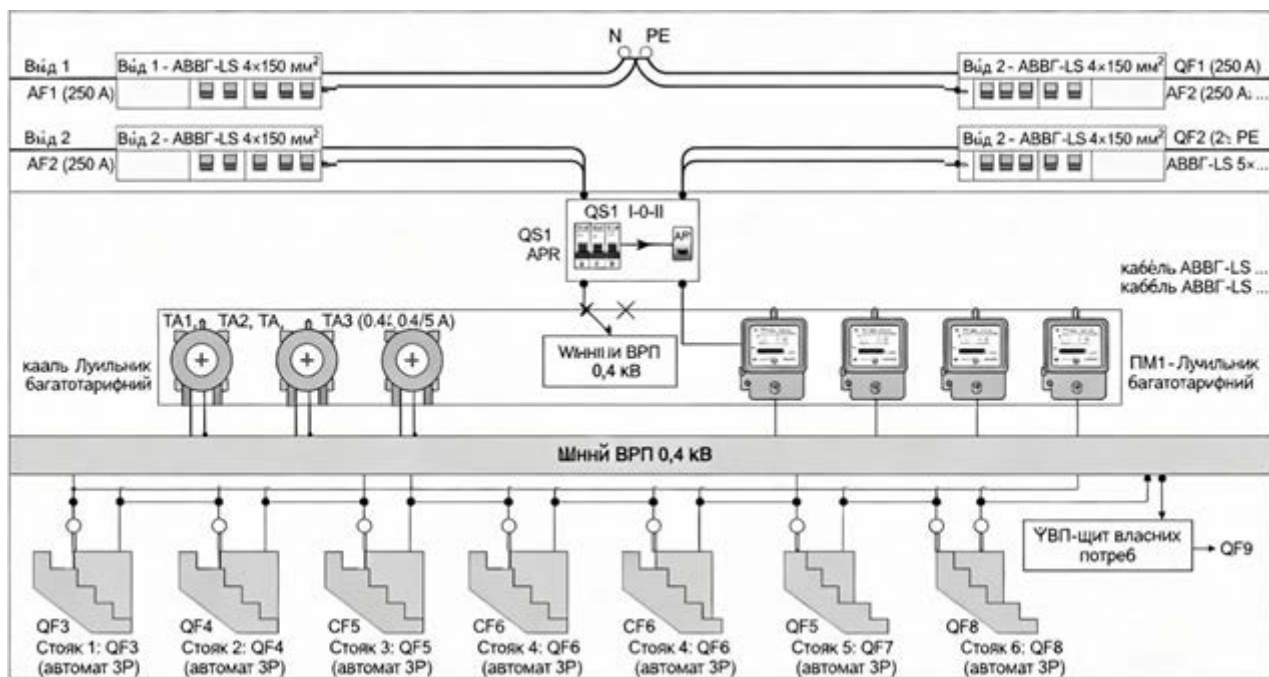
49.Інструкція з влаштування блискавкозахисту будівель і споруд (РД 34.21.122-87). (Використовується як довідковий матеріал).

50.Плавський В.І. Техніка високих напруг в системах електропостачання. Київ: КПІ, 2014.

