

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«__» _____ 2025 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Системи забезпечення споживачів електричною енергією

на тему: Модернізація системи електропостачання багатоповерхової житлової будівлі

Виконав :

студент IV курсу, групи ОЕ-11

Маїталір Ярослав Русланович _____

Керівник:

к.т.н., доц. Черкашина Галина Ігорівна _____

Консультанти:

Охорона праці та пожежна безпека д.т.н., проф.Третьякова Л.Д. _____

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль _____

(назва розділу)

пров. інженер Прокопенко І.Д. _____

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Системи забезпечення споживачів електричною енергією

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Машталіру Ярославу Руслановичу

1. Тема проєкту «Модернізація системи електропостачання багатоповерхової житлової будівлі»,

керівник проєкту к.т.н., доц. Черкашина Галина Ігорівна, затверджені наказом по університету від «23» травня 2025 р. №1698-с

2. Термін здачі студентом закінченого проєкту “13” червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту _____

_____ Перелік
розділів, які мають бути розроблені

а) електрична частина: - _____

б) охорона праці та пожежна безпека:- _____

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ (частина)	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Релейний захист та автоматика</i>	<i>к.т.н., доц. Калінчик В.П.</i>		
<i>Розрахунки токів к.з.</i>	<i>к.т.н., доц. Бєлоха Г.С.</i>		
<i>Охорона праці та пожежна безпека</i>	<i>д.т.н., проф. Третьякова Л.Д.</i>		

7. Дата видачі завдання “22” травня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК

виконання дипломного проєкту

студентом Машталіром Ярославом Руслановичем

(прізвище, ініціали)

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту	Позначки керівника про виконання завдань
	Розрахунок електричної частини	20.05.-05.06.25	
	Розрахунок релейної частини		
	Розрахунок токів короткого замикання		
	Розрахунок частини охорони праці та пожежної безпеки		
	Підготовка графічного матеріалу	10.06.-13.06.25	
	Захист дисертації	18.06.24	

Студент
Керівник проєкту

Ярослав Машталір
Галина Черкашина

РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається з 102 сторінок, 27 рисунку та 24 таблиць. Мета проекту: розробка проекту мережевої СЕС для багатоповерхового будинку в Київській області. Задачі: розглянути методи проектування СЕС, розрахунок та вибір обладнання, запропонувати схему компоновки СЕС, електричну схему і схему приєднання її до мережі, оцінити окупність СЕС, спроектувати заходи з безпечного монтажу та експлуатації СЕС. Ключові слова: СЕС (сонячна електростанція), ФЕС (фотовольтаїчна електрична станція), «Зелений тариф», ВДЕ (відновлювані джерела енергії), ВЕ (відновлювана енергетика).

REPORT

The bachelor's project consists of: 102 pages, 27 figures and 24 tables. The purpose of the project: to develop a project for a networked solar power plant for a multi-storey building in the Kyiv region. Tasks: to consider the design methods of a solar power plant, calculation and selection of equipment, to propose a layout scheme for a solar power plant, an electrical diagram and a scheme for connecting it to the network, to assess the payback of a solar power plant, to design measures for the safe installation and operation of a solar power plant. Keywords: solar power plant (solar power plant), photovoltaic power plant (photovoltaic power plant), "Green tariff", renewable energy sources (RES), renewable energy (RE).

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;

НВДЕ – нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії;

СЕС – сонячна електростанція;

САЕС – сонячна аеростатична електростанція;

ЛЕП – лінії електропередач;

ЄС – Європейський Союз;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку енергії;

ФЕМ – фотоелектричний модуль;

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		7

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1 Опис об’єкту	11
1.2 Огляд нормативних документів України щодо порядку проектування системи електропостачання житлових будинків ...	11
1.3 Основні пункти щодо проектування систем електропостачання житлових будинків.....	20
1.4 Нормативна база.....	26
Висновок до розділу	27
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	29
2.1 Вибір освітлювального обладнання з урахуванням характеристик приміщення, нормативного рівня освітлення, рівня зорових робіт у цеху	29
2.2 Розрахункові навантаження цивільних об’єктів	42
2.3 Вибір перерізу ліній низької напруги, що живить житлові та громадські будинки	48
2.4 Розрахунок навантаження на шинах 10 кВ центра живлення ...	51
2.5 Вирішення задачі компенсації реактивної потужності	52
2.6 Розрахунок струмів короткого замикання	52
2.7 Релейний захист та автоматика	67
2.8 Умови вибору плавких запобіжників	71
Висновок до розділу	76
РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ	77
3.1 Вибір та обґрунтування обладнання сонячної електростанції..	78
3.2 Розрахунок та оцінка ефективності сонячної електростанції ..	81
3.3 Схематичні рішення та розміщення обладнання	83
3.4 Переваги та виклики впровадження СЕС.....	85
Висновок до розділу	86

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОТАЧАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ	88
4.1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	88
4.2 АНАЛІЗ УМОВ ПРАЦІ	90
4.3 ХАРАКТЕРИСТИКА УМОВ ПРАЦІ ТА ФАКТОРИ РИЗИКУ	91
4.4 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ З ОБМЕЖЕННЯ ШКІДЛИВИХ ЧИННИКІВ	93
4.5 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ	95
4.6 ВИБІР ЗАХОДІВ ТА ЗАСОБІВ З ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ	95
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ	97
ВИСНОВОК	100
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	101

ВСТУП

Електропостачання є однією з фундаментальних інженерних систем, що забезпечує життєдіяльність сучасних багатоповерхових будівель. Від надійності, безпеки та ефективності цієї системи залежить комфорт мешканців, стабільність роботи обладнання та загальна енергетична безпека будівлі. В умовах стрімкого технологічного прогресу, зростання вартості енергоресурсів та посилення екологічних вимог, дослідження та впровадження прогресивних засад улаштування систем електропостачання набувають особливої актуальності. Оптимізація використання електричної енергії може бути досягнута завдяки належним проектним та монтажним рішенням. Електроустановка здатна забезпечити необхідний рівень сервісу та безпеки при мінімальному споживанні електроенергії. Проектувальники розглядають це як загальну вимогу своїх процедур проектування з метою забезпечення найкращого використання електричної енергії. На додаток до багатьох параметрів, що враховуються при проектуванні електроустановок, сьогодні більша увага приділяється зменшенню втрат у системі та її використанні. Тому проектування всієї установки має враховувати вхідні дані від користувачів, постачальників та енергопостачальних компаній. Оптимізація використання електроенергії базується на управлінні енергоефективністю, яке враховує ціну електроенергії, її споживання та адаптацію в реальному часі. Ефективність перевіряється шляхом вимірювання протягом усього життєвого циклу електроустановки. Це допомагає виявити можливості для будь-яких покращень та коригувань. Покращення та коригування можуть бути впроваджені шляхом перепроєктування або заміни обладнання. Метою є розробка ефективної електроустановки, яка дозволяє здійснювати процес енергоменеджменту відповідно до потреб користувача та прийняттого рівня інвестицій.

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	10
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Опис об'єкту

Об'єктом проектування є багатоквартирний житловий будинок, розташований в передмісті м. Київ. Будівля входить до складу сучасного житлового комплексу й характеризується типовими архітектурно-конструктивними та інженерними рішеннями. На рисунку 1.1 показаний зовнішній вигляд будівлі.



Рисунок 1.1 – Об'єкт дослідження

Будинок має 9 поверхів, підвальне технічне приміщення та плоский дах, на якому розташовані елементи інженерних систем. Геометричні характеристики даху показані на рисунку 1.2.

					ОЕ-11.19-013-ПЗ				
Вим	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.					Відомості про об'єкт дослідження	Літ	Аркуш	Аркушів	
Перевір.								10	
Реценз.						ІЕЕ, гр. ОЕ-11			
Н. Контр.									
Затвер.									

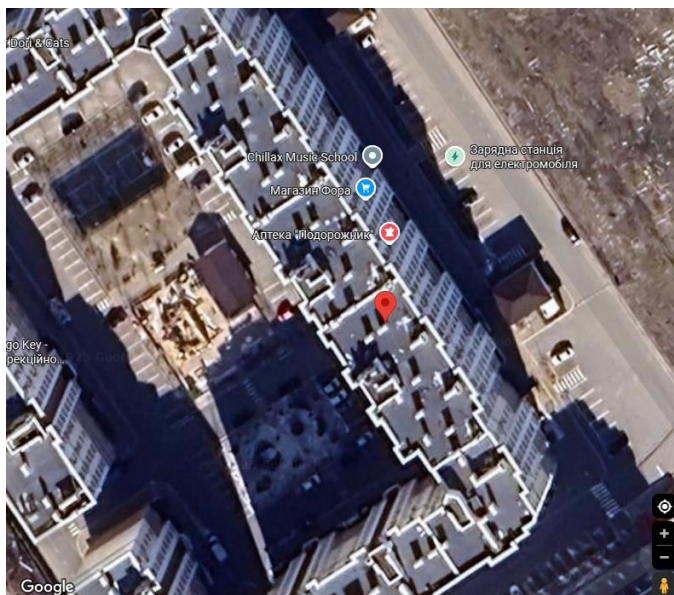


Рисунок 1.2 – Розташування даху багатоповерхової будівлі

Конструктивна схема виконана за монолітно-каркасною технологією з заповненням зовнішніх стін газоблоками. Перекриття – залізобетонні, фундамент – стрічковий.

У будинку розташовано 72 квартири, загальна кількість мешканців становить орієнтовно 200 осіб. На першому поверсі розміщені допоміжні приміщення: ліфтовий вузол, колясочна, диспетчерська, а також приміщення під комерцію. У підвалі розташовано інженерне обладнання – електрощитова, вводи водопостачання та каналізації, вентиляційне обладнання; комори. Будівля забезпечена усіма необхідними інженерними системами, включно з системою електропостачання, яка передбачає живлення квартир, комерційних приміщень, загальнобудинкових споживачів – ліфтів, насосного обладнання, вентиляції, освітлення місць загального користування, охоронної та пожежної сигналізації.

Електропостачання будинку здійснюється від зовнішньої кабельної лінії напругою 0,4 кВ, яка підключена до комплектної трансформаторної підстанції, розташованої на прибудинковій території. Електроенергія вводиться у будівлю через ввідно-розподільчий пристрій (ВРП), з якого живляться квартирні стояки та електричні мережі загального призначення. Споживання

електроенергії у будинку розподіляється за двома напрямками: індивідуальні квартирні лінії, які обліковуються через персональні лічильники, та загальнобудинкові мережі, що мають окремий облік. Розрахункове пікове навантаження становить 120 кВт.

Опалення в будинку індивідуальне. Кожна квартира обладнана двоконтурним газовим котлом.

1.2 Огляд нормативних документів України щодо порядку проєктування системи електропостачання житлових будинків

Модернізація системи електропостачання багатоповерхової житлової будівлі є важливою складовою сталого розвитку міського житлового фонду. Враховуючи зростаючі вимоги до енергоефективності, стабільності електропостачання, інтеграції з відновлюваними джерелами енергії та цифровими технологіями, оновлення існуючих електричних установок стає необхідністю. Стандарт IEC 60364-8-1:2014 «Low-voltage electrical installations – Part 8-1: Energy efficiency» є міжнародною базою для впровадження системного підходу до зменшення споживання енергії [1].

Основними завданнями модернізації системи електропостачання багатоповерхового будинку є [1]:

- зниження витрат електроенергії шляхом впровадження енергоефективних рішень;
- підвищення надійності та безперебійності електропостачання;
- оптимізація розміщення трансформаторів та розподільчих щитів;
- встановлення сучасних приладів контролю та вимірювання;
- можливість інтеграції локальних джерел виробництва та зберігання енергії (сонячні панелі, батареї).

Методика розміщення обладнання

Однією з ключових методик стандарту IEC 60364-8-1:2014 є методика барицентру (barycentre), яка дозволяє розрахувати оптимальне розміщення трансформаторів і щитів відносно навантажень. Зменшення довжин кабелів і втрат у проводах значно покращує загальну енергоефективність. У багатоповерхових житлових будівлях це досягається за допомогою тривимірного аналізу розташування навантажень на різних поверххах [1].

Приклад впливу розміщення обладнання на втрати зведено в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Приклад впливу розміщення обладнання на втрати [1]

Розміщення обладнання	Очікувані втрати, %
На першому поверсі, далеко від центру навантаження	15–20
У центрі навантаження (метод барицентру)	5–10

Системи вимірювання та контролю

Стандарт IEC 60364-8-1 вимагає впровадження приладів для вимірювання споживання енергії, напруги, струму, потужності, гармонік. Це забезпечує постійний контроль, оптимізацію витрат, своєчасне виявлення відхилень і аварійних режимів. Обов'язковим є встановлення точних лічильників на головному вводі та бажано — на окремих стояках або зонах (мешах) [1].

Категоризація та керування навантаженнями

Всі навантаження у системі електропостачання мають бути класифіковані відповідно до їх важливості та можливості відключення [1]:

- критичні: ліфти, аварійне освітлення, вентиляція,
- основні: освітлення квартир, розетки, кухня,
- керовані: зарядка авто, обігрів, кондиціонування.

Це дозволяє ефективно розподіляти енергію, застосовувати систему load shedding та забезпечити безперервне живлення критичних споживачів.

Життєвий цикл енергоефективності

ІЕС 60364-8-1:2014 передбачає енергоефективний підхід протягом усього життєвого циклу системи [1]:

- аудит: виявлення точок споживання,
- встановлення обладнання: ефективні трансформатори, приводи, лічильники,
- оптимізація: керування навантаженнями, автоматизація,
- моніторинг: аналіз, виявлення втрат, техобслуговування.

Модернізація електропостачання багатоповерхової житлової будівлі відповідно до ІЕС 60364-8-1:2014 дозволяє досягти значної економії, підвищити надійність та відповідність сучасним вимогам сталого розвитку. Енергетичний аудит, впровадження систем керування, інтеграція відновлюваних джерел енергії та гнучка структура навантажень — усе це є основою розумної та енергоефективної інженерії житлових будівель [1].

При проектуванні електрообладнання будинків та споруд, окрім положень цих Норм, слід також керуватись вимогами відповідних розділів ПУЕ [2], розділів 2, 3, 4.1, 4.2, 9, НПАОП 40.1-1.32 [3] та вимогами інших чинних нормативних документів. До електрообладнання унікальних будинків та споруд можуть ставитись додаткові вимоги. Вимоги цих Норм є обов'язковими для юридичних та фізичних осіб – суб'єктів інвестиційної діяльності на території України незалежно від форм власності та відомчої належності. Ці Норми не поширюються на проектування мобільних (інвентарних) будинків з металу або з металевим каркасом для вуличної торгівлі і побутового обслуговування; на проектування спеціальних електроустановок в лікувально-профілактичних закладах, наукових установах, закладах культури та дозвілля; на проектування електрообладнання санітарно-технічних, протипожежних установок, ліфтів, підйомників та

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	15
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

іншого технологічного обладнання; електроустановок котельних, бойлерних, насосних водопостачання і каналізації, ДЕС, а також електроустановок, які за своїми характеристиками повинні бути віднесені до електроустановок промислових підприємств.

При проектуванні електричних мереж житлових будинків для індивідуальних забудовників слід згідно з завданням передбачати можливість живлення електроприймачів надвірних споруд, насосів артсвердловин, насосів системи каналізації, приводу в'їзних воріт, освітлення присадибної ділянки тощо. На вводі в будинок повинні установлюватись ВП, ВРП, ГРЩ. У будинку можуть установлюватись один або декілька ВП чи ВРП. За наявності в будинку декількох відокремлених у адміністративногосподарському відношенні споживачів у кожного з них рекомендується установлювати самостійні ВП або ВРП, які можуть живитися від загального ВРП чи ГРЩ окремими лініями або бути приєднаними до загальної лінії живлення. Від ВРП, ГРЩ допускається також живлення споживачів, розташованих в інших будинках, за умови, що ці споживачі пов'язані функціонально. При відгалуженні від ПЛ з розрахунковим струмом до 25А ВП або ВРП на вводі в будинок можна не установлювати, якщо функцію ВП виконує груповий щиток. Ця ділянка мережі повинна виконуватись самонесучим кабелем. При цьому слід забезпечити надійне контактне з'єднання з проводами ПЛ. Перед вводами в будинки чи споруди не допускається установлювати додаткові кабельні ящики для розподілу межі експлуатаційної відповідальності між споживачем і електропередавальною організацією. Такий розподіл повинен бути виконаний на ВП, ВРП або ГРЩ. У трифазній розподільній мережі допускається для різних РП і щитків, що живлять одно фазні споживачі, мати спільні N-, а також РЕ-провідники (п'ятипровідна мережа), які прокладаються безпосередньо від ВРП. У колах РЕ- і PEN-провідників забороняється мати комутаційні та безконтактні елементи, за винятком випадків живлення електроприймачів за допомогою штепсельних розеток. Допускаються з'єднання, які можуть бути розібрані за допомогою інструменту, а також

з'єднання, спеціально призначені для цих цілей. Допускається одночасне відключення усіх провідників на вводі в індивідуальний житловий будинок (котедж, дачний будиночок), що живляться однофазними відгалуженнями від ПЛ. При цьому розділення PEN-провідників на PE- та N-провідники повинно бути виконано до ввідного захисно-комутаційного апарата [1].

Схеми електричних мереж житлових будинків слід виконувати виходячи з того, що [1]:

а) в разі живлення квартир і силових електроприймачів (ліфтів, насосів, вентиляторів тощо) від загальної секції ВРП необхідно забезпечити рівень відхилення і коливання напруги на затискачах ламп у квартирах при вмиканні силових електроприймачів нижче за регламентовані ГОСТ 13109 [4];

б) кількість горизонтальних ліній живлення квартир повинна бути мінімальною.

До однієї лінії живлення дозволяється приєднувати декілька вертикальних ділянок (стояків). У будинках понад 5 поверхів на відгалуженнях до кожного стояка слід встановлювати комутаційний апарат, поєднаний з апаратом захисту (автоматичний вимикач). Лінії живлення вентиляторів димовидалення і підпору повітря, встановлені в одній секції будинку, починаючи від щита або окремої панелі протипожежного обладнання, повинні бути самостійними для кожного вентилятора або шафи, від якої живляться декілька вентиляторів. При цьому живлення відповідних вентиляторів або шаф у різних секціях будинку рекомендується здійснювати по одній лінії незалежно від кількості секцій, підключених до ВРП. Живлення освітлення сходових кліток, поверхових коридорів, вестибюлів, холів та інших приміщень будинку поза квартирами, номерних знаків і покажчиків пожежних гідрантів, вогнів світлової огорожі і домофонів повинно виконуватись лініями безпосередньо від ВРП. При цьому лінії живлення домофонів і вогнів світлової огорожі повинні бути самостійними. Живлення електрообладнання торгових підприємств, підприємств побутового обслуговування, офісів і інших приміщень нежилого фонду, вбудованих в житлові будинки, як правило,

здійснюють від власних ВРП. Для розподілу електроенергії по висоті висотних будівель рекомендується переважне застосування шинопроводів. У громадських будинках та спорудах, адміністративних і побутових будинках промпідприємств рекомендується до однієї лінії живлення приєднувати декілька стояків мережі освітлення. При цьому на початку кожного стояка, від якого живляться три і більше групових щитків, слід встановлювати комутаційний апарат, поєднаний з апаратом захисту (автоматичний вимикач). Якщо стояк живиться окремою лінією, встановлювати комутаційний апарат на початку стояка не потрібно. У громадських будинках та спорудах, адміністративних і побутових будинках промпідприємств лінії живлення мережі робочого і аварійного освітлення, освітлення вітрин, реклами і ілюмінації, а також лінії живлення холодильного обладнання підприємств торгівлі і громадського харчування повинні бути самостійними, починаючи від ВРП, ГРЩ або РП, які живляться від стояків, що виконані комплектним шинопроводом. По одній внутрішньо-будинковій лінії живлення дозволяється жити не більше чотирьох ліфтів, розміщених у різних, не пов'язаних між собою сходових клітках і холах. При цьому необхідно до ВП кожного ліфта встановлювати вимикальний захисний апарат. За наявності в сходовій клітці або в холі двох і більше ліфтів одного призначення вони повинні житися від двох ліній, приєднаних безпосередньо до ВРП або ГРЩ. У цих випадках кількість ліфтів, приєднаних до однієї лінії, не обмежується. На ВРП або ГРЩ для можливості відключення інших електроприймачів будинку або споруди повинні бути передбачені окремі незалежні апарати. Розподіл електроенергії до силових розподільних щитів, РП та групових щитків електричного освітлення, як правило, здійснюють за магістральною схемою. Радіальні схеми, як правило, виконують для приєднання потужних електродвигунів, груп електроприймачів спільного технологічного призначення (наприклад, вбудованих харчоблоків, підприємств побутового обслуговування тощо) та споживачів I категорії надійності електропостачання. Живлення аварійного освітлення повинно бути незалежним від живлення робочого освітлення і

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	18
Змн.3	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

виконуватись при двох вводах у будинок або споруду від різних вводів, а при одному вводі – самостійними лініями, починаючи від ВРП, ГРЩ або РП, які живляться від стояків, що виконані комплектним шинопроводом. У громадських будинках та спорудах, адміністративних і побутових будинках промпідприємств, у приміщеннях непромислового призначення допускається живлення робочого освітлення і незалежно від нього аварійного освітлення від спільних ліній з електросиловим обладнанням або від РП. При живленні мережі освітлення від РП, до яких приєднані безпосередньо силові електроприймачі, мережа освітлення повинна підключатися до ввідних затискачів цих РП. При цьому повинні виконуватись вимоги відносно допустимих відхилень і коливань напруги в електричній мережі відповідно до ГОСТ 13109 [4]. Застосування для робочого і аварійного освітлення спільних групових щитків, а також установлення апаратів керування робочим і аварійним освітленням, за винятком апаратів допоміжних ланцюгів (наприклад, сигнальних ламп, ключів керування), в спільних шафах не допускається. Дозволяється живлення освітлення безпеки і евакуаційного освітлення від загальних щитків. При облаштуванні комп'ютерних робочих місць необхідно передбачати живлення комп'ютерних штепсельних розеток самостійними лініями, починаючи від РП, групового або квартирної щитка. Світлові покажчики евакуаційних та/або запасних виходів повинні бути приєднані до мережі аварійного освітлення. Світильники евакуаційного освітлення, світлові покажчики евакуаційних та/або запасних виходів, що мають автономні джерела живлення, незалежно від призначення будівлі в нормальному режимі можуть живитись від мереж будьякого освітлення, які не відключаються під час експлуатації будівлі. Живлення мереж освітлення і систем механізації банківських сховищ слід здійснювати із передсховищ. Ввід мережі освітлення і живлення систем механізації в сховищах у період експлуатації повинен передбачатись через відчинені двері гнучкими кабелями, які підключаються у передсховищі до штепсельних рознімачів. Живлення протипожежних установок і евакуаційного освітлення в житлових будинках,

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	19
Змн.3	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

що мають незадимлювані сходові клітки, слід виконувати від самостійного щита або окремої панелі. При цьому самостійний щит або окрема панель повинні приєднуватись до зовнішніх ліній живлення перед ввідними комутаційними апаратами ВРП, ГРЩ з улаштуванням АВР на самостійному щиті або панелі. Панелі щита протипожежних установок повинні мати червоне пофарбування. За наявності в будинках і спорудах ліфтів для транспортування пожежних підрозділів їх живлення слід виконувати від вказаного щита або панелі. Електроприймачі протипожежних установок, охоронної сигналізації та сигналізації загазованості незалежно від категорії надійності електропостачання будівлі повинні живитись від різних вводів, а при одному вводі ці електроприймачі повинні живитись двома лініями від одного вводу. Лінії живлення вказаних електроприймачів необхідно підключати після ввідних комутаційних апаратів до розподільних панелей ВРП або ГРЩ з улаштуванням АВР. При цьому відключення споживачів не повинно бути зв'язано з відключенням електроприймачів проти пожежних установок, охоронної сигналізації та сигналізації загазованості. У будинках, що відносяться до III категорії надійності електропостачання і живляться по одній лінії, резервне живлення протипожежної, охоронної та сигналізації загазованості слід виконувати від автономних джерел [1].

1.3 Основні пункти щодо проєктування систем електропостачання житлових будинків

Проектування системи електропостачання житлових будинків є одним із найвідповідальніших та найскладніших етапів усього будівельного процесу. Це не просто розведення дротів, а створення комплексної, безпечної, надійної та ефективної інженерної системи, яка має забезпечити комфорт та функціональність помешкань на десятиліття вперед. Сучасні житлові будинки, особливо багатоповерхові, характеризуються високим рівнем споживання електроенергії, наявністю великої кількості побутових приладів, систем "розумний дім", зарядних станцій для електромобілів та інших технологічних рішень, що вимагає переосмислення традиційних підходів до проектування.

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	20
Змн.3	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Враховуючи динаміку розвитку технологій та постійне зростання вимог до енергоефективності та екологічності, проектування систем електропостачання сьогодні є багатогранним завданням, що поєднує інженерну точність, нормативну відповідність та інноваційний підхід.

Основні етапи проектування системи електропостачання

Проектування системи електропостачання житлового будинку, як правило, здійснюється поетапно, забезпечуючи системність та логічність процесу [1]:

1.2.1. Збір вихідних даних та розробка Технічного завдання (ТЗ)

Цей початковий етап є визначальним для всього проекту. Він включає [1]:

- отримання технічних умов (ту) від енергопостачальної організації: Документ, що визначає точку підключення до зовнішньої мережі, дозволена приєднана потужність, категорію надійності електропостачання та інші ключові параметри,
- архітектурно-будівельні плани: Поверхові плани, розрізи, фасади, схеми внутрішніх комунікацій (водопровід, каналізація, вентиляція), що впливають на трасування кабелів та розміщення обладнання.
- відомості про споживачів електроенергії: Перелік побутових приладів, освітлювальних пристроїв, систем опалення, вентиляції, кондиціонування, ліфтів, насосів, систем безпеки та інших електроприймачів із зазначенням їхньої потужності та режиму роботи. Для типових квартир використовуються усереднені нормативні навантаження, для індивідуальних замовлень – детальний перелік,
- побажання замовника: Особливі вимоги до освітлення, розеток, автоматизації, систем резервного живлення, зарядних станцій для електромобілів тощо,
- технічне завдання (тз): Формування вичерпного документа, який узагальнює всі вихідні дані, визначає мету проекту, його обсяг, етапи, вимоги

до кінцевого результату, нормативну базу та відповідальних осіб. ТЗ є основою для подальшої роботи та дозволяє уникнути непорозумінь.

1.2.2. Виконання розрахунків

На цьому етапі виконуються ключові інженерні розрахунки, що визначають параметри системи [1]:

- розрахунок електричних навантажень: Визначення сумарних, розрахункових та максимальних навантажень для окремих квартир/приміщень, поверхів, секцій та будівлі в цілому. Враховуються коефіцієнти попиту та одночасності. Це дозволяє обґрунтовано визначити необхідну приєднану потужність,
- вибір перерізу кабелів та проводів: Визначення оптимального перерізу провідників для кожної групи електроприймачів та магістральних ліній з урахуванням розрахункових струмів, допустимих втрат напруги, умов прокладки (температура, спосіб монтажу) та вимог пожежної безпеки,
- розрахунок струмів короткого замикання: Необхідний для правильного вибору захисної апаратури, що здатна швидко відключити аварійний режим, запобігаючи пошкодженню обладнання та пожежі,
- розрахунок струмів однофазних замикань на землю: важливий для вибору та налаштування пристроїв захисного відключення (ПЗВ), що захищають людей від ураження електричним струмом,
- розрахунок та вибір засобів захисту: Визначення номінальних струмів автоматичних вимикачів, ПЗВ, вибір пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП).

1.2.3. Розробка принципів та робочих схем

На цьому етапі створюється графічне та текстове представлення системи [1]:

- принципові однолінійні схеми: відображають загальну структуру системи електропостачання від вводу до кінцевих споживачів, показуючи основне обладнання, захисні апарати та їхні номінали,

- поверхові плани електропостачання: розміщення електрощитів, розеток, вимикачів, освітлювальних приладів, трас кабелів та електроустановочних виробів на планах поверхів,
- схеми щитів: детальне розкреслення внутрішнього монтажу головних, поверхових та квартирних електрощитів,
- специфікації обладнання та матеріалів: Повний перелік всього необхідного обладнання, кабелів, проводів, електроустановочних виробів із зазначенням їхніх характеристик, кількості та виробників.

1.2.4. Узгодження та експертиза проекту

Розроблений проект підлягає обов'язковому узгодженню та експертизі для підтвердження його відповідності нормам та стандартам [1]:

- узгодження із замовником: підтвердження відповідності проекту його побажанням та технічному завданню,
- узгодження з енергопостачальною організацією: перевірка відповідності ту та вимогам до підключення,
- експертиза проекту: проведення незалежної експертизи проектної документації на відповідність усім чинним державним будівельним нормам, правилам пожежної безпеки, санітарним нормам тощо. Це є обов'язковим для багатьох видів об'єктів.

Ключові аспекти сучасного проектування систем електропостачання

Сучасне проектування систем електропостачання багатоповерхових житлових будівель виходить за рамки базових розрахунків і включає врахування низки критично важливих аспектів [1]:

Надійність електропостачання

Житлові будинки, залежно від своїх характеристик та наявності критично важливих споживачів (наприклад, пожежні насоси, системи димовидалення), можуть мати різні категорії надійності електропостачання [1]:

- резервування: забезпечення можливості живлення від декількох незалежних джерел (наприклад, два вводи від різних трансформаторних підстанцій),
- автоматичне введення резерву (авр): системи, що автоматично перемикають живлення на резервне джерело у разі зникнення напруги на основному,
- безперебійні джерела живлення (дбж): для життєво важливих систем (пожежна сигналізація, системи димовидалення, аварійне освітлення) може передбачатися встановлення дбж для короткочасного живлення,
- дизель-генераторні установки (дгу): Для забезпечення тривалого резервного живлення всієї будівлі або її критичних систем у разі тривалих відключень.

Безпека електроустановок

Пріоритетним є захист людей від ураження електричним струмом та запобігання пожежам [1]:

- захист від ураження електричним струмом: застосування пристроїв захисного відключення (пзв) з відповідними диференційними струмами, систем заземлення (tn-s, tn-c-s), систем додаткового зрівнювання потенціалів, що унеможливорює виникнення небезпечної напруги на металевих частинах обладнання,
- пожежна безпека: відповідність дбн в.1.1-7:2016 [5]. використання кабелів з низьким димо- та газовиділенням, що не поширюють горіння (наприклад, з маркуванням "нг-LS", "нг-HF"). Правильний вибір захисної апаратури від перевантажень та коротких замикань. Забезпечення необхідних відступів від горючих конструкцій.

Енергоефективність

Це один з ключових сучасних аспектів, що регулюється, зокрема, стандартом IEC 60364-8-1 "Low-voltage electrical installations – Part 8-1: Energy efficiency" [1].

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	24
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

- оптимізація споживання: використання енергоефективного обладнання (led-освітлення, вискоефективні ліфти, насоси з частотним регулюванням),
- системи енергоменеджменту: впровадження інтелектуальних систем обліку та моніторингу електроенергії (наприклад, schneider electric power monitoring expert), які дозволяють відстежувати споживання в реальному часі, аналізувати дані та виявляти можливості для економії,
- автоматизоване керування: встановлення датчиків руху, освітленості, таймерів для оптимізації роботи освітлення та інших систем,
- компенсація реактивної потужності: встановлення конденсаторних установок для зниження споживання реактивної потужності, що зменшує втрати в мережі та покращує коефіцієнт потужності.

Якість електроенергії

Сучасне електронне обладнання дуже чутливе до якості електроенергії [1]:

- забезпечення стабільних параметрів: проектування має передбачати стабільність напруги та частоти,
- фільтрація гармонічних спотворень: збільшення кількості нелінійних навантажень (імпульсні блоки живлення, led-драйвери) призводить до появи вищих гармонік, які можуть викликати перегрів обладнання та збої. проектування може включати активні або пасивні фільтри,
- захист від імпульсних перенапруг (пзіп): встановлення пристроїв, що захищають обладнання від перенапруг, спричинених блискавкою або комутаційними процесами в мережі.

Інтелектуалізація та автоматизація [1]:

- системи "розумний дім" та bms (building management systems): проектування електромережі з урахуванням можливості інтеграції систем централізованого управління освітленням, кліматом, безпекою, мультимедіа. це дозволяє дистанційно керувати приладами, оптимізувати роботу систем за сценаріями, підвищувати комфорт та енергоефективність.

- використання смарт-пристроїв: проектування розеток та вимикачів, сумісних з елементами "розумного дому".

Гнучкість та масштабованість [1]:

- можливість модернізації: система повинна бути спроектована таким чином, щоб у майбутньому можна було легко збільшити потужність, додати нові функції або замінити обладнання без кардинальних перебудов. це включає запас за пропускною здатністю кабельних трас та достатнє місце у щитових,

- адаптивність: передбачення можливості інтеграції нових технологій, таких як зарядні станції для електромобілів, системи акумулювання енергії або локальні відновлювані джерела енергії.

Заземлення та блискавкозахист [1]:

- надійна система заземлення: проектування контуру заземлення, що відповідає вимогам пue та забезпечує ефективний захист від ураження струмом та електромагнітних завад,

- блискавкозахист: встановлення зовнішніх та внутрішніх систем блискавкозахисту для захисту будівлі та її електроустановок від прямих ударів блискавки та вторинних її проявів.

Освітлення [1]:

- сучасні джерела світла: проектування освітлення з використанням led-світильників, які є енергоефективними та мають довший термін служби,

- системи керування освітленням: впровадження димування, датчиків присутності, датчиків освітленості для автоматичного регулювання рівня освітлення та економії енергії.

1.4 Нормативна база

Проектування систем електропостачання житлових будинків в Україні регулюється широким спектром нормативних документів, серед яких ключовими є [1]:

- Правила улаштування електроустановок [2]: Основний документ, що встановлює загальні вимоги до проектування, монтажу та експлуатації електроустановок.

- Державні будівельні норми (ДБН): Зокрема, ДБН В.2.5-23 "Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення", ДБН В.1.1-7:2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва".

- Державні стандарти України (ДСТУ): Наприклад, ДСТУ EN, що гармонізовані з європейськими стандартами, включаючи стандарти ІЕС.

- Міжнародні стандарти ІЕС: Особливо ІЕС 60364-8-1 щодо енергоефективності, а також інші частини серії ІЕС 60364, які є основою для багатьох національних норм.

Проектування сучасної системи електропостачання багатоповерхового житлового будинку – це складний, багатоступеневий процес, що вимагає глибоких знань у галузі електротехніки, нормативної бази, а також розуміння сучасних тенденцій у будівництві та енергетиці. Врахування таких аспектів, як надійність, безпека, енергоефективність, інтелектуалізація та гнучкість, є запорукою створення високоякісної системи, яка буде відповідати потребам мешканців, забезпечить довгострокову економічну вигоду та сприятиме сталому розвитку інфраструктури. Лише комплексний та відповідальний підхід дозволить створити електросистему, що буде служити надійно та ефективно протягом усього життєвого циклу будівлі.

Висновок до розділу

Проектування систем електропостачання житлових будинків, з урахуванням сучасних вимог енергоефективності, безпеки та інтеграції цифрових технологій, є складним та багатокомпонентним процесом, що регламентується широким спектром нормативних документів. Стандарт ІЕС 60364-8-1:2014 відіграє ключову роль у формуванні підходу до енергоефективного проектування, пропонуючи методи оптимізації

споживання електроенергії, зменшення втрат, впровадження засобів моніторингу та керування навантаженнями.

Розгляд барицентричної методики, принципів поділу навантажень, забезпечення надійності та гнучкості системи, а також інтеграції з відновлюваними джерелами енергії формує сучасну модель енергетичної інфраструктури житлового будинку. Успішна реалізація цих принципів потребує не лише технічної точності, а й відповідності чинним нормам, серед яких вагоме місце займають ПУЕ, ДБН, НПАОП та міжнародні стандарти ІЕС.

Таким чином, модернізація та проектування електропостачання житлових будинків мають здійснюватись на основі комплексного підходу, який поєднує технічну ефективність, нормативну відповідність і стратегічне бачення сталого розвитку міського середовища

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Вибір освітлювального обладнання з урахуванням характеристик приміщення, нормативного рівня освітлення, рівня зорових робіт у цеху

Вимоги до освітлення приміщення цеху промислового підприємства наведені в ПУЕ [2] в розділі 6 «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ».

Для створення належного світлового середовища важливо, щоб додатково до необхідного рівня освітленості задовольнялися кількісні та якісні показники освітлення, а саме:

- розподіл яскравості;
- засліпленість;
- спрямованість освітлення;
- кольоропередавання джерел світла;
- пульсація світлового потоку.

Значення рівня освітленості, рівномірності освітленості, індексу передачі кольору і коефіцієнта пульсації освітленості та інші якісні показники освітлювальних установок, види та системи освітлення мають відповідати вимогам чинних в Україні нормативних документів та санітарних норм і правил.

Світильники мають відповідати вимогам чинних норм пожежної безпеки, екології, санітарних норм і вимогам цих Правил.

Відповідно до вимог наведених в ПУЕ [2] будемо використовувати світлодіодні лінійні світильники (СЛВ). Для живлення освітлювальної системи використовується однофазна змінна напруга 220В.

Для аварійного освітлення рекомендовано застосовувати світильники з люмінесцентними та світлодіодними лампами. Світильники аварійного

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	29
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

освітлення повинні відрізнятися від світильників робочого освітлення згідно з ДБН В.2.5-28 [5].

Живлення світильників аварійного освітлення у виробничих і громадських будівлях і на відкритих площах має бути незалежним від живлення світильників робочого освітлення і виконуватися: у разі двох введів убудинок або споруду – від різних введів, у разі одного вводу – самостійними лініями, починаючи від увідного розподільного пристрою.

Евакуаційне освітлення має забезпечувати освітленість на підлозіголовних проходів і на сходах, не меншу ніж 1 лк, від газорозрядних і світлодіодних ламп. У виробничих будівлях без природного освітлення в приміщеннях, де одночасно можуть перебувати 20 осіб і більше, незалежно від наявності освітлення безпеки передбачають евакуаційне освітлення основних проходів і установа світлових покажчиків «Вихід», які автоматично перемикаються в разі припинення їх живлення на третє незалежне або автономне зовнішнє або місцеве джерело (акумуляторна батарея, дизель-генераторна установка тощо), яке не використовують у нормальному режимі для живлення робочого освітлення.

Згідно положень ДБН В.2.5-28:2018 [5] потрібно проводити розрахунок тавибір системи освітлення в цеху. Знаходимо вимоги до освітлення з нормативного документу:

- Мінімальне освітлення - $E_{min} = 200$ лк ;
- Експлуатаційне (робоче) освітлення - $E_{експ} = 300$ лк ;
- Характеристика зорової роботи: високої точності (III);
- Підрозряд зорової роботи: А;
- Коефіцієнт пульсації: <10%;

З ДБН В.2.5-28:2018 [5] у додатку В визначаємо клас чистоти приміщення. В ремонтному цеху є шліфувальні, обдираючі, заточувальні, фрезерувальні, свердлильні та токарні верстати, робота яких, так чи інакше, пов'язана з стружкою, пилом та іншими відходами виробництва. Тому буде доречним віднести приміщення до забруднених.

Розрахунок системи освітлення

Вихідні дані:

Типова схема розміщення світильників в розрізі

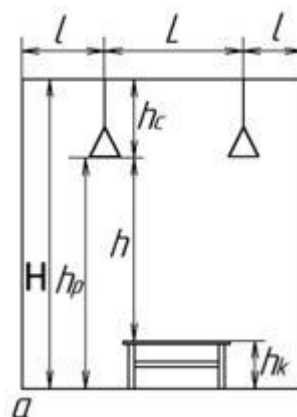


Рисунок 1.1 – План розміщення світильників загального освітлення

h_c – відстань від стелі до світильника;

h_k – відстань від підлоги до робочої поверхні (приймається $h_k = 0,8$ м);

h – відстань від світильника до робочої поверхні.

У приміщенні присутні мостові крани, тому світильники слід розміщувати не нижче нижнього пояса ферм перекриття, а обслуговувати їх зкранів належить із дотриманням вимог техніки безпеки. Тоді $h_c = 0$.

Висота підвісу над розрахунковою поверхнею:

$$h = H - h_k - h_c = 10 - 0,8 - 0 = 9,2 \text{ (м)}$$

Розмістимо світильники в шаховому порядку для створення рівномірного розподілу світла. Вибір відстані між світильниками залежить від світловіддачі світильника, висоти його підвісу над робочою поверхнею h .

Індекс приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)},$$

де A і B — довжина і ширина приміщення, м;

h — розрахункова висота, м.

$$i = \frac{33 \cdot 45}{9,2 \cdot (33 + 45)} = \frac{1485}{717,6} = 2,07$$

Необхідний потік кожного світильника:

$$\Phi = \frac{E_{\min} S K_3 z}{N \eta},$$

де $E_{\min}$ — мінімальна освітленість;

K_3 — коефіцієнт запасу (приймаємо $K_3 = 1,5$);

z — коефіцієнт нерівномірності $z \approx 1,1$;

S — площа приміщення, $S = A B = 33 \cdot 45 = 1485 \text{ м}^2$;

η — коефіцієнт використання світлового потоку (приймаємо $\eta = 50\%$);

N — кількість світильників, (шт.).