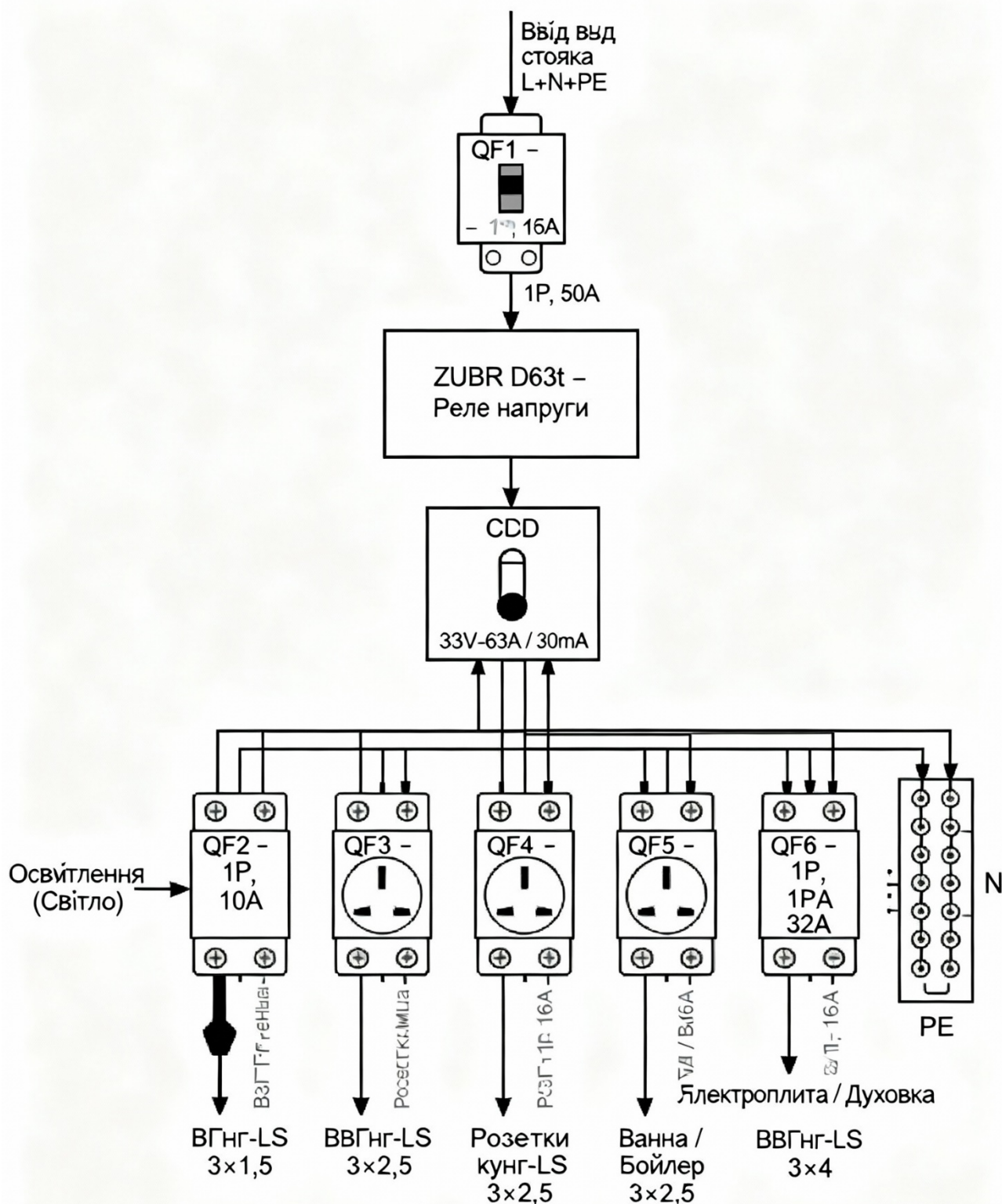
## ДОДАТКИ

## Додаток А

## СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА ОДНОЛІНІЙНА ВРП ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ



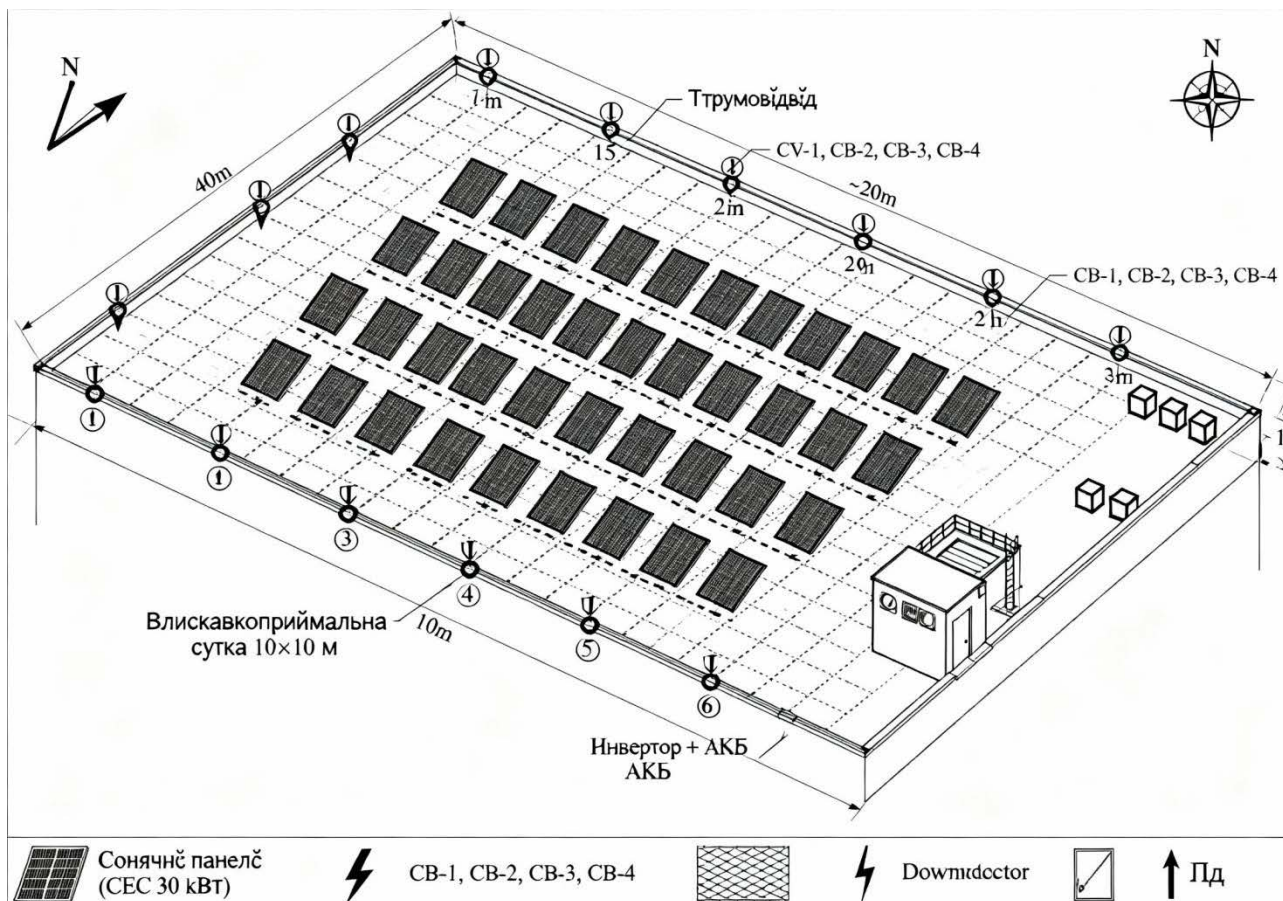
## СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА КВАРТИРНОГО ЩИТКА



## ПЛАН РОЗТАШУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ НА ТИПОВОМУ ПОВЕРСІ



## ПЛАН РОЗМІЩЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ТА СИСТЕМИ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ НА ПОКРІВЛІ



## Додаток Е

## СПЕЦИФІКАЦІЯ ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

№ з/п	Найменування та технічна характеристика	Тип, марка	Од. вим.	К-сть	Примітка
1	Кабельно-провідникова продукція				
1.1	Кабель силовий з алюмінієвими жилами, 4x150 мм <sup>2</sup>	АВВГнг-LS	м	180	Ввід
1.2	Кабель силовий з мідними жилами, 3x1,5 мм <sup>2</sup>	ВВГнг-LS	м	4500	Освітлення
1.3	Кабель силовий з мідними жилами, 3x2,5 мм <sup>2</sup>	ВВГнг-LS	м	6200	Розетки
1.4	Кабель силовий з мідними жилами, 3x4 мм <sup>2</sup>	ВВГнг-LS	м	1200	Силові
2	Щитове обладнання та захист				
2.1	Автоматичний вимикач 1Р, 50А, хар-ка С, 6кА	Hager MC150A	шт.	108	Ввід кв.
2.2	Реле напруги 63А, однофазне	ZUBR D63t	шт.	108	Захист
2.3	Пристрій захисного вимкнення (ПЗВ) 2Р, 63А, 30мА, А	Hager CCA263D	шт.	108	Диф. захист
2.4	Автоматичний вимикач 1Р, 16А, хар-ка В, 6кА	Hager MB116A	шт.	540	Групові

## Продовження Додаток Е

3	Освітлення				
3.1	Світильник LED з датчиком руху, 10 Вт	Eurolamp	шт.	54	МЗК
3.2	Світильник аварійний акумуляторний	Євросвітло SFT-LED-30	шт.	27	Евакуація
3.3	Прожектор світлодіодний вуличний, 50 Вт, IP65	Videx	шт.	3	Вулиця
4	Сонячна електростанція				
4.1	Фотоелектричний модуль, 550 Вт	Ja Solar	шт.	56	Покрівля
4.2	Гібридний інвертор, 30 кВт, 3-ф	Deye SUN-30K	шт.	1	Техповерх
4.3	Акумуляторна батарея LiFePO4, 3.5 кВт·год	Pylontech US3000C	шт.	9	Накопичення