Відстань між світильниками:

$$L = \lambda h,$$

де λ – найвигідніша відстань між освітлювальними приладами для одержання найменшої нерівномірності розподілу освітленості на горизонтальній поверхні.

Для підприємств потрібно обирати криві К, Г та Д. Обираємо криву Г-1 в якій знаходимо $\lambda=0,91$.

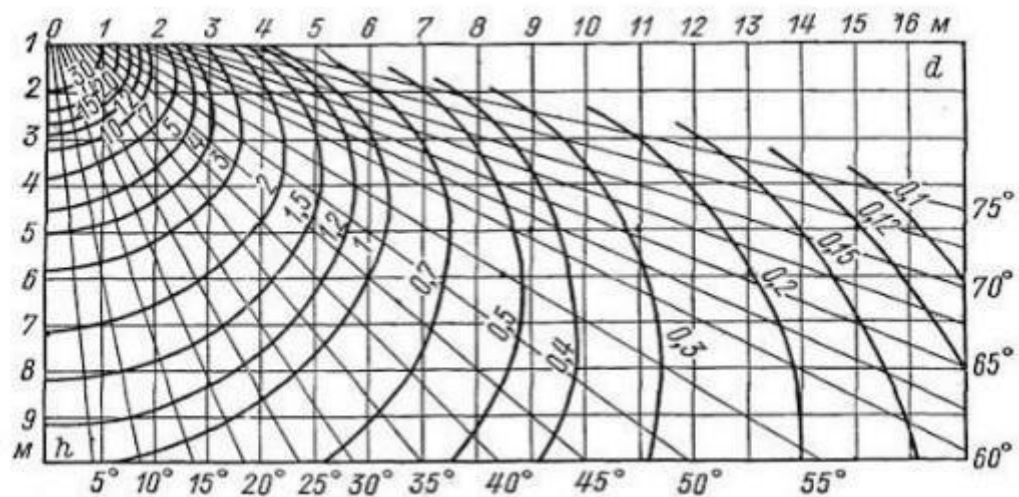


Рисунок 1.2 – Значення коефіцієнту використання

Звідси:

$$L = 0,91 \cdot 9,2 = 8,37 \approx 8 \text{ м.}$$

Визначимо умовну загальну кількість світильників, шт.:

$$N = \frac{AB}{L^2}$$

$$N = \frac{45 \cdot 33}{8,37^2} = 21,19 \approx 22 \text{ (шт.)}$$

Світловий потік:

$$\Phi = \frac{200 \cdot 33 \cdot 45 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{22 \cdot 0,5} = 44550 \text{ (лм)}$$

Обираємо світильник згідно наших розрахунків:

Назва – LGT-Prom-Solar-340 [6].

Потужність - 340 Вт; Світловий потік -45900 лм; Колірна температура - 5000 К; Клас захисту - IP67;

Коеф. потужності - 0,95 $\rightarrow \text{tg}\varphi \approx 0,2$



Рисунок 1.3 – Візуальний вигляд лампи LGT-Prom-Solar-340 [6]

Знайдемо розрахункову потужність ЩАО

Для забезпечення аварійного освітлення (10 лк) використаємо промисловий світильник серії PACIFIC LED [7], $\Phi_{\text{л}} = 5000 \text{ лм}$, $P_{\text{л}} = 58 \text{ Вт}$
 $U = 220\text{-}240 \text{ В}$. $\cos(\mu) = 0.7$.

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	34
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		



Рисунок 1.4 – Візуальний вигляд лампи PACIFIC LED [7]

Відповідно ДБН В.2.5-23:2010 [8] пункту 3.21 приймаємо коефіцієнт попиту аварійного освітлення рівним 1.

Також враховуємо 4 світлових покажчиків «ВИХІД» потужністю 40 Вт та 4 пристроїв звукової сигналізації потужності 10 Вт, враховуючи наявність додаткових приміщень.

$$PP_ВИХІД = NP_N K_B = 4 \cdot 0.04 \cdot 1 = 0,16 \text{ кВт};$$

$$QP_ВИХІД = NP_N K_B \operatorname{tg}(\varphi) = 4 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot 0,25 = 0,04 \text{ квар};$$

$$PP_ЗВУК = NP_N K_B = 4 \cdot 0.01 \cdot 1 = 0,04 \text{ кВт};$$

$$QP_ЗВУК = NP_N K_B \operatorname{tg}(\varphi) = 4 \cdot 0.01 \cdot 1 \cdot 0.25 = 0,01 \text{ квар};$$

$$PP_ОСВ_ОСНОВНЕ = NP_N K_B = 22 \cdot 0.2 \cdot 0.95 = 4,18 \text{ кВт};$$

$$PP_ОСВ_АВАР = NP_N K_B = 8 \cdot 0.2 \cdot 1 = 1,6 \text{ кВт};$$

$$QP_ОСВ_ОСНОВНЕ = NP_N K_B \operatorname{tg}(\varphi) = 22 \cdot 0.2 \cdot 0.95 \cdot 0.328 = 1,37 \text{ квар};$$

$$QP_ОСВ_АВАР = NP_N K_B \operatorname{tg}(\varphi) = 8 \cdot 0.2 \cdot 1 \cdot 0.25 = 0,4 \text{ квар};$$

$$P_{P_ЩО+ЩАО+ВІХ+ЗВ} = P_{P_ОСВ_ОСН} + P_{P_ОСВ_АВАР} + P_{P_ОСВ_ВІХ} + P_{P_ЗВУК} = 4,18 + 0,04 + 0,16 + 1,6 = 5,98 \text{ кВт};$$

$$Q_{P_ЩО+ЩАО+ВІХ+ЗВ} = Q_{P_ОСВ_ОСН} + Q_{P_ОСВ_АВАР} + Q_{P_ОСВ_ВІХ} + Q_{P_ЗВУК} = 0,04 + 0,01 + 1,37 + 0,4 = 1,82 \text{ квар};$$

$$S_{P_ЩО+ЩАО+ВІХ+ЗВ} = \sqrt{((5,98)^2 + (1,82)^2)} = 6,25 \text{ кВА};$$

$$I_{P_ЩО+ЩАО+ВІХ+ЗВ} = \frac{S_{P_ЩО+ЩАО+ВІХ+ЗВ}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = \frac{6,25}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 9,49 \text{ А};$$

Цех не потребує встановлення зовнішнього освітлення, адже знаходиться на території підприємства що має зовнішню систему освітлення.

Визначення рівня надійності електропостачання для кожного споживача

Електроприймачі за надійністю електропостачання поділяють на такі три категорії:

Електроприймачі I категорії – електроприймачі, переривання електропостачання яких може спричинити: небезпеку для життя людей, значний матеріальний збиток споживачам електричної енергії (пошкодження дорогого основного обладнання, масовий брак продукції), розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства.

Електроприймачі II категорії – електроприймачі, перерва електропостачання яких призводить до масового недовідпуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів і промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських і сільських жителів.

Електроприймачі III категорії – решта електроприймачів, що не підпадають під визначення I та II категорій.

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	36
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Згідно з п. 1.2.17 ПУЕ [2] віднесемо наступні ЕП до I категорії надійності електропостачання:

- Зварювальні агрегати;
- Мостові крани;
- Вентилятори.

Обґрунтування кількості та місця розміщення силових РП і ЩО

ЕП потрібно об'єднувати в СП за трьома критеріями:

- Потужність ЕП;
- Категорійність ЕП;

Взаємне розташування ЕП та в приміщенні.

Таблиця 2.1 - Групування ЕП

П	№	Кількість	Назва ЕП	Категорійність
П1	38,39	2	Вентиляторприточний	I
	40,41	2	Вентилятор витяжний	I
П2	31-33	3	Агрегатні верстати	III
	16-23	8	Фрезирувальні верстати	III
	24-26	3	Свердлильні верстати	III
	11-15	5	Заточувальні верстати	III
П3	7-10	4	Обдираючі верстати	III
	37	1	Мостові крани, ТВ =60 %	III
П4	1-6	6	Шліфувальні верстати	III
П5	27-29	3	Токарні верстати	III
	30,34-36	4	Електротермічні установки	III

Формування мережі низької напруги зі стислим обґрунтуванням технології її виконання, звертаючи увагу на класифікацію приміщень об'єкта проєктування, а також визначення необхідного ступеню захисту обладнання

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 [9] Приміщення та будівлі за вибухопожежною та пожежною небезпекою підрозділяються на категорії А, Б, В, Г і Д. У випадку приміщень ремонтно-механічного цеху, **категорія пожежної небезпеки Г** — приміщення, в яких знаходяться негорючі речовини та матеріали в холодному стані.

Згідно з п. **5.3.7:** вентиляційну камеру віднесемо до пожежонебезпечних зон класу П-П, так як вентилятори обслуговують приміщення з пожежонебезпечними зонами класу П-П.

Вимоги до приміщення зварювального відділу обумовлені п. **8.4.3:** зварювальні пости у пожежобезпечних зонах повинні розміщуватися в спеціальних кабінах із стінами з негорючих матеріалів. Кабіни повинні бути з відкритим верхом, а їх стіни - заввишки 2 м. В нашому випадку над кабіною рухається мостовий кран, тоді верх кабіни слід закрити сіткою з чарунками розміром не більше ніж 50х50 мм.

Загалом, даний цех можна віднести до пожежонебезпечної зони класу **П-Па** — простір у приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Для ЕП цеху має бути визначений ступінь захисту їх оболонок. В залежності від класу пожежонебезпечної зони, ступінь захисту оболонок: **IP44.**

Потрібно передбачити роздільне виконання силових і освітлювальних електричних мереж.

За п. **7.1** ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 [10], при розподілі електроенергії на промисловому підприємстві слід віддавати перевагу магістральним схемам як більш економічним.

Крім цього такі споживачі як мостові крани мають певні особливості побудови схем живлення. Для пересувних ЕП застосовуються тролейні лінії, виконані шинопроводами.

Визначення розрахункових навантажень відносно силових пунктів, а також шин НН та ВН цехового ТП

Визначимо розрахункове навантаження силових пунктів СП 1, СП 2 та щита освітлення ЩО, а також на шинах НН та ВН трансформатору цехової трансформаторної підстанції ТП 1.

Споживачів електричної енергії, які отримують живлення від силових пунктів СП 1, СП 2 занесемо до таблиці 2.2. Питоме навантаження освітлення $P_{\text{пит}} = 0,02 \text{ кВт/м}^2$, з площею цеху $F = 6000 \text{ м}^2$.

Таблиця 2.2 – Розподіл ЕП по СП

СП	Назва ЕП	Кількість	Кв	cosφ	P _н , кВт
СП1	Вентилятор приточний	2	0,6	0,8	50
	Вентилятор витяжний	2	0,6	0,8	55
СП2	Агрегатні верстати	3	0,3	0,7	6
	Резирувальні верстати	8	0,22	0,5	14
	Вардильні верстати	3	0,14	0,6	6,2
	Полірувальні верстати	5	0,2	0,5	6
СП3	Обдираючі верстати	4	0,17	0,5	30
	Мостові крани, ТВ = 60 %	1	0,1	0,5	70
СП4	Полірувальні верстати	6	0,22	0,6	70
СП5	Токарні верстати	3	0,16	0,6	22,5
	Електротермічні установки	4	0,6	0,9	18

Для прикладу визначимо навантаження на СП, розрахунок покажемо на прикладі першого силового пункту:

Розрахуємо проміжну активну потужність P_{Π}

$$P_{\Pi} = P_n n$$

K_v , де K_v - коефіцієнт використання.

$$P_{\Pi 1} = 50 \cdot 2 \cdot 0,6 = 60 \text{ кВт}$$

Аналогічно розрахуємо проміжні потужності інших ЕП

Проміжна реактивна потужність:

$$Q_{\Pi} = P_n \operatorname{tg}(\varphi),$$

$$Q_{\Pi 1} = 60 \cdot 0,75 = 45 \text{ кВАР}$$

Визначаємо груповий коефіцієнт: _____

$$K_B = \frac{\sum P_{ni}}{\sum p_n n} = \frac{60 + 66}{2 \cdot 50 + \dots + 55 \cdot 2} = 0,6.$$

Ефективна кіль-к ЕП:

$$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{66}{60} = 1,1 < 3, \text{ отже,}$$

$$n_e = \frac{(\sum P_{ni})^2}{(\sum P_{ni}^2)} = \frac{(100 + 110)^2}{100^2 + 110^2} = 1,995 = 2.$$

Визначимо коефіцієнт розрахункового навантаження:

$$K_B = 1,11.$$

Розрахункове навантаження силових ЕП

$$P_p = \sum P_{ni} K_p = (60 + 66) \cdot 1,11 = 139,86 \text{ кВт}$$

$$Q_p = \sum Q_{ni} K_p = (45 + 49,5) \cdot 1,11 = 104,9 \text{ кВАР}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{139,86^2 + 104,9^2} = 173,83 \text{ кВА}$$

Аналогічно розрахуємо СП2 результати розрахунків занесемо до таблиці

2.3. Також визначимо навантаження на шини низької напруги трансформатора.

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	40
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків навантажень на шини НН трансформатора

	Розрахункове навантаження	
	Pr, кВт	Qp, кВАр
Розрахункове навантаження всіх СП	252,65	269,85
Освітлення	5,980	1,820
Шини НН ТП	258,63	271,67

Таблиця 2.4 – Навантаження на СП

Початкові дані										Проміжні потужності		n _{р.с}	n _с	K _р	Розрахункові потужності			Розрахунковий струм I _р , А
За умовою							Довідникові								P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВт·А	
Найменування ЕП	п, од	Номинальна потужність, кВт				P _{н.л. max} / P _{н.л. min}	k _а / K _а	cosφ	tgφ	P _в , кВт	Q _в , квар							
		P _{ні}	P _{вΣ}	P _{н.л. max}	P _{н.л. min}													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Вентилятор приточний	2	55,0	110,00				0,6	0,8	0,75	66,00	49,50							
Вентилятор витяжний	2	50,0	100,00				0,6	0,8	0,75	60,00	45,00							
СП1	4		210,00	55	50	1,10	0,6			126,00	94,50	4,0	4	1,11	139,86	103,95	174,26	264,8
Агрегатні верстати	3	6,0	18,00				0,3	0,7	1,02	5,4	5,51							
Фрезерувальні верстати	8	14,0	112,00				0,22	0,5	1,73	24,64	42,68							
Свердлильні верстати	3	6,2	18,60				0,14	0,6	1,33	2,604	3,47							
Заточувальні верстати	5	6,0	30,00				0,2	0,5	1,73	6	10,39							
СП2	19		178,60	14	6	2,33	0,22			38,644	62,051	16,2	16	1,2	46,37	62,051	77,465	117,7
Мостові крани, ТВ=60 %	1	70,0	54,22				0,1	0,5	1,73	5,4222	9,3915							
Обдираючі верстати	4	30,0	120,00				0,17	0,5	1,73	20,4	35,334							
СП3	5		174,22	70	30	2,33	0,15			25,822	44,725	3,6	3	3,2	82,631	49,198	96,168	146,11
Шліфувальні верстати	6	70,0	420,00				0,22	0,6	1,33	92,40	123,20							
СП4	6		420,00	70	70	1,00	0,22			92,4	123,2	6,0	6	1,6	147,84	135,52	200,56	304,7
Токарні верстати	3	22,5	67,50				0,16	0,6	1,33	10,8	14,4							
Електротермічні установки	4	18,0	72,00				0,6	0,9	0,48	43,2	20,923							
СП5	7		139,50	22,5	18	1,25	0,39			54	35,323	6,9	6	1,15	62,10	38,855	73,254	111,3
Силове навантаження (СП1...СП2) на шинах 0,4 кВ ТП	41		1122,32	70	6	11,67	0,3			336,87	359,80	32,1	32	0,75	252,65	269,85	369,66	561,64
Освітлювальне навантаження (ШО)															5,980	1,820	6,251	9,497
Сумарне навантаження на шинах 0,4 кВ ТП															258,63	271,67	375,09	569,89

2.2 Розрахункові навантаження цивільних об'єктів

Відповідно до ДБН В.2.5-23:2010 [11] класифікуємо дані об'єкти за категоріями надійності електропостачання.

Таблиця 2.5 – Характеристики комунально-побутових споживачів

Код об'єкту	Характеристика об'єкту	Кільк.	Кат. на д.
А	житловий будинок з електричними плитами, поверхи, 2 секції, 144 помешкань	1	II
Б	житловий будинок з електричними плитами, поверхів, 1 секція, 48 помешкань	2	II
В	житловий будинок з електричними плитами, поверхів, 2 секції, 128 помешкань	1	II
Е	житловий будинок з газовими плитами, поверхів, 1 секції, 36 помешкань	2	II
Ж	житловий будинок з газовими плитами, поверхів, 4 секції, 216 помешкань	2	II
Л	тека з площею залу 100 м ²	2	II
М	пракарня на 20 робочих місць	1	III
Р	ресторан на 200 місць	1	II
Т	магазин промислових товарів з площею торгівельного залу 500 м ²	1	II

Розрахунок нормального режиму

Визначення розрахункових навантажень громадських об'єктів:

$$P_{ж.б} = p_{нит} n_{кв} + 0,9 K_{нл} n_{ліф} p_{л},$$

$$Q_{ж.б} = p_{нит} n_{кв} tg \varphi_{кв} + 0,9 K_{нл} n_{ліф} p_{л} tg \varphi_{ліф}.$$

де $p_{\text{пит}}$ – питоме розрахункове електричне навантаження житл; $n_{\text{кв}}$ – сумарна кількість квартир;
 $n_{\text{ліф}}$ – сумарна кількість ліфтів;
 $K_{\text{п.л}}$ – коефіцієнти попиту для ліфтових установок;
 $\text{tg}\varphi$ – реактивне навантаження

При проведенні розрахунків всі житлові будинки з однаковим характером приготування їжі розглядаються як один житловий будинок з сумарним числом квартир та сумарним числом ліфтових установок.

Визначення навантажень в нормальному режимі роботи

Від ТП1 живиться: житловий будинок з електричними плитами, 24 поверхи, дві секції, 144 помешкань – 1 шт., житловий будинок з електричними плитами, 16 поверхів, одна секція, 48 помешкань – 2 шт., житловий будинок з електричними плитами, 16 поверхів, дві секції, 48 помешкань – 1 шт., –

$$P_{\text{АБВ}}^1 = 1,5 \cdot \left(\frac{144 + 48 \cdot 2 + 48}{2} \right) + 0,9 \cdot 0,85 \cdot \frac{7}{2} \cdot (6,5 + 9) = 257,501 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{АБВ}}^1 = 1,5 \cdot \left(\frac{144 + 48 \cdot 2 + 48}{2} \right) \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,85 \cdot \frac{7}{2} \cdot (6,5 + 9) = 127,9 \text{ квар.}$$

Розраховуємо навантаження на першому трансформаторі:

$$P_{\text{ТП1}} = 257,501 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ТП1}} = 127,9 \text{ квар.}$$

$$S_{\text{ТП1.ТР1}} = \sqrt{257,501^2 + 127,9^2} = 287,51 \text{ кВА}.$$

Від ТП2 живиться: житловий будинок з газовими плитами, 9 поверхів, одна секція, 36 помешкань – 2 шт., житловий будинок з газовими плитами, 9 поверхів, 4 секції, 216 помешкань – 2 шт.

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	43
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

$$P_{EЖ}^{\frac{1}{2}} = 0,83 \cdot \left(\frac{216 \cdot 2 + 36 \cdot 2}{2} \right) + 0,9 \cdot 0,7 \cdot \frac{10}{2} \cdot 6,5 = 229,635 \text{ кВт},$$

$$Q_{EЖ}^{\frac{1}{2}} = 0,83 \cdot \left(\frac{216 \cdot 2 + 36 \cdot 2}{2} \right) \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 0,7 \cdot 5 \cdot 6,5 \cdot 1,17 = 113,89 \text{ квар.}$$

Розраховуємо навантаження на другому трансформаторі в ТП2:

$$P_{ТП2} = 229,635 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП2} = 113,89 \text{ квар},$$

$$S_{ТП2} = \sqrt{229,638^2 + 113,89^2} = 256,32 \text{ кВА}.$$

Від ТП3 живиться : аптека – 2 шт., перукарня – 1 шт., ресторан – 1 шт.,
магазин – 1 шт.,

$$P_p = 200 \cdot 1,03 \cdot 0,5 = 103 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 200 \cdot 1,03 \cdot 0,5 \cdot 0,2 = 20,6 \text{ квар.}$$

$$P_{an} = 100 \cdot 0,12 \cdot 0,5 = 6 \text{ кВт},$$

$$Q_{an} = 100 \cdot 0,12 \cdot 0,5 \cdot 0,4 = 2,4 \text{ квар.}$$

$$P_n = 20 \cdot 1,45 \cdot 0,5 = 14,5 \text{ кВт},$$

$$Q_n = 20 \cdot 1,45 \cdot 0,5 \cdot 0,25 = 3,625 \text{ квар.}$$

$$P_{mag} = 500 \cdot 0,15 \cdot 0,5 = 45 \text{ кВт},$$

$$Q_{mag} = 500 \cdot 0,15 \cdot 0,5 \cdot 0,75 = 33,75 \text{ квар.}$$

$$P_{ТП3} = 103 + 45 \cdot 0,6 + 14,5 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,5 = 144,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП3} = 33,75 + 20,6 \cdot 0,6 + 3,625 \cdot 0,8 + 2,4 \cdot 0,5 = 50,51 \text{ квар},$$

$$S_{ТП3} = \sqrt{144,6^2 + 50,51^2} = 153,16 \text{ кВА}.$$

Таблиця 2.6 – Навантаження об'єктів в нормальному режимі роботи

Позначення на схемі	Об'єкт	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$
АБВ	Житловий будинок з електричними плитами	257,501	127,9
ЕЖ	Житловий будинок з газовими плитами	229,634	113,89
Р	Ресторан	103	20,6
Т	Магазин	45	44,75
Л	Аптека	6	2,4
М	Перукарня	14,5	3,625

Визначення навантажень в післяаварійному режимі роботи

Від ТП1 живиться: житловий будинок з електричними плитами, 24 поверхи, дві секції, 144 помешкань – 1 шт., житловий будинок з електричними плитами, 16 поверхів, одна секція, 48 помешкань – 2 шт., житловий будинок з електричними плитами, 16 поверхів, дві секції, 48 помешкань – 1 шт.,

$$P_{ABV}^2 = 1,34 \cdot (144 + 48 \cdot 2 + 48) + 0,9 \cdot 0,72 \cdot 7 \cdot (6,5 + 9) = 456,228 \text{ кВт},$$

$$Q_{ABV}^2 = 1,34 \cdot (144 + 48 \cdot 2 + 48) \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,72 \cdot 7 \cdot (6,5 + 9) = 224,676 \text{ квар},$$

$$P_{ТП1.n/a} = 456,228 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП1.n/a} = 224,676 \text{ квар},$$

$$S_{ТП1.n/a} = \sqrt{456,228^2 + 224,676^2} = 508,55 \text{ кВА}$$

Від ТП2 живиться: житловий будинок з газовими плитами, 9 поверхів, одна секція, 36 помешкань – 2 шт., житловий будинок з газовими плитами, 9 поверхів, 4 секції, 216 помешкань – 2 шт.

$$P_{EЖ}^1 = 0,7 \cdot (216 \cdot 2 + 36 \cdot 2) + 0,9 \cdot 0,7 \cdot \frac{10}{2} \cdot 6,5 = 373,275 \text{ кВт},$$

$$Q_{EЖ}^1 = 0,7 \cdot (216 \cdot 2 + 36 \cdot 2) \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 0,7 \cdot 5 \cdot 6,5 \cdot 1,17 = 175,65 \text{ квар},$$

$$P_{ТП2.n/a} = 373,275 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП2.n/a} = 175,65 \text{ квар},$$

$$S_{ТП2.n/a} = \sqrt{373,275^2 + 175,65^2} = 412,53 \text{ кВА}.$$

Від ТП3 живиться : аптека – 2 шт., перукарня – 1 шт., ресторан – 1 шт., магазин – 1 шт.,

$$P_{an} = 100 \cdot 0,12 = 12 \text{ кВт},$$

$$Q_{an} = 100 \cdot 0,12 \cdot 0,4 = 4,8 \text{ квар}.$$

$$P_n = 20 \cdot 1,45 = 29 \text{ кВт},$$

$$Q_n = 20 \cdot 1,45 \cdot 0,25 = 7,25 \text{ квар}.$$

$$P_p = 200 \cdot 1,03 = 206 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 200 \cdot 1,03 \cdot 0,2 = 41,2 \text{ квар}.$$

$$P_{mag} = 500 \cdot 0,15 = 76 \text{ кВт},$$

$$Q_{mag} = 500 \cdot 0,15 \cdot 0,75 = 56,25 \text{ квар}.$$

$$P_{ТП3} = 206 + 76 \cdot 0,8 + 29 \cdot 0,8 + 12 \cdot 0,8 = 299,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП3} = 56,25 + 41,2 \cdot 0,6 + 7,25 \cdot 0,8 + 4,8 \cdot 0,8 = 90,91 \text{ квар},$$

$$S_{ТП3} = \sqrt{299,6^2 + 90,91^2} = 313,08 \text{ кВА}.$$

Таблиця 2.7. – Навантаження об'єктів в післяаварійному режимі роботи

Позначення на схемі	Об'єкт	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$
АБВ	Житловий будинок з електричними плитами	456,288	224,676
ЕЖ	Житловий будинок з газовими плитами	373,275	175,65
Р	Ресторан	206	41,2
Т	Магазин	76	56,25
Л	Аптека	12	4,8
М	Перукарня	29	7,25

Визначимо навантаження на вводі для кожного об'єкту окремо і занесемо отримані значення у таблицю 2.8.

$$P_A = 1,55 \cdot 144 + 0,9 \cdot 0,9 \cdot 2 \cdot (6,5 + 9) = 248,31 \text{ кВт},$$

$$Q_A = 1,55 \cdot 144 \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,9 \cdot 2 \cdot (6,5 + 9) \cdot 1,17 = 118,65 \text{ квар},$$

$$P_B = 2,26 \cdot 48 + 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot (6,5 + 9) = 121,03 \text{ кВт},$$

$$Q_B = 2,26 \cdot 48 \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot (6,5 + 9) \cdot 1,17 = 58,08 \text{ квар},$$

$$P_B = 1,6 \cdot 128 + 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot (6,5 + 9) = 227,12 \text{ кВт},$$

$$Q_B = 1,6 \cdot 128 \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot (6,5 + 9) \cdot 1,17 = 108,03 \text{ квар},$$

$$P_E = 1,35 \cdot 36 + 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 6,6 = 53,86 \text{ кВт},$$

$$Q_E = 1,35 \cdot 36 \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 6,5 \cdot 1,17 = 27,05 \text{ квар},$$

$$P_{\text{Ж}} = 0,9 \cdot 216 + 0,9 \cdot 0,7 \cdot 4 \cdot 6,5 = 210,78 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{Ж}} = 0,9 \cdot 216 \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 0,7 \cdot 4 \cdot 6,5 \cdot 1,17 = 102,75 \text{ квар}.$$

Таблиця 2.8 – Навантаження на вводі кожного об'єкту для після аварійного режиму роботи

Позначення на схемі	Об'єкт	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$
А	Житловий будинок з електричними плитами	248,31	118,65
Б	Житловий будинок з електричними плитами	121,03	58,08
В	Житловий будинок з електричними плитами	227,12	108,03
Е	Житловий будинок з газовими плитами	53,86	27,05
Ж	Житловий будинок з газовими плитами	210,78	102,75
Р	Ресторан	206	41,2
Т	Магазин	76	56,25
Л	Аптека	12	4,8
М	Перукарня	29	7,25

2.3 Вибір перерізу ліній низької напруги, що живить житлові та громадські будинки

Обирати перерізи ліній будемо з розрахунків післяаварійного режиму роботи мережі, якщо лінія витримає таке навантаження то і нормальний режим обраний кабель витримає.

Мінімально допустимі перерізи мережі напругою до 1000 В, в загальному випадку, повинні задовольняти наступним вимогам:

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	48
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

1. Втрати напруги в нормальному режимі не повинна перевищувати допустимої величини: $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}}$.

2. Втрати напруги в післяаварійному режимі не повинна більш ніж на 5% перевищувати допустиму величину: $\Delta U_{\text{п/а}} \leq \Delta U_{\text{доп}} + 5\%$.

3. Струмове навантаження в нормальному режимі не повинне перевищувати допустимої величини, визначеної з урахуванням умов прокладки кабельної лінії: $I_p \leq I_{\text{доп}} \cdot K_1 \cdot K_2$,

де $I_{\text{доп}}$ – допустиме тривале струмове навантаження, яке визначається за довідковими даними з урахуванням марки кабелю (дроту) і способу його прокладки (у землі, в повітрі, в трубах і так далі);

K_1 – коефіцієнт, що враховує фактичні температурні умови експлуатації кабелю або повітряної лінії, $K_1 = 1$;

K_2 – коригуючий коефіцієнт, що враховує кількість паралельно прокладених і працюючих кабелів, $K_2 = 1$.

4. Струмове навантаження в післяаварійному режимі не повинне перевищувати допустиме значення, визначене з урахуванням відповідного коефіцієнта допустимого перевантаження:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} K_1 K_2 K_{\text{пер}},$$

де $K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження, який визначається з урахуванням умов прокладки, тривалості перевантаження і попереднього завантаження КЛ, $K_{\text{пер}} = 1,3$.

Навантаження об'єктів наведено в таблиці 2.4

Проведемо розрахунок на прикладі багатоквартирного будинку А:

$$I_A = \frac{\sqrt{P_A^2 + Q_A^2}}{\sqrt{3} U_n}$$
$$I_A = \frac{\sqrt{248,31^2 + 118,65^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 418,12 \text{ А},$$

Обираємо з каталогу найближче більше значення перерізу за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{A1}}{K_1 K_2 K_{\text{пер}}} \geq \frac{418,12}{1 \cdot 1 \cdot 1,3} \geq 321,63 \text{ А},$$

АВВГ 4×240, $I_{\text{доп}} = 330 \text{ А}$, $r_0 = 0,125 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,0587 \text{ Ом/км}$.

Перевіряємо вибрану КЛ 0,4 кВ за допустимою втратою напруги:

$$\Delta U_{A1} = \frac{P_{A1} r_0 L_{\text{кл}}}{10 U_{\text{н}}^2} = \frac{248,31 \cdot 0,125 \cdot 0,1}{10 \cdot 0,38^2} = 2,15 \%,$$

Втрата напруги у післяаварійному режимі не повинна перевищувати допустиму величину +5%:

$$\Delta U_{A1} \leq \Delta U_{\text{доп}} + 5\% \rightarrow 2,15\% \leq 10\%,$$

Умова перевірки виконується.

Для інших об'єктів розрахунок проводимо аналогічно та результати зводимо до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Вибір перерізу ліній низької напруги

Об'єкт	I_p , А	L , км	Кабель	$I_{\text{доп}}$, А	$U \leq 10\%$
А	18,125	0,1	АВВГ 4х240	330	2,15
Б1	103,963	0,15	АВВГ 4х70	166	5,57
Б2	103,963	0,19	АВВГ 4х70	166	7,05
В	82,120	0,11	АВВГ 4х240	330	2,16
Е1	91,572	0,14	АВВГ 4х16	72	9,97
Е2	91,572	0,13	АВВГ 4х16	72	9,26
Ж1	56,271	0,17	АВВГ 4х240	330	3,10
Ж2	56,271	0,15	АВВГ 4х240	330	2,74
Р	19,183	0,14	АВВГ 4х240	330	2,50
Т	43,657	0,13	АВВГ 4х35	113	5,94

Л1	19,637	0,17	АВВГ 4х6	41	7,22
Л2	19,637	0,2	АВВГ 4х6	41	8,49
М	45,417	0,2	АВВГ 4х16	72	7,67

2.4 Розрахунок навантаження на шинах 10 кВ центра живлення

З початкових даних представимо в табл. 2.10 зосереджені навантаження підстанції:

Таблиця 2.10 – Зосереджені навантаження підстанції

Навантаження та одиниці їх виміру	Значення
P_3 , МВт	39
Q_3 , Мвар	8
P_4 , МВт	36
Q_4 , Мвар	9

Розраховуємо потужність на початку Л5:

$$P_{Л5} = \sum_{i=1}^n P_i,$$

$$P_{Л5} = 140 + 20 + 30 + 60 + 20 + 110 + 50 + 20 + 10 + 30 = 490 \text{ кВт.}$$

Навантаження на секції шин 10 кВ ЦЖ:

$$P_{с.ш} = (P_{Л5} + P_{Л3,4} + P_{с3} + P_{с4})K_{сум}$$

$$Q_{с.ш} = (Q_{Л5} + Q_{Л3,4} + Q_{с3} + Q_{с4})K_{сум}$$

де $K_{сум} = 0,8$ – коефіцієнт суміщення максимумів навантажень міських електромереж і промислових підприємств, (табл. 10 дов. даних);

$$Q_{Л5} = P_{Л5} \operatorname{tg} \varphi,$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,48,$$

$$P_{с.ш} = (490 + 2244,805 + 39000 + 36000) \cdot 0,8 = 62187,844 \text{ кВт,}$$

$$Q_{с.ш} = (490 \cdot 0,48 + 1123,418 + 8000 + 9000) \cdot 0,8 = 14686,894 \text{ квар,}$$

$$S_{1c.ш} = \sqrt{62187,844^2 + 14686,894^2} = 63898,613 \text{ кВА.}$$

2.5 Вирішення задачі компенсації реактивної потужності

Визначимо коефіцієнт активної потужності до компенсації реактивної потужності:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_p}{P_p},$$

$$\cos \varphi = \cos(\operatorname{arctg} \varphi),$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{271,67}{258,63} = 1,05,$$

$$\cos \varphi = \cos(\operatorname{arctg} 1,05) = 0,6896.$$

Існуюче значення коефіцієнта активної потужності менше за потрібне ($0,6896 < 0,95$).

Розраховуємо значення реактивної потужності, яке має бути після компенсації реактивної потужності з метою забезпечення значення $\cos \varphi$ не нижче 0,95:

$$Q'_p = P_p \operatorname{tg}'(\arccos' \varphi) = 258,63 \operatorname{tg}'(\arccos 0,95) = 85 \text{ квар.}$$

Знайдемо значення реактивної потужності, яке необхідно компенсувати з метою забезпечення значення $\cos \varphi$ не нижче 0,95:

$$Q_{кб} = Q_p - Q'_p = 271,67 - 85 = 186,67 \text{ квар.}$$

Обираємо КБ: АКУ-0,4-200-20, $Q_{КБн} = 200$ квар.

2.6 Розрахунок струмів короткого замикання

2.6.1 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі вище 1кВ

2.6.1.1 Побудова розрахункової схеми та розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	52
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Випадкове або навмисне, не передбачене нормальним режимом роботи, електричне з'єднання фаз (полюсів) струмоведучих кіл електроустановки між собою або з землею, при якому струми різко зростають, перевищуючи найбільш допустимий струм усталеного режиму, в колах, що примикають до місця виникнення цього з'єднання, називається коротким замиканням чи замиканням у випадках з'єднання з землею однієї фази (полюса) електроустановки, елементи якої працюють з ізольованою або резонансно заземленою нейтраллю.

В умовах експлуатації СЕП серед основних причин виникнення перехідних процесів – це переважно короткі замикання, які суттєво порушують нормальний режим роботи електроустановок. Тому при проектуванні СЕП короткі замикання розглядають як характерні збурення, що зумовлюють перехідні електромагнітні процеси.

Мета досліджень і розрахунків перехідних процесів в тому, щоб, з'ясувавши особливості роботи та якісно нові властивості при кількісних змінах у СЕП, навчитися передбачати перебіг та вірогідність перехідних процесів і керувати ними. Дослідження та розрахунки перехідних процесів – необхідні умови вирішення багатьох завдань, що виникають при проектуванні та експлуатації СЕП. Зокрема, для вибору принципів дії і налаштування автоматичних пристроїв протиаварійного керування, аналізу електромеханічних перехідних процесів з метою визначення умов стійкості електричного навантаження та розробки заходів для забезпечення безперервної роботи промислових підприємств у різних режимах СЕП. На основі досліджень і розрахунків перехідних процесів вирішуються найважливіші питання проектування, спорудження та експлуатації СЕП

З урахуванням перехідного процесу повинні бути забезпечені зміни параметрів режиму СЕП, за якими якісні показники електропостачання споживачів істотно б не знижувалися. Тому таке важливе значення мають зменшення тривалості перехідного процесу, вилучення можливості виникнення нових перехідних процесів, завершення перебігу перехідного процесу достатньо надійним режимом. При аналітичних дослідженнях перехідних процесів використовують метод перетворення координат, комплексні величини для опису

миттєвих значень змінних, метод симетричних складових, схеми заміщення для різних режимів СЕП та ін. Застосовують також графоаналітичний метод подання перехідних процесів. Для розв’язку складних завдань та здійснення традиційних розрахунків перехідних процесів широко використовують обчислювальну техніку.

Розрахунки струмів КЗ необхідні для:

- З’ясування умов роботи споживачів при можливих КЗ та знаходження допустимості того чи іншого режиму;
- Вибору електричних апаратів електроустановок по умовам термічної та електродинамічної стійкості;
- Проектування і настройка засобів релейного захисту та автоматики СЕП;
- З’ясування впливу струмів КЗ на лінії зв’язку;
- Вибір розрядників;
- Аналізу аварій в електроустаткуванні.

В цьому розділі розглядаються такі питання як розрахунок параметрів схеми заміщення та її еквівалентування, розрахунки надперехідного струму трифазного КЗ, розподіл струму КЗ, визначення надлишкових напруг, розрахунки струмів КЗ застосовуючи методи розрахункових та типових кривих, розрахунок несиметричного КЗ.

Зобразимо розрахункову схему (рис. 2.14). Розрахункова схема – це спрощена однолінійна схема із позначенням всіх елементів електричної установки: джерел живлення (електричні станції, генератори), які беруть участь у підживленні точки КЗ і елементів мережі (ЛЕП, трансформаторів, реакторів), які зв’язують джерела живлення із точками КЗ, – а також параметрів всіх згаданих вище елементів, необхідних для розрахунку.

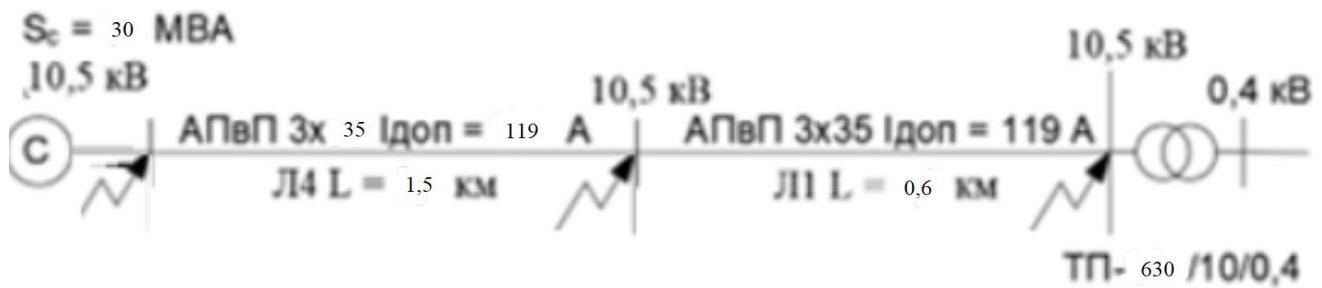


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема

Зі схеми бачимо, що живлення здійснюється від електроенергетичної системи. Від шин цієї підстанції живлення йде по кабельним лініям (Л4, Л1) до понижуючого трансформатора 10/0,4.

Таблиця 2.11 містить параметри схеми

Таблиця 2.11 – Параметри елементів схеми

Позначення на РС	Кабельні та повітряна лінії марки АПвП				
	Марка та переріз кабелю	L, км	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	I _{доп} , А
Л4	АПвП 3х35	1,5	0,868	0,095	119
Л1	АПвП 3х35	0,6	0,868	0,095	119

В розрахунках цього розділу орієнтуватимемось на вибрані за довідником дані. Після складання розрахункової схеми складають спрощену схему заміщення, де кожен елемент РС представлений своєю схемою заміщення в індуктивних опорах.

Побудова спрощеної загальної схеми заміщення і розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

Схема заміщення (СЗ) - це електрична схема, яка відповідає за структурою РС і в якій усі магнітні (трансформаторні) зв'язки замінені електричними. СЗ складається для однієї фази як сукупність СЗ її окремих елементів, зв'язаних між собою в тій же послідовності, що і на РС (рис 2.15 – рис.2.29).

Так як розрахунок режиму КЗ необхідно виконувати для декількох точок КЗ, складаємо загальну СЗ і розрахунок параметрів елементів СЗ здійснюємо один раз при загальних базисних умовах.

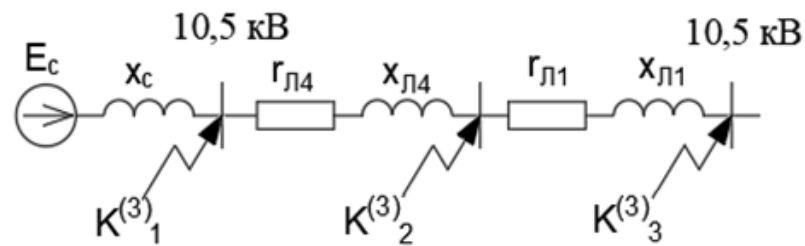


Рисунок 2.4 – Загальна схема заміщення

2.6.1.2 Розрахунок трифазного короткого замикання

Відповідно до таблиці 2.7.1 визначаємо параметри елементів схеми заміщення.

$$U_6 = 10,5 \text{ кВ}$$

Енергосистеми:

$$S_c = 30 \text{ МВА},$$

$$x_c = x_c'' \cdot \frac{U_c^2}{S_c} = 0,2 \cdot \frac{10500^2}{30000000} = 0,73$$

$$E_c = \frac{U_6}{\sqrt{3}} = \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 6,06$$

Кабельні лінії КЛ4 та КЛ1:

$$r_{\text{КЛ4}} = r_{0\text{КЛ4}} \cdot l_{\text{КЛ4}} = 0,868 \cdot 1,5 = 1,3$$

$$x_{\text{КЛ4}} = x_{0\text{КЛ4}} \cdot l_{\text{КЛ4}} = 0,095 \cdot 1,5 = 142$$

$$r_{\text{КЛ1}} = r_{0\text{КЛ1}} \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,868 \cdot 0,6 = 0,5208$$

$$x_{\text{КЛ1}} = x_{0\text{КЛ1}} \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,095 \cdot 0,6 = 0,057$$

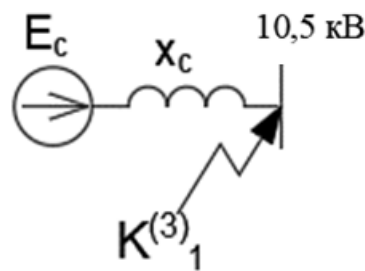


Рисунок 2.5 – Еквівалентна схема заміщення для точки $K_1^{(3)}$

$$r_{\text{рез}} = 0,$$

$$x_{\text{рез}} = x_c \text{ Ом} = 0,73$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{r_{\text{рез}}^2 + x_{\text{рез}}^2} = \sqrt{0^2 + 0,73^2} = 0,73$$

$$I_{K1} = \frac{E_c}{Z_{рез}} = \frac{6,06}{0,73} = 8,3$$

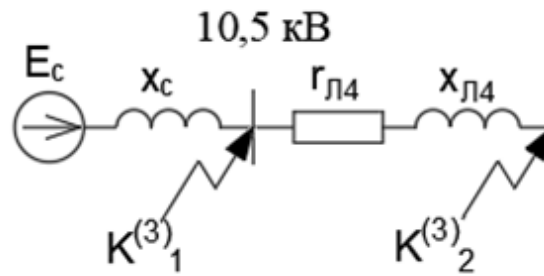


Рисунок 2.6 – еквівалентна схема заміщення для точки $K_2^{(3)}$

$$r_{рез} = r_{л4} = 1,3$$

$$x_{рез} = x_c + x_{л4} = 0,73 + 0,142 = 0,872$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2} = \sqrt{1,3^2 + 0,872^2} = 1,56$$

$$I_{K32} = \frac{E_c}{Z_{рез}} = \frac{6,06}{1,56} = 3,88$$

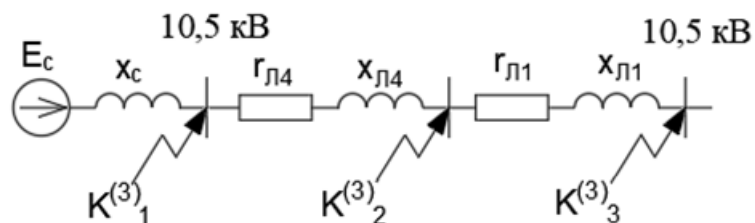


Рисунок 2.7 – Еквівалентна схема заміщення для точки $K_3^{(3)}$

$$r_{рез} = r_{л4} + r_{л1} = 1,3 + 0,52 = 1,82$$

$$x_{рез} = x_c + x_{л4} + x_{л1} = 0,73 + 0,142 + 0,057 = 0,929$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2} = \sqrt{1,82^2 + 0,057^2} = 1,82$$

$$I_{K33} = \frac{6,06}{1,82} = 3,32$$

Визначаємо інші електричні характеристики точки $K_3^{(3)}$.

Визначаємо сталу затухання аперіодичної складової:

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	57
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

$$T_{aK2} = \frac{x_{рез}}{\omega \cdot r_{рез}} = \frac{0,872}{314,16 \cdot 1,3} = 0,0021$$

де $\omega = 2\pi \cdot f$ - кутова частота.

Визначаємо ударний коефіцієнт, враховуючи значення сталої часу затухання аперіодичної складової та час настання ударного струму:

$$k_{yK2} = 1 + e^{-\frac{t}{T_{aK2}}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0021}} = 1,008$$

Враховуючи значення над перехідного струму та ударного коефіцієнту, знаходимо ударне значення струму та максимальне діюче значення повного струму:

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot k_{yK2} \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,008 \cdot 3,88 = 5,53$$

$$I_{дK2} = I_{K2} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{yK2} - 1)^2} = 3,88 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,008 - 1)^2} = 3,88$$

де i_{yK2} - ударне значення струму;

$i_{дK3}$ - найбільше діюче значення повного струму.

Розраховуємо значення теплового імпульсу, де враховуємо повний час проходження КЗ.

$$B_{K3} = I_{K3}^2 \cdot (t_{відкл} + T_{aK2}) = 3,88^2 \cdot (0,86 + 0,0021) = 12,97 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де $t_{відкл} = t_2 + t_{вимик} = 0,8 + 0,06 = 0,86 \text{ с.}$ – час початку КЗ до його відключення, с, з врахуванням часу спрацювання захисту та повного часу вимикання вимикача з приводом, с.

Проводимо аналогічний розрахунок для всіх точок КЗ та зводимо результати у таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Результати розрахунків струмів КЗ

Точка КЗ	$x_{\Sigma i}$	$r_{\Sigma i}$	I_i'' , кА	T_{aki} , с	$k_{уді}$	$i_{уді}$, кА	$I_{ді}$, кА	B_{ki} , кА ² ·с
К1	0,73	0	8,3	-	-	-	-	-
К2	0,872	1,3	3,88	0,0021	1,008	5,53	3,88	12,97
К3	0,929	1,82	3,32	0,0016	1	4,69	3,32	9,49

2.6.1.3 Розрахунок однофазного короткого замикання

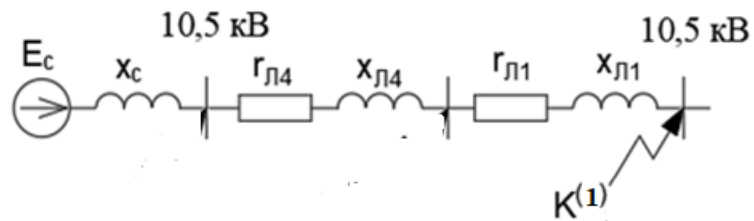


Рисунок 2.8 – Схема однофазного короткого замикання

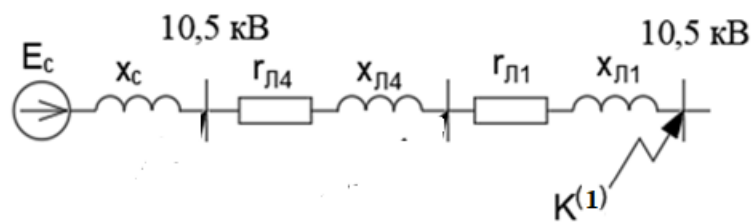


Рисунок 2.9 – Пряма схема заміщення

$$r_{1рез} = r_{пл1} + r_{пл4} = 0,52 + 1,3 = 1,82$$

$$x_{1рез} = x_c + x_{пл1} + x_{пл4} = 0,73 + 0,057 + 0,142 = 0,929$$

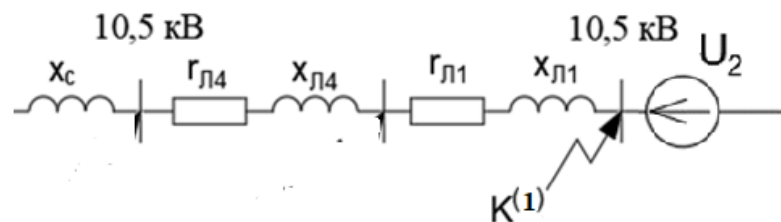


Рисунок 2.10 – Зворотня схема заміщення

$$r_{2рез} = r_{пл1} + r_{пл4} = 0,52 + 1,3 = 1,82$$

$$x_{2рез} = x_{пл1} + x_{пл4} = 0,057 + 0,142 = 0,199$$

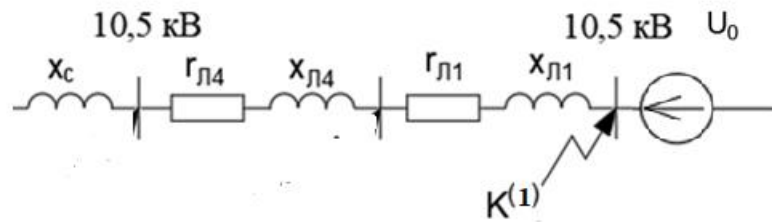


Рисунок 2.11 – Нульова схема заміщення

$$r_{пл04} = 3,5 \cdot r_{пл4} = 3,5 \cdot 1,3 = 4,55$$

$$x_{пл04} = 3,5 \cdot x_{пл4} = 3,5 \cdot 0,142 = 0,497$$

$$r_{пл01} = 3,5 \cdot r_{пл1} = 3,5 \cdot 0,5208 = 1,82$$

$$x_{пл01} = 3,5 \cdot x_{пл1} = 3,5 \cdot 0,057 = 0,199$$

$$I_{кз}^{(1)} = 17 \text{ кА}$$

$$x_{c0} = \frac{3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{E_c}{I_{кз}^{(1)}} - (x_{c1} + x_{c2}) = \frac{3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{6,06}{16} - (0,73 + 0,73) = 0,8$$

$$r_{0рез} = r_{пл01} + r_{пл04} = 1,82 + 4,55 = 6,37$$

$$x_{0рез} = x_{пл01} + x_{пл04} = 0,497 + 0,199 = 0,696$$

Тепер знаходимо струм КЗ в точці $K^{(1)}$

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{3 \cdot E_c}{\sqrt{3} \sqrt{(r_{1рез} + r_{2рез} + r_{0рез})^2 + (x_{1рез} + x_{2рез} + x_{0рез})^2}}$$

$$= \frac{3 \cdot 6,06}{\sqrt{3} \sqrt{(1,82 + 1,82 + 6,37)^2 + (0,929 + 0,199 + 0,696)^2}} = 1,03$$

Визначимо постійну часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання:

$$T_{ak}^{(1)} = \frac{x_{\Sigma}^{(I)}}{\omega \cdot r_{\Sigma}^{(I)}} = \frac{1,82 + 1,82 + 6,37}{314,16 \cdot (0,929 + 0,199 + 0,696)} = 0,0005$$

Розраховуємо ударний коефіцієнт при однофазному КЗ:

$$k_{y\partial}^{(I)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ak2}^{(1)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0005}} = 1$$

Розраховуємо ударний струм при однофазному КЗ:

$$i_{y\partial}^{(I)} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial 2}^{(I)} \cdot I_{кз}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 1,01 = 1,42$$

Розраховуємо найбільше діюче значення повного струму короткого замикання:

$$I_0^{(I)} = I_{кз}^{(1)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{y\partial 2}^{(I)} - 1)^2} = 1,01 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - 1)^2} = 1,01$$

Розраховуємо значення теплового імпульсу:

$$B_K^{(I)} = I_{кз}^{(1)2} \cdot (t_{відімк} + T_{ак2}^{(1)}) = 1,01^2 \cdot (0,18 + 0,0005) = 0,18$$

де $t_{відімк}$ – час від початку КЗ до його відімкнення, с.

$$t_{відімк} = t_3 + t_{вимик} = 0,1 + 0,08 = 0,18 \text{ с.}$$

$t_3 = 0,1$ – час спрацювання релейного захисту, с;

$t_{вимик} = 0,08$ – повний час вимикання вимикача з приводом, с.

Результати розрахунків для точки К2 заносимо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.13 – Результати розрахунків для точки К1

Точка КЗ	$x_{\Sigma}^{(1)}$	$r_{\Sigma}^{(1)}$	$I_{кз}^{(1)}$, кА	$T_{ак}^{(1)}$, с	$k_{уд}^{(1)}$	$i_{уд}^{(1)}$, кА	$I_d^{(1)}$, кА	$B_K^{(1)}$, кА ² ·с
К ⁽¹⁾	1,82	10	1,01	0,0005	1	1,42	1,01	0,18

Перевірка вибраних комутаційних апаратів і провідників та висновки

Таблиця 2.14 Перевірка комутаційних апаратів 10 кВ

Напруга	Вибраний елемент	Параметри	Умови перевірки	Розрахункові дані	Каталожні дані
10 кВ	VD4-10-20/1000	Струм динамічної стійкості	$i_{уд} \leq i_{\max}$ $I'' \leq I_{вимик}$	3,88 кА 3,32 кА	50 кА
		Тепловий імпульс	$B_K \leq I_{т.с}^2 t_{т.с}$	-	31,25 кА
10 кВ	Роз'єднувач РЛНД-10/400	Струм динамічної стійкості	$i_{уд} \leq i_{\max}$ $I'' \leq I_{вимик}$	3,88 кА 3,32 кА	50 кА
		Тепловий імпульс	$B_K \leq I_{т.с}^2 t_{т.с}$	-	20 кА

Перевірка перерізу провідників

Перевірка проводиться за умовою термічної стійкості:

$$F_{\min} < F$$

де F – переріз вибраного кабелю, мм²;

$F_{\min}$ – мінімально допустимий переріз по умові термічної стійкості, мм².

Величину $F_{\min}$ розраховуємо за формулою:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}.$$

де C – коефіцієнт, відповідний різниці температур провідника до і після КЗ,
 $C = 75 \text{ А} \cdot \text{с} / \text{мм}^2$ [12].

Для ПЛ4:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{12,97} \cdot 10^3}{75} = 48 \text{ мм}^2$$

Результати розрахунків наводимо у таблиці 2.14.

Таблиця 2.15 – Перевірка перерізів ПЛ і КЛ.

Ділянка	$F_{\text{поч}},$	$B_k,$ $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$F_{\min}, \text{мм}^2$	$F_{\text{об}}, \text{мм}^2$
ПЛ1	119	12,97	48	119
ПЛ4	119	9,49	41	119

2.6.2 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі нижче 1 кВ

2.6.2.1 Розрахунок трифазного короткого замикання

Опори збірних шин та їх з'єднання мають істотний вплив на струми КЗ в мережі до 1 кВ, а також трансформатори струму, розмикаючі котушки автоматичних вимикачів. Помітний вплив мають опори контактних з'єднань – болтових з'єднань шин, перехідний опір контакту в місці КЗ, також зажимних контактів апаратів.

Всі активні та індуктивні опори короткозамкнутого кола, будемо враховувати при розрахунках. Розрахунок проведемо в іменованих одиницях.

РС зображена на рисунку 2.12.

Вихідні дані:

Система: струм КЗ $I_{\text{КЗ}}^3 = 3,32 \text{ кА}$.

Приймаємо трансформатор типу ТП-630/10/0,4 з такими паспортними даними

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	62
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

$$S_H = 630 \text{ кВА}, U_{HB} = 10 \text{ кВ}, U_{HH} = 0,4 \text{ кВ}, \Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт},$$

$$U_K = 6,5 \%, \Delta I_{xx} = 1,8\%, \Delta P_{xx} = 1,35 \text{ кВт}$$

Шини приєднання трансформатора до щита 0,4 кВ: $l_{ш} = 5 \text{ м}$, метал – Al, $r_{ш.0} = 0,1 \text{ Ом/км}$, $x_{ш.0} = 0,13 \text{ Ом/км}$, $S = 80 \times 8 \text{ мм}^2$.

QF; тип FMC8A (висувний), $I_{ном} = 630 \text{ А}$, QF_1 ; тип АВМ-4С, $I_{ном} = 150 \text{ А}$.

Трансформатор струму ТС: $r_{ТС} = 0,2 \text{ мОм}$, $x_{ТС} = 0,05 \text{ мОм}$.

Опори котушок включення автоматичних вимикачів: $X_{KB.SF} = 0,07 \text{ мОм}$, $R_{KB.SF} = 0,13 \text{ мОм}$.

Опори контактів автоматичних вимикачів: $r_{K_{SF}} = 0,14 \text{ мОм}$, $R_{\delta.к} = 0,003 \text{ мОм}$

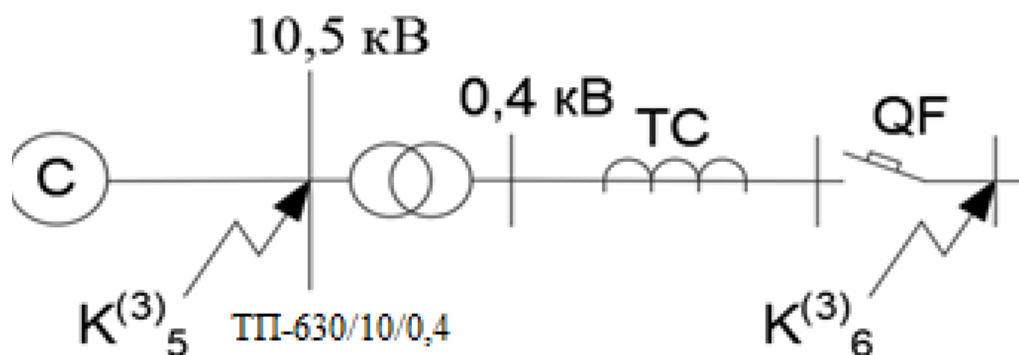


Рисунок 2.12 – Розрахункова схема

Розрахунок параметрів схеми заміщення у іменованих одиницях:

Опір системи:

$$x_c = \frac{U_{HH}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}^3 \cdot U_{HB}} = \frac{0,4^2}{\sqrt{3} \cdot 3,85^3 \cdot 10} = 0,0001$$

Опори трансформатора:

$$r_T = \frac{\Delta P_{кз} \cdot (U_{HH})^2 \cdot 10^6}{S_H^2} = \frac{7,6 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{630^2} = 3,06$$

$$x_T = \sqrt{\left(\frac{U_K}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_H}\right)^2} \cdot \frac{(U_{HH})^2 \cdot 10^6}{S_H} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{6,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{7,6}{630}\right)^2} \cdot \frac{(0,4)^2 \cdot 10^6}{630} = 16,22$$

Опори шин:

$$r_{ш} = r_{ш.0} \cdot l_{ш} = 0,1 \cdot 0,005 = 0,0005$$

$$x_{ш} = x_{ш.0} \cdot l_{ш} = 0,13 \cdot 0,005 = 0,0006$$

Активний опір болтового з'єднання:

$$r_{б.к} = 0,003 \text{ мОм},$$

Побудуємо СЗ для визначення струмів КЗ в точці

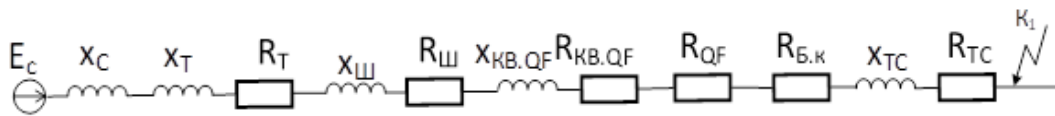


Рисунок 2.13 – Схема заміщення

Еквалентуємо СЗ:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_c + x_T + x_{KB.SF} + x_{ш} + x_{TC} = \\ &= 0,63 + 16,22 + 0,00007 + 0,0006 + 0,00005 = 16,85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_1 &= r_{ш} + 4 \cdot r_{б.к} + r_{KB.SF} + r_T + r_{KSF} + r_{TC} = \\ &= 0,0005 + 4 \cdot 0,003 + 0,00013 + 0,2 = 0,21 \end{aligned}$$

Виконаємо розрахунок надперехідного значення струму трифазного КЗ:

$$I_4^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{нн} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_1^2 + r_1^2}} = \frac{1,05 \cdot 0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{16,85^2 + 0,21^2}} = 14,38$$

Розрахунок постійної часу згасання аперіодичного струму трифазного КЗ:

$$T_{ак4}^{(3)} = \frac{x_1}{\omega \cdot r_1} = \frac{16,85}{314 \cdot 0,21} = 0,25 \text{ с},$$

Розрахунок теплового імпульсу:

$$B_{к4}^{(3)} = I_4^{(3)2} \cdot (t_{відімк} + T_{ак4}^{(3)}) = 14,38^2 \cdot (0,18 + 0,25) = 88,9$$

де $t_{відімк}$ - час від початку КЗ до вимкнення, с:

$$t_{відімк} = t_3 + t_{вимик} = 0,18$$

$t_3 = 0,1$ - релейний захист – час спрацювання, с;

$t_{\text{вимик}} = 0,08$ - час вимкнення вимикача, с;

Розрахунок ударного коефіцієнту:

$$k_{\text{уд4}}^{(3)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{\text{ак6}}^{(3)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,25}} = 1,96$$

$$i_{\text{уд4}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд4}}^{(3)} \cdot I_4^{(3)},$$

Розрахунок найбільшого діючого значення струму короткого замикання:

$$I_{\text{у4}}^{(3)} = I_4^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{\text{уд4}}^{(3)} - 1)^2} = 14,38 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,96 - 1)^2} = 24,24$$

2.6.2.2 Розрахунок струму однофазного КЗ

Проведемо розрахунок струму однофазного КЗ в $K_4^{(1)}$.

Схема заміщення прямої послідовності

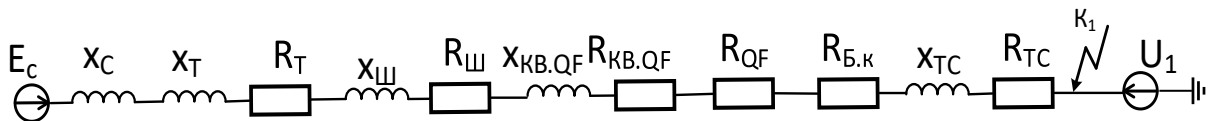


Рисунок 2.14 – СЗ прямої послідовності

$$\begin{aligned} x_1 &= x_c + x_T + x_{\text{KB.SF}} + x_{\text{ш}} + x_{\text{TC}} = \\ &= 0,63 + 16,22 + 0,00007 + 0,0006 + 0,00005 = 16,85 \\ r_1 &= r_{\text{ш}} + 4 \cdot r_{\text{Б.К}} + r_{\text{KB.SF}} + r_T + r_{\text{КСF}} + r_{\text{TC}} = \\ &= 0,0005 + 4 \cdot 0,003 + 0,00013 + 0,2 = 0,21 \end{aligned}$$

Схема заміщення нульової послідовності:

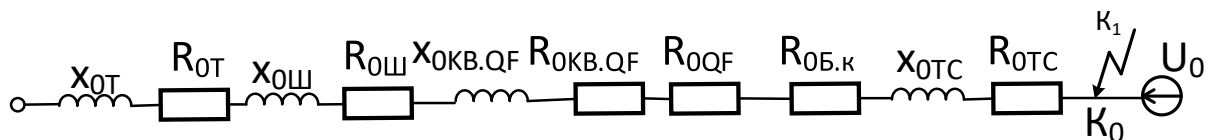


Рисунок 2.15 – Схема заміщення нульової послідовності

Опори нульової послідовності шин:

$$x_{\text{ш.0}} = 8,5 \cdot x_{\text{ш}} = 8,5 \cdot 0,0006 = 0,005$$

$$r_{\text{ш.0}} = 10 \cdot r_{\text{ш}} = 10 \cdot 0,0005 = 0,005$$

Розрахунок еквівалентних активних та індуктивних опорів нульової послідовності для $K_4^{(1)}$:

$$x_0 = x_{T0} + x_{KB.QF0} + x_{ш0} + x_{TC0} = 0,63 + 16,22 + 0,00007 + 0,0006 + 0,00005 = 16,345$$

$$r_0 = r_{T0} + 4 \cdot r_{б.к0} + r_{к.QF0} + r_{KB.QF0} + r_{ш.0} + r_{TC0} = 0,0005 + 4 \cdot 0,003 + 0,00013 + 0,2 = 0,23$$

Діюче значення періодичної складової струму однофазного КЗ:

$$I_4^{(1)} = \frac{(1,05 \cdot U_{HH}) \cdot 10^3 \cdot m^{(1)}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot r_1 + r_0)^2 + (2 \cdot x_1 + x_0)^2}} = \frac{(1,05 \cdot 10) \cdot 10^3 \cdot 3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 0,21 + 0,23)^2 + (2 \cdot 16,85 + 16,345)^2}} = 36,3$$

де x_0 та r_0 - індуктивний та активний опір схеми заміщення нульової послідовності, $m = 3$.

Розрахунок постійної часу згасання аперіодичного струму КЗ:

$$T_{ак4}^{(1)} = \frac{2 \cdot 16,85 + 16,345}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (2 \cdot 0,21 + 0,23)} = 0,24$$

Розрахунок ударного коефіцієнту:

$$k_{уд4}^{(1)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ак6}^{(1)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,24}} = 1,95$$

Розрахунок ударного струму для $K_6^{(1)}$:

$$i_{уд4}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 36,3 = 10$$

Розрахунок найбільшого значення повторного струму КЗ:

$$i_{y4}^{(1)} = 36,3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,95 - 1)^2} = 6,7$$

Розрахунок теплового імпульсу:

$$B_{к4}^{(1)} = i_4^{(1)^2} \cdot (t_{відімк} + T_{ак6}^{(1)}) = 6,7^2 \cdot (0,18 + 0,24) = 15,47$$

де $t_{відімк}$ - час від початку КЗ до вимкнення, с:

$$t_{відімк} = t_3 + t_{вимик},$$

$t_3 = 0,1$ - релейний захист – час спрацювання, с;

$t_{вимик} = 0,08$ - час вимкнення вимикача, с;

2.7 Релейний захист та автоматика

Розрахувати та вибрати автоматичні вимикачі на стороні 0,4 кВ. Надати схему захисту. Вихідні дані – із електричної частини.

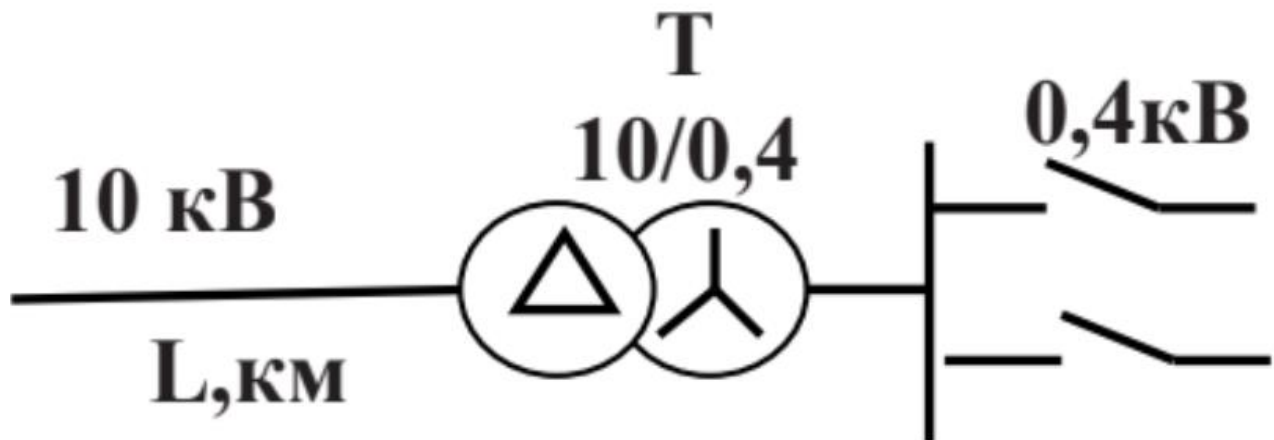


Рисунок 2.16 – Схема розрахунку

Вибір комутаційних апаратів на стороні 0,4 кВ

Автоматичні вимикачі вибирають так, щоб номінальний струм головного кола вимикача $I_{a.ном.}$ та номінальний струм його теплових і електромагнітних розчіплювачів $I_{р.ном.}$ були не меншими від тривалого робочого струму $I_{тр.роб.}$ ділянки мережі, яку вони захищають [12]:

$$I_{a.ном.} \geq I_{тр.роб.} \quad I_{р.ном.} \geq I_{тр.роб.}$$

Номінальна напруга вимикача $U_{a.ном.}$ повинна бути не меншою напруги мережі $U_{м.ном.}$, в якій він буде працювати [12]:

$$U_{a.ном.} \geq U_{м.ном.}$$

Для вимикачів, які захищають асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, номінальний струм головного кола вимикача $I_{a.ном.}$ та номінальний струм розчіплювачів $I_{р.ном.}$ повинні бути не меншими від номінального струму двигуна $I_{дв.ном.}$ [12]:

$$I_{a.ном.} \geq I_{дв.ном.} \quad I_{р.ном.} \geq I_{дв.ном.}$$

При захисті групи електродвигунів номінальний струм розчіплювачів автомата повинен бути не меншим суми номінальних струмів двигунів [12]:

$$I_{p.ном.} \geq \sum I_{дв.ном.}$$

Тип захисної характеристики автоматичного вимикача визначає кратність струму, при якій він спрацює, а також сферу його застосування [12]:

- Тип А: Спрацює при струмі в 2,4–3,6 разів вищому за номінальний (I_n) при температурі $+30^\circ\text{C}$. Застосовується для електроустановок зі значною довжиною проводки, а також для захисту чутливих електронних або напівпровідникових пристроїв.
- Тип В: Спрацює при 3–5 I_n . Для електромереж без значних пускових струмів, зокрема у житлових будинках.
- Тип С: Спрацює при 5–10 I_n . В мережах з „ударним” навантаженням, таких як асинхронні електродвигуни або освітлення з газорозрядними лампами.
- Тип D: Спрацює при 10–20 I_n . Для установок із високими пусковими струмами, трансформатори та двополюсні асинхронні двигуни.

Обрання автоматичного вимикача:

Номінальний струм:

$$I_{ном} = \frac{\sqrt{P_{A1}^2 + Q_{A1}^2}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{\sqrt{229,635^2 + 113,89^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 369,97$$

Обрано автоматичний вимикач Schneider Electric – NSX 500F [13].

Таблиця 2.16 – Характеристики обраного вимикача [13]

Параметр	Значення
Номінальна напруга	500 В
Струм спрацювання	500 А
Серія	Compact NSX
Модель	NSX 500F
Частота мережі	50 Гц
Тип розчіплювача	TM-D або Micrologic
Кількість полюсів	3P / 4P

Умови вибору автоматичних вимикачів:

За номінальною напругою:

$$U_{ном} \geq U_{уст.}$$

За номінальним струмом розчіплювача:

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	68
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

$$I_{\text{ном.розч.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{уст.}}$$

За номінальним струмом автомату:

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.розч.}}$$

За номінальною напругою:

$$400 \text{ В} \geq 400 \text{ В.}$$

За номінальним струмом розчеплювача:

$$500 \text{ А} > 1,25 \cdot 369,97 = 461,63 \text{ А.}$$

За номінальним струмом автомату:

$$500 \text{ А} \geq 500 \text{ А.}$$

Обраний АВ відповідає умовам.

Розрахунок струмового захисту:

Номінальний струм:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi} = \frac{\sqrt{229,635^2 + 113,89^2}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,92} = 16 \text{ А.}$$

Запобіжники підбирають за номінальним струмом лінії, враховуючи витримку струму короткого замикання. Використовується стандартний ряд: 63 А, 80 А, 100 А, 125 А, 160 А, 200 А, 250 А, 315 А, 400 А.

Для захисту ліній від перевантажень номінальний струм плавкої вставки вибирають з таких умов: – неспрацювання в робочому максимальному режимі [14].

$$I_{\text{вст.ном}} \geq k_{\text{від}} \cdot I_{\text{роб.макс}}$$

Де $k_{\text{від}}$ - коефіцієнт відведення, приймають 1,1 – 1,25: $I_{\text{роб.макс}}$ - максимальний робочий струм, що протікає по лінії.

Номінальний струм плавкої вставки F1, та вибір запобіжника [14]:

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		69

Максимальний робочий струм на ВН стороні трансформатора $I_{p\text{ макс}} = 11,94 \text{ (A)}$.

Плавка вставка:

$$I_{\text{вст.ном}} \geq k_{\text{від}} \cdot I_{\text{роб.макс}} = 1,2 \cdot 16 = 19,2 \text{ A}$$

де, $k_{\text{від}} = 1,2$

$$I_{\text{вст.ном}} \leq \frac{I_{\text{к.з.мін.}}}{k_{\text{ч}}} = \frac{19,2}{2,5} = 7,68 \text{ A}$$

де, $k_{\text{ч}} = 2,5$.

Обрано плавку вставку запобіжника 10 А.

Прийнято запобіжник ПР2 10 А (відключаюча здатність 80кА)

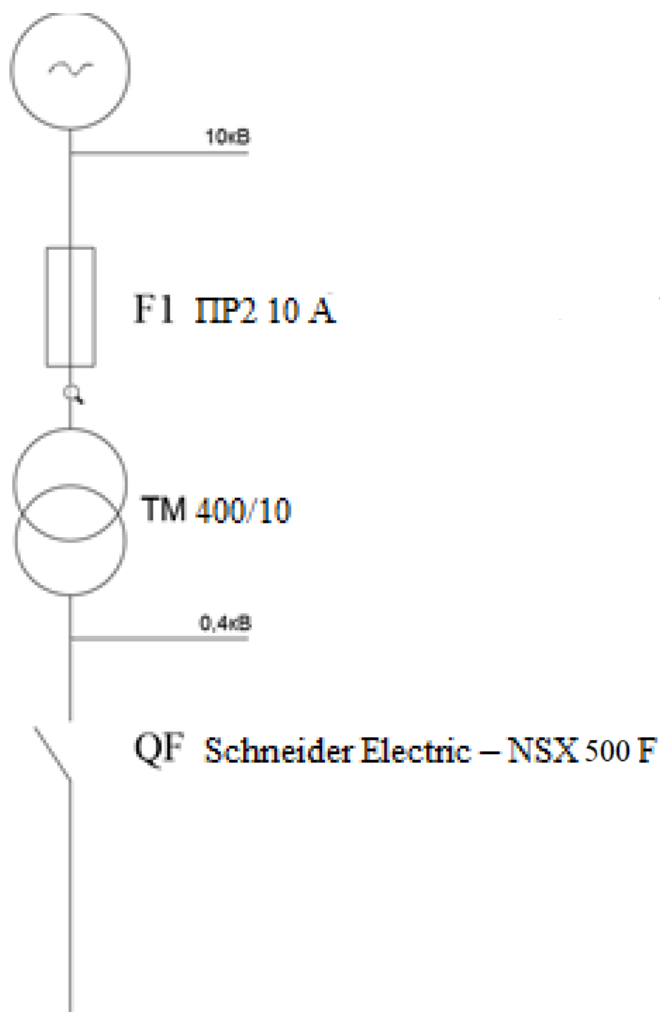


Рисунок 2.17 — Схема захисту

2.8 Умови вибору плавких запобіжників

Запобіжником називають комутаційний апарат, призначений для вимикання кола, яке він захищає, шляхом руйнування спеціально передбачених для цього струмоведучих частин під дією струму, що перевищує певне значення протягом визначеного часу. Плавкі запобіжники призначені для захисту електроустановок від перевантажень і струмів короткого замикання за рахунок плавлення спеціальної вставки, при якому відбувається розрив кола зі струмом недопустимої величини. Таким чином, запобіжник є одночасно пристроєм захисту і комутації [14].



Рисунок 2.18 – Плавкий запобіжник [15]

Для забезпечення надійного захисту електроустаткування за допомогою плавких запобіжників їхні параметри мають відповідати умовам з рисунку [14].

№ п/п	Найменування параметра	Умова вибору
1	Номінальна напруга запобіжника	$U_{зп\ ном} = U_{роб\ max}$
2	Номінальний струм плавкої вставки	$I_{вс\ ном} \geq k_n I_{роб\ max}$ $I_{вс\ ном} \geq \frac{I_{пер}}{k_{пер}}$
3	Номінальний струм запобіжника	$I_{зп\ ном} \geq I_{вс\ ном}$
4	Граничний струм, що відключається запобіжником	$I_{гр\ відкл} \geq I_{кз\ max}$

Рисунок 2.19 – Умови параметрів плавких запобіжників [14]

Вибір запобіжників за номінальною напругою

Номінальною напругою запобіжників називають вказану на патроні напругу, що відповідає найбільшій напрузі мережі, в якій їх можна застосовувати. При виборі запобіжника за номінальною напругою треба мати на увазі необхідність дотримання відповідності його номінальної напруги робочій напрузі мережі. Це

пов'язано з тим, що оскільки номінальна напруга визначає довжину патрона запобіжника, то при дотриманні цієї умови створюються оптимальні умови для гасіння дуги при спрацьовуванні запобіжника та забезпечення ізоляційного проміжку після перегорання плавкої вставки. Робоча напруга мережі не повинна перевищувати номінальну напругу запобіжника більше ніж на 10% [14].

Захист автоматичними вимикачами

Автоматичним називають вимикач, призначений для вмикання, проведення струму і вимикання струму в нормальних умовах в колі, а також для вмикання, проведення певний час та автоматичного вимикання струму в ненормальних умовах, таких як струми короткого замикання і струми перевантаження. Такі вимикачі призначені для нечастих комутацій кіл. Автоматичні вимикачі призначені для захисту електроустановок напругою до 1000 В від коротких замикань і перевантажень [12].



Рисунок 2.20 – Автоматичний вимикач [16]

Для забезпечення надійного захисту електроустаткування за допомогою автоматичних вимикачів їхні параметри мають відповідати умовам, наведеним у рисунку [12].

№ п/п	Найменування параметра	Умова вибору
1	Номінальна напруга	$U_{a\text{ ном}} \geq U_{роб\text{ max}}$
2	Номінальний струм автомата	$I_{a\text{ ном}} \geq I_{у\text{ ном}}$
3	Номінальний струм теплового розчіплювача	$I_{р\text{ ном}} \geq k_{нр} \cdot I_{роб\text{ max}}$
4	Граничний відключаємий автоматом струм	$I_{гр\text{ відкл}} \geq I_{кз\text{ max}}$
5	Електродинамічна стійкість	$i_{дин} \geq i_{уд\text{ розр}}$

Рисунок 2.21 – Умови параметрів автоматичних вимикачів [12]

Вибір автоматичних вимикачів за номінальною напругою

Номінальною напругою автоматичного вимикача називають наведене в паспорті значення напруги, чисельно рівне напрузі електричної мережі, для роботи в якій цей вимикач призначений. При виборі вимикачів за номінальною напругою слід виконувати умову [12]:

$$U_{a\text{ ном}} \geq U_{у\text{ ном}} \approx U_{роб\text{ max}}$$

Вибір автоматичних вимикачів за номінальним струмом

Номінальним струмом автоматичного вимикача називають найбільший струм (діюче значення), який апарат здатний довгостроково проводити при заданих значеннях номінальної напруги і нормованої температури навколишнього середовища. При цьому температура частин апарата не повинна перевищувати допустиму, встановлену для тривалої роботи [12].

Номінальним струмом розчіплювача називають зазначений у паспорті автоматичного вимикача струм, тривале протікання якого не викликає спрацьовування розчіплювача. Номінальний струм розчіплювача може відрізнитися від номінального струму вимикача, оскільки у вимикач можуть бути вмонтовані розчіплювачі з меншим номінальним струмом. Однак його величина має перевищувати 20 найбільше значення робочого струму, що довгостроково протікає по елементу мережі, що захищають з урахуванням можливих перевантажень, а також розкиду характеристик розчіплювача [12].

Вибір автоматичних вимикачів за умовами стійкості до струмів к.з.

Вимикачі вибирають так, щоб значення граничного струму відключення, електродинамічної і термічної стійкості вимикачів були не менше відповідних параметрів к.з. у місці його встановлення. Граничним струмом відключення вимикача називають максимальне значення струму к.з., який вимикач здатний включити і відключити декілька разів, залишаючись у справному стані [12].

У той же час вимикач у включеному положенні має забезпечити пропускання по ньому струму к.з., залишаючись у справному стані, тобто бути стійким до струмів наскрізного к.з. Цю властивість вимикача характеризують електродинамічною і термічною стійкістю. Електродинамічну стійкість характеризують амплітудою ударного струму, що здатний пропустити вимикач без залишкових деформацій деталей або недопустимого відкиду контактів, які можуть призвести до їхнього приварювання або вигорання [12].

Якщо значення електродинамічної стійкості в технічних характеристиках вимикача не наведено, то це означає, що стійкість вимикача визначається його комутаційною спроможністю. На термічну стійкість автоматичні вимикачі не перевіряють, оскільки більшість з них є термічно стійкими при всіх термінах спрацьовування, обумовлених їх захисними характеристиками [12].

Розрахунок КЗ для обрання захисту

Визначимо постійну часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання:

$$T_{ak}^{(1)} = \frac{x_{\Sigma}^{(1)}}{\omega \cdot r_{\Sigma}^{(1)}} = \frac{1,82 + 1,82 + 6,37}{314,16 \cdot (0,929 + 0,199 + 0,696)} = 0,0005$$

Розраховуємо ударний коефіцієнт при однофазному КЗ:

$$k_{уд}^{(1)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ak2}^{(1)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0005}} = 1$$

Розраховуємо ударний струм при однофазному КЗ:

$$i_{уд}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot k_{уд2}^{(1)} \cdot I_{кз}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 1,01 = 1,42$$

Розраховуємо найбільше діюче значення повного струму короткого замикання:

$$I_{\text{д}}^{(1)} = I_{\text{кз}}^{(1)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{\text{уд2}}^{(1)} - 1)^2} = 1,01 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - 1)^2} = 1,01$$

Розраховуємо значення теплового імпульсу:

$$B_{\text{к}}^{(1)} = I_{\text{кз}}^{(1)2} \cdot (t_{\text{відімк}} + T_{\text{ак2}}^{(1)}) = 1,01^2 \cdot (0,18 + 0,0005) = 0,18$$

де $t_{\text{відімк}}$ – час від початку КЗ до його відімкнення, с.

$$t_{\text{відімк}} = t_{\text{з}} + t_{\text{вимик}} = 0,1 + 0,08 = 0,18 \text{ с.}$$

$t_{\text{з}} = 0,1$ – час спрацювання релейного захисту, с;

$t_{\text{вимик}} = 0,08$ – повний час вимикання вимикача з приводом, с.

Обрано вимикач АВВ VD4/Р 12.20.32 Р210 [17].



Рисунок 2.22 - АВВ VD4/Р 12.20.32 Р210 [17]

Параметри обраного вимикача зведено до таблиці.

Таблиця 2.17 – Параметри АВВ VD4/Р 12.20.32 Р210 [17]

Параметр	АВВ VD4/Р 12.20.32 Р210
Напруга, кВ	10 (12 кВ клас)
Номінальний I , А	2000 А
Відключна здатність, кА	31.5 кА цикла/ 80 кА пік
Стандарт ІЕС	ІЕС 62271-100
Інтеграція в панелі	Powerbloc/Unigear/ZS

Висновок до розділу

У цьому розділі була розроблена система електропостачання промислового цеху. Були сформовані умови проектування. Були підібрані трансформатори, розраховані їх навантаження в нормальному та післяаварійному режимах. Також були обрані комутаційні та захисні пристрої, що встановлюються для захисту електричної мережі від перенапруг і струмів короткого замикання, також для захисту робочого персоналу. Були обчислені струми короткого замикання для перевірки обраних пристроїв. Крім того було розраховано струмовий захист лінії 10 кВ з використанням запобіжників.

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		76

**РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ**

Сучасні багатоповерхові житлові будівлі є значними споживачами електроенергії, що зумовлено як зростанням кількості побутових електроприладів, так і потребами загальнобудинкових систем (ліфти, освітлення, вентиляція, насоси, системи безпеки). В умовах постійного зростання тарифів на електроенергію, викликів енергетичної незалежності та глобальних кліматичних змін, інтеграція відновлюваних джерел енергії стає не просто бажаною, а економічно та екологічно обґрунтованою необхідністю.

Даний проект присвячений розробці та оцінці доцільності встановлення сонячної електростанції (СЕС) для модернізації системи електропостачання багатоквартирного житлового будинку. Метою проекту є демонстрація технічних рішень та економічної ефективності використання сонячної енергії для часткового покриття потреб будівлі, підвищення її енергетичної стійкості та зменшення залежності від централізованих мереж. Особлива увага буде приділена вибору гібридної системи, що дозволяє оптимізувати споживання, забезпечити резервне живлення та інтегруватися з існуючою електричною інфраструктурою.

Вим	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.					МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ	Літ		Аркуш	Аркушів		
Перевір.									10		
Реценз.						ІЕЕ, гр. ОЕ-11					
Н. Контр.											
Затвер.											

3.1 Вибір та обґрунтування обладнання сонячної електростанції

Фотоелектричні модулі

Для генерації електроенергії обрано фотоелектричні модулі виробництва JA Solar [18].

Вибрані характеристики сонячних панелей:

- **Виробник:** JA Solar
- **Модель:** JAM66S30-490/MR (DEEP BLUE 3.0, Mono)
- **Тип комірок:** Монокристалічні 11BB PERC Half-Cell Module
- **Номінальна потужність (P_{max}):** 490 Вт на панель (при STC)
- **Кількість панелей:** 24 шт.
- **Ефективність модуля:** 20.6% (для JAM66S30-490/MR при STC)
- **Температурний коефіцієнт потужності (γ_{Pmp}):** $-0.350\%/^{\circ}\text{C}$ – важливий показник, що вказує на зниження потужності при підвищенні температури.
- **Гарантія:** 12 років гарантії на продукт, 25 років гарантії на збереження потужності (тільки 0,55% щорічної деградації) – забезпечує довгострокову ефективність інвестицій.

Вибір монокристалічних Half-Cell модулів забезпечує високу ефективність, кращий виробіток за екстремальних температур, менший вплив затінення окремих комірок, знижений ризик виникнення хотспотів, а також підвищену механічну стійкість.

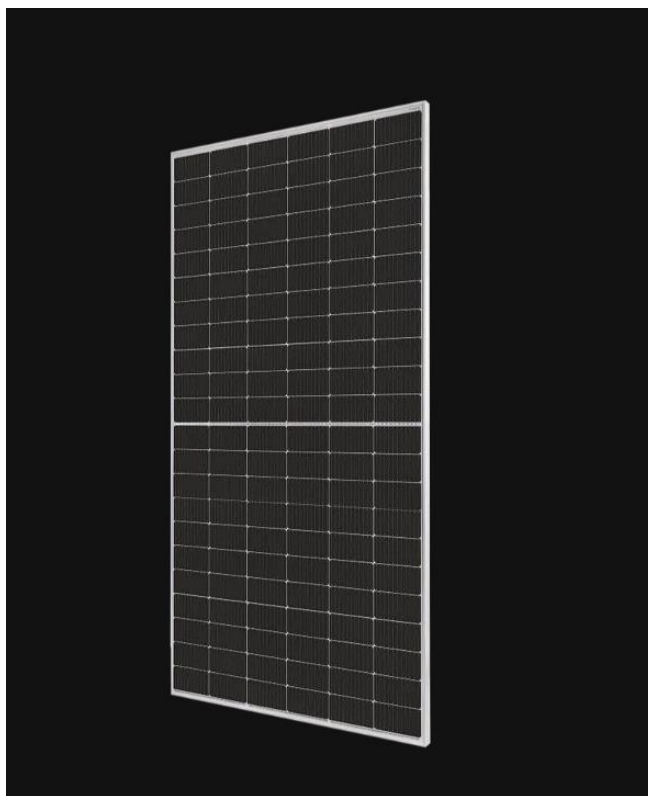


Рисунок 3.1 – Фотоелектричний модуль JA Solar JAM66S30-490/MR [18]

Гібридний інвертор

Як центральний елемент системи перетворення та управління енергією обрано трифазний гібридний інвертор Deye [19].

Вибрані характеристики інвертора:

- **Виробник:** Deye
- **Модель:** SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2
- **Тип:** Трифазний гібридний інвертор (High Voltage - HV)
- **Номінальна вихідна потужність змінного струму:** 15 кВт
- **Максимальна вхідна потужність від PV (сонячних панелей):** 19.5 кВт
- **Діапазон напруги батареї:** 160-700 В
- **Кількість MPPT трекерів:** 2 (що дозволяє гнучко підключати сонячні панелі та оптимізувати їхню роботу).

Основні функції та можливості:

- Чиста синусоїда на виході (230В/400В, три фази).
- Режими власного споживання та продажу надлишків в мережу (feed-in to the

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	79
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

grid).

- Автоматичний перезапуск при відновленні змінного струму.
- Програмований пріоритет живлення (від батареї або мережі).
- Програмовані режими роботи: On-grid (мережевий), Off-grid (автономний) та UPS (джерело безперебійного живлення).
- Конфігурований струм/напруга заряду батареї.
- Сумісність з напругою мережі або генератором.
- Захист від перевантаження, перегріву, короткого замикання.
- "Розумне" управління зарядом батареї для оптимізації її продуктивності.
- Функція обмеження (limit function) для запобігання надмірному перетоку енергії в мережу.
- Підтримка Wi-Fi моніторингу.
- Функція "Time of Use" для програмування використання енергії за часом доби.

Вибір гібридного інвертора Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 з номінальною потужністю 15 кВт є оптимальним для сонячного поля 11.76 кВт. Він забезпечує запас потужності та дозволяє інтегрувати систему накопичення енергії (АКБ) у майбутньому, що підвищить автономність будівлі та стабілізує електропостачання.

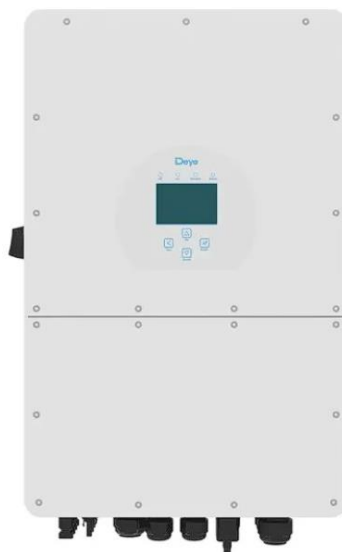


Рисунок 3.2 – Гібридний інвертор Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 [19]

					ОЕ-11.19-013 ПЗ		80
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата			

3.2 Розрахунок та оцінка ефективності сонячної електростанції

Оцінка поточного та цільового споживання будівлі

Виходячи з наданих даних:

- Кількість квартир: 72
- Кількість мешканців: орієнтовно 200 осіб
- Додаткові споживачі: комерційні приміщення, ліфтовий вузол, колясочна, диспетчерська, інженерне обладнання у підвалі (електрощитова, насосне обладнання, вентиляція), освітлення місць загального користування, охоронна та пожежна сигналізація.
- Розрахункове пікове навантаження: 120 кВт.

Припущення: Оскільки точні дані щодо середньодобового споживання будівлі відсутні, для подальших розрахунків приймемо усереднене значення, виходячи з аналогічних об'єктів та кількості споживачів.

- Припустимо, середньодобове споживання електроенергії для однієї квартири становить 8-10 кВт·год (з урахуванням сучасних побутових приладів). Для 72 квартир це $72/9 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу} = 648 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу}$.
- Додамо споживання комерційних приміщень та загальнобудинкових потреб (ліфти, насоси, вентиляція, освітлення МОП, сигналізації). Це може становити значну частку.

Приймаємо загальне середньодобове споживання будівлі (квартири + комерція + загальнобудинкові потреби) = 800 кВт·год/добу.

Звідси річне споживання будівлі становитиме:

$$800 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу} / 365 \text{ днів} / \text{рік} = 292000 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Розрахунок генерації сонячної електростанції

- Встановлена потужність СЕС: 11.76 кВт
- Середній річний коефіцієнт інсоляції для Київського регіону: Для орієнтовних розрахунків приймаємо середнє значення інсоляції, що перетворюється в електричну енергію, на рівні **1050 кВт·год/кВт**

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	81
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

встановленої потужності на рік. Це враховує втрати на інверторі, кабелях, тіні та відхилення від оптимальних кутів.

- Очікуване річне виробництво електроенергії СЕС:
 $11.76 \text{ кВт} / 1050 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{кВт}/\text{рік} = 12348 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$

Оцінка покриття потреб та економічна ефективність

- Відсоток покриття річного споживання будівлі:
(Річна генерація СЕС / Річне споживання будівлі) $100\% = (12348 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік} / 292000 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}) / 100 = 4.23\%$

- Орієнтовна вартість системи:
Вартість сонячних електростанцій значно варіюється. Для гібридних систем без акумуляторів, але з врахуванням вартості панелей, інвертора, системи кріплення, кабелів, робіт з монтажу та підключення, орієнтовна вартість 1 кВт встановленої потужності може становити близько 30 000 – 35000грн.

Приймаємо середнє значення 32000 грн/кВт.

Загальна орієнтовна вартість СЕС: $11.76 \text{ кВт} / 32000 \text{ грн}/\text{кВт} = 376320 \text{ грн}$

- Економія на електроенергії:
Для ОСББ та житлових комплексів часто застосовуються комерційні тарифи на електроенергію. Приймаємо усереднений комерційний тариф 6 грн/кВт·год.

Річна економія: $12348 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік} / 6 \text{ грн}/\text{кВт}\cdot\text{год} = 74088 \text{ грн}/\text{рік}$

- Орієнтовний термін окупності (без врахування інфляції, деградації панелей, витрат на обслуговування):
Термін окупності = $\text{Загальна вартість СЕС} / \text{Річна економія} = 376320 \text{ грн} / 74088 \text{ грн}/\text{рік} = 5.08 \text{ років}$

Висновок за розрахунками:

Встановлення даної СЕС потужністю 11.76 кВт дозволить покрити лише близько 4.23% загальнобудинкового річного споживання. Однак, термін окупності в близько 5 років є досить привабливим для таких інвестицій, особливо якщо враховувати можливе зростання тарифів на електроенергію в майбутньому. Для

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	82
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

значно більшого відсотка покриття потреб необхідно або збільшувати потужність СЕС, або орієнтуватися на покриття лише загальнобудинкових потреб, які, ймовірно, значно менші за загальне споживання всіх квартир.

3.3 Схематичні рішення та розміщення обладнання

Принципова схема підключення гібридної СЕС

Обраний гібридний інвертор Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 є універсальним рішенням, що дозволяє гнучко керувати потоками енергії. Типова схема підключення гібридної СЕС дозволяє:

- Виробляти електроенергію за рахунок сонячних панелей (PV).
- Використовувати цю енергію для власного споживання будівлею.
- Надлишки енергії, за наявності відповідних домовленостей ("зелений" тариф або інші механізми), продавати в зовнішню мережу.
- Заряджати акумуляторні батареї (АКБ), якщо вони будуть встановлені (в даному проекті АКБ не розраховувалися, але інвертор має таку можливість).
- У разі відключення зовнішньої мережі, інвертор може працювати в автономному режимі, забезпечуючи живлення критично важливих навантажень від сонячних панелей та/або АКБ (якщо встановлені).

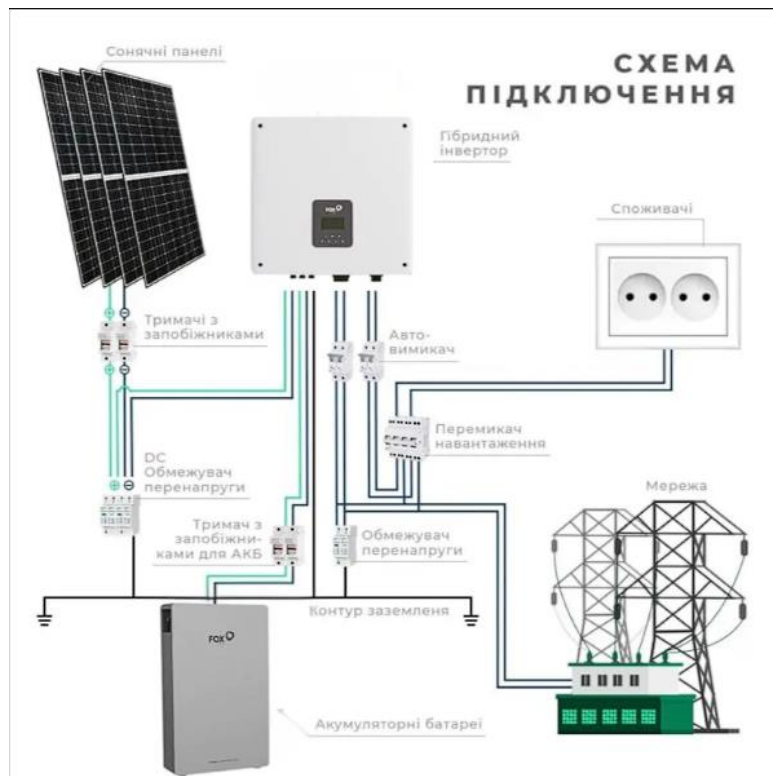


Рисунок 3.5 – Принципова схема підключення гібридної СЕС до мережі будівлі

Розміщення обладнання

Розміщення сонячних панелей планується на плоскому даху будівлі. Для встановлення 24 сонячних панелей (кожна розміром 2094 мм х 1134 мм) знадобиться площа близько 24 м². Проте, з урахуванням необхідних міжрядних відстаней для запобігання затіненню панелей одна одною та забезпечення доступу для обслуговування, а також оптимального кута нахилу (близько 30-35 градусів для Київського регіону), фактично зайнята площа буде значно більшою – орієнтовно до 100-120 м². Будинок має достатню площу плоского даху, що дозволяє розмістити дану кількість панелей, враховуючи наявні елементи інженерних систем (вентиляційні шахти, димоходи).

Інвертор Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 буде встановлено в технічному приміщенні (електрощитовій) у підвалі будівлі. Це забезпечить захист обладнання від погодних умов, легкий доступ для обслуговування та відповідність нормам електробезпеки. Кабельні траси від сонячних панелей на даху до інвертора будуть

прокладені з дотриманням протипожежних норм та захистом від механічних пошкоджень.

3.4 Переваги та виклики впровадження СЕС

Переваги:

- **Зниження експлуатаційних витрат:** Сонячна електростанція дозволить ОСББ та мешканцям значно зменшити рахунки за електроенергію, особливо за загальнобудинкові потреби, що фінансуються колективно.
- **Енергетична незалежність та стійкість:** Зменшення залежності від централізованих мереж та підвищення автономності будівлі, особливо важливо в умовах можливих перебоїв у електропостачанні. Гібридний інвертор забезпечує можливість резервного живлення для критичних навантажень.
- **Екологічна відповідальність:** Використання чистого, відновлюваного джерела енергії сприяє зменшенню викидів парникових газів та вуглецевого сліду будівлі, покращуючи екологічний імідж житлового комплексу.
- **Збільшення капіталізації будівлі:** Наявність СЕС підвищує привабливість об'єкта нерухомості на ринку, оскільки забезпечує довгострокову економію та екологічні переваги.
- **Можливість продажу надлишків енергії:** За умови підключення за "зеленим" тарифом або іншими механізмами, будівля може отримувати додатковий дохід від продажу надлишків виробленої електроенергії в мережу.
- **Довговічність та низькі експлуатаційні витрати:** Сонячні панелі мають тривалий термін служби (понад 25 років) та не вимагають значних витрат на обслуговування.

Виклики:

- **Початкові інвестиції:** Вартість встановлення СЕС вимагає значних початкових капіталовкладень, що може бути перешкодою для ОСББ.
- **Залежність від погодних умов:** Генерація електроенергії залежить від

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	85
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

сонячного випромінювання, тому виробіток знижується вночі, у похмурі дні та в зимовий період.

- **Необхідність кваліфікованого обслуговування:** Хоча обслуговування мінімальне, воно вимагає спеціалізованих знань (чищення панелей, моніторинг роботи інвертора).
- **Юридичні та дозвільні процедури:** Процес підключення до мережі, оформлення "зеленого" тарифу (якщо актуально), отримання всіх необхідних дозволів може бути складним та тривалим.
- **Обмеження по площі даху:** Наявність елементів інженерних систем, тіней від сусідніх будівель або від самих елементів даху може обмежувати ефективно доступну площу для розміщення панелей.
- **Естетичний аспект:** Деяким мешканцям може не сподобатися зовнішній вигляд сонячних панелей на даху, що може вимагати проведення роз'яснювальної роботи та обговорення.

Висновок до розділу

Реалізація проекту встановлення сонячної електростанції для багатоповерхової житлової будівлі є важливим кроком на шляху до модернізації її системи електропостачання та забезпечення сталого розвитку. Вибрана гібридна система потужністю 11.76 кВт з інвертором Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 є технічно обґрунтованим рішенням, що дозволяє не тільки частково покривати потреби будівлі в електроенергії, але й створювати фундамент для підвищення її енергетичної стійкості та, при встановленні акумуляторних батарей, забезпечувати резервне живлення.

Орієнтовний термін окупності в 5.08 років робить цей проект економічно привабливим, особливо в умовах зростання цін на електроенергію. Крім економічних переваг, впровадження СЕС підкреслює екологічну відповідальність мешканців та підвищує загальну цінність будівлі. Незважаючи на початкові інвестиції та деякі організаційні виклики, довгострокові переваги у вигляді

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	86
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

економії, енергетичної незалежності та позитивного впливу на довкілля переважають.

Для подальшої реалізації проекту рекомендується провести детальне обстеження даху, точний розрахунок інсоляції з урахуванням тіней, а також розробити повний проектно-кошторисний документ, що враховуватиме всі нюанси підключення та експлуатації СЕС у відповідності до чинних нормативів та законодавства України.

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		87

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОТАЧАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ

4.1 Загальна характеристика системи електропостачання

У дипломному проєкті розглядаються питання охорони праці та пожежної безпеки, що виникають під час виконання робіт з модернізації системи електропостачання багатоповерхової житлової будівлі. Такі системи забезпечують надійне живлення житлових квартир, освітлення сходових клітин, роботу ліфтів, систем відеонагляду, домофонів та іншого побутового електрообладнання.

Під час модернізації системи електропостачання проводиться демонтаж застарілих кабельних ліній, встановлення нових електрощитів, прокладання сучасних енергоефективних кабелів, встановлення автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення та іншого обладнання. Роботи часто виконуються у внутрішніх приміщеннях будівлі, на сходових клітинах, технічних поверхах, дахах та у підвальних приміщеннях.

В умовах обмеженого простору, присутності мешканців та одночасної роботи інших будівельних бригад особливо важливо дотримуватись вимог охорони праці. Працівники повинні бути забезпечені індивідуальними засобами захисту (касками, захисними окулярами, рукавицями, діелектричними інструментами), проходити обов'язковий інструктаж перед початком робіт та дотримуватись порядку виконання електромонтажних операцій відповідно до діючих нормативів.

					ОЕ-11-ПЗ			
Вим	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці та пожежна безпека під час модернізації системи електропостачання	Літ	Аркуш	Аркушів
Розроб.							88	10
Перевір.						ІЕЕ, гр. ОЕ-11		
Реценз.								
Н. Контр.								
Затвер.								

Особливу увагу слід приділяти протипожежним заходам, оскільки виконання електромонтажних робіт у закритих приміщеннях пов'язане з ризиком виникнення іскріння або коротких замикань. На кожному об'єкті мають бути передбачені первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники відповідного типу, відра з піском, вогнестійкі покривала), а персонал повинен бути ознайомлений з планом евакуації та порядком дій у разі пожежі.

Також необхідно забезпечити постійний контроль за технічним станом інструменту та обладнання, уникати перевантаження мережі під час випробувань, дотримуватись вимог щодо захисту від ураження електричним струмом. Всі роботи повинні виконуватись у відповідності до чинних правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та протипожежних норм ДБН.

До виконання робіт з модернізації системи електропостачання багатоповерхової житлової будівлі допускаються виключно працівники, які мають групу допуску з електробезпеки не нижче III, пройшли відповідне професійне навчання, інструктаж з охорони праці та медичний огляд. Це особливо актуально під час виконання робіт у місцях з підвищеною небезпекою — на дахах, технічних поверхах, у тісних комунікаційних шахтах, а також при використанні електрифікованого інструменту.

Працівники, залучені до модернізації електричних мереж, повинні володіти практичними навичками надання першої медичної допомоги, зокрема при ураженні електричним струмом. Наявність таких знань дозволяє оперативно реагувати у разі виникнення надзвичайної ситуації, що значно знижує ризики для життя та здоров'я персоналу.

Крім того, на кожному об'єкті модернізації мають бути передбачені первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники, пісок, вода), наочні інструкції з пожежної безпеки та чітко визначений порядок евакуації у разі виникнення пожежі або інших аварійних ситуацій.

Особливу увагу слід приділяти дотриманню норм протипожежного захисту при монтажі електрообладнання, особливо в місцях з обмеженою вентиляцією

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	89
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

(підвали, техповерхи). Забороняється використання несправного інструменту, перенавантаження кабельних ліній, а також проведення робіт без знеструмлення відповідної ділянки мережі.

Усі заходи з охорони праці та пожежної безпеки мають бути реалізовані відповідно до чинного законодавства України, нормативів ДБН, ПУЕ та ПБЕЕС.

4.2 Аналіз умов праці

Модернізація системи електропостачання багатоповерхової житлової будівлі вимагає суворого дотримання правил охорони праці та пожежної безпеки. Роботи виконуються в умовах обмеженого простору, у присутності мешканців, з використанням електрифікованого інструменту, що створює додаткові ризики у разі порушення техніки безпеки. Частина операцій виконується на висоті (технічні поверхи, дахи), у підвальних приміщеннях та на сходових клітинах.

Зважаючи на потенційні небезпеки, необхідно чітко визначити перелік технологічних етапів, залучити персонал з відповідним рівнем кваліфікації та забезпечити його інструктажами та засобами захисту.

До обов'язкових заходів під час модернізації належать:

1. Огляд та підготовка об'єкта — виявлення пошкоджених ділянок, визначення зон з обмеженим доступом, перевірка електрообладнання.
2. Монтаж електрощитового обладнання — демонтаж старих елементів, встановлення нових щитів, комутація автоматів.
3. Прокладання та підключення кабельних ліній — вертикальні стояки, введення в квартири, з'єднання із загальнобудинковими мережами.
4. Електровимірювання та випробування — перевірка ізоляції, контроль фазності, заземлення.
5. Забезпечення електробезпеки — знеструмлення приміщень, оформлення нарядів-допусків, попереджувальні знаки.
6. Протипожежні заходи — наявність вогнегасників, щомісячна перевірка, регулярні інструктажі персоналу.

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		90

Таблиця 4.1 – Види робіт

Вид робіт	Спосіб транспортування	Період виконання	Кількість працівників	Група з електробезпеки
Огляд системи, оцінка ризиків	Не потребує транспортування	Перед початком робіт	1–2 особи	III і вище
Демонтаж/монтаж щитового обладнання	Необхідне перевезення обладнання	Протягом основного етапу	2–3 особи	IV
Прокладання та з'єднання кабелів	З використанням ручного інструменту	За графіком монтажу	3–5 осіб	IV і вище
Випробування і вимірювання параметрів мережі	Не потребує транспортування	Після монтажу	1–2 особи	III
Проведення інструктажів з охорони праці	—	Перед початком робіт	Усі працівники	—
Протипожежний інструктаж	—	1 раз на 6 місяців	Усі працівники	—
Перевірка засобів пожежогасіння	—	1 раз на місяць	1 особа	—
Навчання з надання першої медичної допомоги	—	1 раз на рік	Усі працівники	—

4.3 Характеристика умов праці та фактори ризику

Особливістю виконання робіт під час модернізації системи електропостачання багатоповерхової житлової будівлі є те, що працівники перебувають у середовищі з обмеженим простором, в умовах постійного руху мешканців, а також працюють із діючими електромережами, часто на висоті (сходові клітини, технічні поверхи, дахи).

Такі умови вимагають особливої уваги до охорони праці, адже підвищені ризики створюють електричні установки під напругою, можливі механічні пошкодження, обмежена вентиляція у підвальних приміщеннях, а також температурні коливання залежно від пори року.

До основних загроз належать:

- ризик падіння з висоти;
- можливість ураження електричним струмом;
- травмування внаслідок дії інструментів і техніки;
- ускладнення через шум, пил, вібрацію;

- у літній період — перегрів, у зимовий — переохолодження;
- пожежна небезпека внаслідок короткого замикання або іскріння.

Для зменшення дії цих чинників необхідно впроваджувати комплекс заходів із безпеки праці, забезпечити регулярні інструктажі, використовувати засоби індивідуального захисту, чітко дотримуватись регламенту робіт і вимог протипожежного захисту.

Таблиця 4.2 – Фактори ризику та заходи безпеки

Фактор ризику	Можливі наслідки	Заходи безпеки
Робота у вузьких або закритих просторах	Обмежена вентиляція, ускладнене евакуювання	Постійна вентиляція, контроль повітря, обов'язкова наявність засобів зв'язку
Висота (сходи, дах, шахти)	Падіння з висоти	Страхувальні пояси, каски, бар'єрне огороження, допуск тільки з III–IV групою
Робота з електроустановками під напругою	Ураження струмом	Повне знеструмлення, заземлення, контроль відсутності напруги, наряд-допуск
Перегрів/переохолодження	Тепловий удар, втрата працездатності	Одяг за сезоном, часті перерви, охолодження/обігрів, питний режим
Пил, погана освітленість	Подразнення дихальних шляхів, зниження видимості	Освітлення, респіратори, регулярне прибирання пилу
Вібрація та шум від інструментів	Втома, втрата уваги	Навушники, антивібраційні рукавички, обмеження часу роботи
Іскріння, короткі замикання	Пожежа, ураження	Наявність вогнегасників, візуальний огляд ліній, миттєве реагування на надзвичайні ситуації
Недостатня організація робочого місця	Підвищений ризик травмування	Організація маршруту руху, відокремлення робочих зон

Психоемоційне навантаження	Втома, зниження уваги	Раціональна організація праці, чергування завдань, створення комфортного мікроклімату
----------------------------	-----------------------	---

4.4 Вибір технічних та організаційних заходів з обмеження шкідливих чинників

Під час модернізації системи електропостачання багатоповерхової житлової будівлі особлива увага приділяється питанням охорони праці та пожежної безпеки. Враховуючи специфіку робіт у приміщеннях із діючими електроустановками, обмеженим простором та можливістю контакту з напругою, важливо застосовувати комплекс ефективних технічних та організаційних заходів.

Основні технічні заходи [20]:

- Надійне заземлення усіх металевих частин щитового та силового обладнання (щити, корпуси автоматів, кабельні конструкції). Опір заземлення не повинен перевищувати 4 Ом, відповідно до вимог ПУЕ [2].
- Встановлення захисного електрообладнання — автоматичних вимикачів, ПЗВ, диференційних реле, які відключають живлення у випадку короткого замикання або витоку струму. Такі пристрої повинні мати достатню відключаючу здатність, відповідну розрахунковим струмам.
- Огородження місць монтажу — встановлення тимчасових бар'єрів, сигнальних стрічок і знаків, які попереджають про небезпеку.
- Інформаційні заходи — нанесення попереджувальних знаків на електрощитах, люках, доступах до кабельних каналів. Використання маркування для кабелів та обладнання.
- Блокування доступу — установка замків, вимикачів із ключовим керуванням, електроблокіровок для унеможливлення випадкового включення напруги.

Організаційні заходи [20]:

- Проведення інструктажів з охорони праці та пожежної безпеки перед початком робіт.
- Призначення відповідального за електробезпеку на об'єкті, який координує роботи і контролює технічний стан інструментів та засобів захисту.
- Проведення нарядно-допускної системи — для робіт, що виконуються в умовах підвищеної небезпеки (висота, замкнений простір, під напругою).
- Регулярна перевірка технічного стану електроінструменту, ЗІЗ, наявності пожежогасників.

Таблиця 4.3 – Засоби індивідуального захисту при модернізації системи електропостачання

Тип ЗІЗ	Призначення	Особливості використання	Частота використання	Термін використання
Захисна каска	Захист голови від ударів і падіння предметів	Обов'язкова в усіх технічних приміщеннях, на сходах	Постійно	2–3 роки або до появи пошкоджень
Діелектричні рукавички	Захист від ураження струмом	Перевірка перед кожним використанням	При всіх роботах з напругою	1 рік (за умови щомісячної перевірки)
Ізолювальне взуття	Перешкода струму через землю	Без тріщин, має відповідний сертифікат	Постійно	До 2 років або до зносу
Пояс страховальний з карабіном	Захист при роботі на висоті (дах, щити)	Використовується тільки при висотних роботах	За потреби	5 років (при належному догляді)
Захисні окуляри/щиток	Захист очей при свердлінні, шліфуванні, пилу	Усі роботи з інструментом, де можливий виліт частинок	За потреби	1–2 роки або до пошкоджень
Світловідбивний жилет	Покращення видимості працівника	Особливо при роботах у під'їздах, на вулиці, у сутінках	За умов поганої видимості	До втрати відбивних властивостей

Спецодяг за сезоном	Захист від температурних факторів	Має відповідати умовам сезону, бути чистим та справним	Постійно	1–2 роки, залежно від умов експлуатації
---------------------	-----------------------------------	--	----------	---

4.5 Приклад розрахунку

Приклад розрахунку мінімальної кількості вогнегасників

Згідно з НАПБ Б.01.008-2018 [21], у електрощитовому приміщенні необхідно мати не менше одного вогнегасника на кожні 20 м² площі, але не менше двох, якщо є декілька входів або високий рівень пожежної небезпеки (наявність електроустановок під напругою).

Дані:

- Площа електрощитової — 35 м².
- Наявність двох входів.
- Приміщення містить активні силові автоматичні вимикачі та кабельні траси.

Розрахунок:

$$n_{\text{вогнегасників}} = \frac{35}{20} \approx 2$$

Але з огляду на пожежонебезпечні умови та наявність кількох входів:

Рекомендується встановити 3 вогнегасники: два — біля входів, один — у центрі приміщення.

Тип вогнегасників: ВВК-5 або ВП-5 — придатні для гасіння електрообладнання до 1000 В.

4.6 Вибір заходів та засобів з пожежної безпеки

Пожежна безпека під час модернізації системи електропостачання багатоповерхової житлової будівлі є ключовим елементом загальної системи охорони праці. Роботи проводяться у приміщеннях з електроустановками, поблизу

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	95
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

легкозаймистих матеріалів, із використанням електрифікованого інструменту, що значно підвищує ризик виникнення пожежі [22].

Основними причинами загоряння під час таких робіт можуть бути: коротке замикання, перегрів контактних з'єднань, механічне пошкодження кабелів, іскріння під час монтажу, а також недотримання вимог електробезпеки.

Підбір засобів пожежогасіння має здійснюватись відповідно до потенційних джерел займання, характеристик приміщень та специфіки електрообладнання. У зв'язку з цим основними засобами первинного пожежогасіння є вуглекислотні (ВВК) та порошкові (ВП) вогнегасники, які придатні для гасіння електроустановок, що можуть перебувати під напругою.

Вогнегасники повинні бути розміщені [22]:

- у електрощитових приміщеннях;
- на сходових клітинах;
- у підвальних або технічних поверхах;
- поблизу основних зон проведення монтажу;
- в транспортних засобах, задіяних у доставці обладнання.

У разі підвищеного ризику займання — влітку, у періоди спеки, або при великій кількості кабельної продукції — рекомендується додатково забезпечити об'єкт ранцевими водяними вогнегасниками, ємностями з водою або піском.

Працівники повинні пройти інструктажі з пожежної безпеки, знати порядок дій у випадку займання: негайне знеструмлення ділянки, використання засобів пожежогасіння, виклик пожежної служби, евакуація людей із небезпечної зони. Заборонено використовувати воду або піну для гасіння електрообладнання під напругою [22].

Усі протипожежні заходи мають бути передбачені у плані охорони праці, а розташування вогнегасників — позначено на схемах евакуації та відомостях пожежної безпеки [22].

Таблиця 4.4 – Вибір заходів з пожежогасіння

Ситуація / Загроза	Можливе джерело займання	Рекомендовані засоби пожежогасіння	Особливості застосування
Коротке замикання в щитовому обладнанні	Перегрів, пошкодження ізоляції	Вогнегасник ВВК-5 (вуглекислотний)	Безпечний для гасіння електроустановок, не пошкоджує обладнання
Іскріння або перегрів автоматів/реле	Ненадійні з'єднання, погана фіксація контактів	Порошковий вогнегасник ВП-5 або ВП-10	Підходить для пластикових і корпусів електроніки
Займання кабелів або ізоляційних матеріалів	Коротке замикання, фізичне пошкодження	Вуглекислотний або порошковий вогнегасник	Не залишає слідів, не викликає корозії
Робота у вузьких або закритих приміщеннях	Перегрів, іскріння	Вогнегасники компактного типу	Розміщення поблизу щитів або зон монтажу
Масштабне загоряння у підвальному приміщенні	Скупчення горючих матеріалів + електрика	ВП-10, виклик пожежної служби	Самостійне гасіння лише на початковій стадії
Робота у спекотний період (літня температура)	Перегрів кабелю, інструменту, займистих матеріалів	Ранцевий вогнегасник, вогнегасники ВП та ВВК	Профілактичне забезпечення декількома типами вогнегасників
Вогонь поблизу шафи або автомата на висоті	Іскріння під час монтажу або перевантаження	Вогнегасник при основі, швидкий доступ знизу	Доступ з землі або поверхів, контроль справності інструменту

Висновок до розділу

У розділі всебічно розглянуто питання охорони праці та пожежної безпеки під час модернізації системи електропостачання багатоповерхової житлової будівлі. Враховано складні умови виконання робіт, зокрема обмежений простір, присутність мешканців, необхідність роботи на висоті, у технічних приміщеннях, підвалах і дахах, а також контакт із діючими електроустановками. Такі умови потребують ретельного дотримання вимог безпеки на всіх етапах виконання монтажних операцій.

У процесі аналізу визначено основні виробничі ризики: ураження електричним струмом, падіння з висоти, виникнення пожеж внаслідок короткого замикання або іскріння, перевантаження мережі, вплив несприятливих метеоумов, перегрів або переохолодження працівників, а також ускладнення, пов'язані з шумом, пилом, вібрацією та недостатнім освітленням. Для запобігання цим ризикам проектом передбачено низку технічних і організаційних заходів. Зокрема, йдеться про використання засобів індивідуального захисту, впровадження сучасного електрообладнання з підвищеним рівнем безпеки, організацію огороження небезпечних зон, нанесення попереджувальних позначень та контроль технічного стану обладнання.

Також розглянуто питання професійної підготовки персоналу: допуск до робіт лише працівників з відповідною групою з електробезпеки, проведення інструктажів, навчання з надання першої допомоги та дотримання регламенту допуску до небезпечних зон. Особливу увагу приділено забезпеченню пожежної безпеки: правильному вибору та розміщенню первинних засобів пожежогасіння, інформуванню працівників про порядок дій у разі займання, а також регулярному технічному обслуговуванню вогнегасників і контрольних засобів.

Загалом впровадження вказаних заходів значно знижує ризики виникнення аварійних ситуацій, створює безпечні умови праці, захищає життя і здоров'я персоналу та забезпечує відповідність виконаних робіт вимогам чинного

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	98
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

законодавства України у сфері охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки.

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		99

ВИСНОВОК

- 1) У проекті було розроблено проект мережевої сонячної електростанції для багатоквартирного будинку.
- 2) Було проведено вибір основного та захисного обладнання а також вибір апаратів захисту, що необхідні для безпечно та максимально ефективного забезпечення енергопотреб приватного будинку, а також отримання прибутку за рахунок продажу надлишків електричної енергії за «зеленим тарифом».
- 3) У цьому проекті розраховано щорічну виробітку СЕС з врахуванням конструкції даху та кутів нахилу монтажних поверхонь. Прогнозування виробітку було проведено за допомогою сучасного програмного забезпечення.
- 4) Було проведено економічний розрахунок терміну окупності станції, який склав приблизно 5 років, та прогнозування отриманого за час експлуатації прибутку – 36725 доларів.

					ОЕ-11.19-013 ПЗ	
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		100

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. IEC 60364-8-1 Low-voltage electrical installations – Part 8-1: Energy efficiency. – Geneva: IEC, 2019.
2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
3. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – Київ: Мінпраці України, 2001.
4. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва: Госстандарт РФ, 1997.
5. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Київ: Мінрегіон України, 2018.
6. Светодиодный светильник для промышленного освещения LGT Prom Solar 340-2. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://veche.by/tovar/svetodiodnyj-svetilnik-dlya-promyshlennogo-osveshheniya-lgt-prom-solar-340-2/>
7. Philips. Pacific LED Gen5 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.lighting.philips.ua/prof/indoor-luminaires/waterproof-and-cleanroom/waterproof-luminaires/pacific-led-gen5/LP_CF_8670882_EU/family
8. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Електрообладнання. – Київ: Мінрегіон України, 2010.
9. НАПБ Б.03.002-2007. Норми належного утримання установок електропостачання.
10. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015. Настанова з проектування електроосвітлення промислових будівель. – Київ: Мінрегіон України, 2015.
11. Лещенко І. М., Олійник М. М. Захист і автоматика в електропостачанні. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 248 с.
12. Schneider Electric. Автоматичний вимикач NSX LV432948, 500А – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://luxelectro.com.ua/ru/avtomaticheskij-vyklyuchatel-schneider-electric-nsx-lv432948-500a-detail.html>

- 13.ДСТУ EN 60269-2:2017. Вимикачі плавкі. Частина 2. Додаткові вимоги до плавких вставок для застосування у побутових та аналогічних установках. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 98 с.
14. Mini-предохранитель ETI CH 6.3x32 HT 16A 500V – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://luxelectro.com.ua/ru/mini-predokhranitel-eti-ch-6-3x32-ht-16a-500v-detail.html>
15. Schneider Electric. Автоматичний вимикач 6кА, 1Р, 16А, С, Resi9 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://schneider.kiev.ua/avtomatichnij-vimikach-6ka-1p-16a-c-resi9-schneider-electric-r9f12116>
16. ABB VD4P 12/2032/P210 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eltra-trade.com/products/abb-vd4p-122032-p210>
17. JA Solar – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.shanxusolar.com/JA-Solar>
18. Інвертор DEYE SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-inverters/deye-sun-15k-sg01-hp3-eu-am2>
19. ДСТУ ISO 45001:2018. Системи управління охороною праці та безпекою: вимоги з рекомендаціями щодо застосування. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 46 с.
20. НАПБ Б.01.008-2018. Порядок проведення навчання і перевірки знань з питань пожежної безпеки.
21. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні: наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417. – Київ: МВС України, 2015. – 124 с.