

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: Розробка системи електропостачання району міста та складського
комплексу з керуванням попитом**

Виконав:

студент IV курсу, групи ОЕ-11

Владислав ТАРАН _____

Керівник:

Доцент Олег Вікторович КОЦАР _____

Консультанти:

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

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль _____ пров. інженер Прокопенко І.Д. _____

(назва розділу)

(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 _____

Київ – 2025 рік

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

Тарану Владиславу Вікторовичу

1. Тема проєкту «Розробка системи електропостачання району міста та складського комплексу з керуванням попитом»,

керівник проєкту *к.т.н., доц. Олег Вікторович КОЦАР* затверджені наказом по університету від «23» травня 2025 р. №1698-с

2. Термін здачі студентом закінченого проєкту “23” червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту Схема електропостачання, дані про навантаження промислового цеху, тип та довжини кабельних ліній

4. Перелік розділів, які мають бути розроблені

а) Загальна частина - Загальні відомості про об'єкт з керуванням попиту

б) Електрична частина: - Вибір елементів системи електропостачання.

в) Релейний захист: - Вибір елементів захисту електричної мережі.

г) Спеціальна частина: - реалізація системи керування попитом у складському комплексі.

д) Охорона праці: - Охорона праці та пожежна безпека під час експлуатації кабельної мережі 0,4 кВ

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1. Загальна схема мережі
2. Схема живлення цеху
3. Однолінійна принципова електрична схема сонячної станції
4. Структурна схема інтелектуальної системи електропостачання–
електроспоживання

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 струмів короткого замикання</i>	<i>к.т.н., доц. Белоха 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 Тараном В. В.

(прізвище, ініціали)

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту	Позначки керівника про виконання завдань
1	Розрахунок електричної частини	20.05.-05.06.24	
2	Розрахунок релейної частини	25.05.-27.05.25	
3	Розрахунок струмів короткого замикання	27.05.-29.05.25	
4	Розрахунок індивідуального завдання дипломного проєкту	29.05.-04.06.25	
5	Розрахунок частини охорони праці та пожежної безпеки	04.06.-10.06.25	
6	Підготовка графічного матеріалу	10.06.-13.06.24	
7	Захист дипломного проєкту	24.06.2024	

Студент

Владислав ТАРАН

Керівник проєкту

Олег Вікторович КОЦАР

РЕФЕРАТ

Тема дипломного проекту: «Розробка системи електропостачання району міста та складського комплексу з керуванням попитом». Дипломний проект містить 98 сторінок основного тексту, 28 рисунків, 31 таблицю, 16 літературних джерел за переліком посилань, 2 додатки та 4 креслення.

У ході виконання дипломного проекту було проведено розрахунок електричного навантаження цеху складського комплексу, визначено основні параметри та технічні характеристики електропостачання. Було підібрано живильну мережу для напруги понад і нижче 1 кВ, вибрано силові трансформатори, а також засоби захисту й автоматику. Проведено розрахунки струмів короткого замикання на сторонах високої та низької напруги.

У спеціальній частині було розглянуто принципи функціонування системи керування попитом та її застосування для складського комплексу. Проведено аналіз потенційних стратегій зниження пікового навантаження шляхом оптимізації графіків роботи обладнання, визначено можливості інтеграції систем накопичення енергії та гнучкого споживання.

Ключові слова: КЕРУВАННЯ ПОПИТОМ, СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, ДОБОВЕ СПОЖИВАННЯ, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ.

REPORT

The topic of the thesis is " Development of a power supply system for a city district and a warehouse complex with demand response ". The project consists of an contains 98 pages of main text, 28 illustrations, 31 tables, 16 references 2 appendices and 4 drawings

During the implementation of the diploma project, the electrical load of the warehouse complex workshop was calculated, the main parameters and technical characteristics of the power supply were determined. The power supply network was selected for voltages above and below 1 kV, power transformers were selected, as well as protection and automation. Short-circuit currents were calculated on the high and low voltage sides.

In a special issue, the principles of the demand response power supply system and its application for the warehouse complex were considered. Potential strategies for reducing peak load by optimizing equipment schedules were analyzed, and the possibilities for integrating energy storage and flexible consumption systems were determined.

Keywords: DEMAND RESPONSE, POWER SUPPLY SYSTEMS, ELECTRICAL LOADS, DAILY CONSUMPTION, SOLAR POWER PLANT

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

DSM - Demand-side management (Управління попитом)

LM - Load management (Управління навантаженням)

ЕП - електроприймачі

ЗІЗ - Засоби індивідуального захисту

ПЛ – повітряна лінія;

ПУЕ - Правила улаштування електроустановок;

СЕС - сонячні електростанції

СП - силовий пункт

ТП - трансформаторна підстанція

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
Висновок до розділу:.....	15
2 РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	17
2.1 Умови проектування	17
2.2 Розрахунок електричних навантажень цеху промислового підприємства	20
2.3 Вибір трансформаторів і засобів компенсації реактивної потужності	32
2.4 Центр навантажень об'єкту проектування.....	35
2.5 Розрахунок живлячих і розподільних мереж. Вибір перерізу ліній низької напруги, що живлять житлові та громадські будівлі	36
2.6 Вибір комутаційної апаратури розподільної мережі.....	43
2.7 Розрахунок струмів короткого замикання та перевірка вибраних комутаційних апаратів і живлячих провідників за умов короткого замикання	45
2.8 Проектування та впровадження захисту від струмів короткого замикання та перевантаження.....	58
2.8.1 Селективність і координація захисту	59
2.8.2 Реалізація захисту на об'єкті	60
2.8.3 Вимоги до монтажу та налаштування	62
2.9 Релейний захист та автоматика (РЗА).....	63
2.10 Організація обліку електричної енергії на об'єкті проектування	66
2.11 Економічні характеристики проекту	66
Висновок до розділу:.....	67
3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОПИТОМ У СКЛАДСЬКОМУ КОМПЛЕКСІ.....	68
3.1 Методи управління попитом	68
3.2 Керування попитом за рахунок зменшення або переносу навантаження .	73
3.3 Використання мікрогенерації на базі сонячної електростанції для підтримки системи управління попитом	77
Висновок до розділу.....	84
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАБЕЛЬНОЇ МЕРЕЖІ 0,4 КВ.....	85
4.1 Загальна характеристика об'єкта.....	85
4.2 Основні роботи при експлуатації кабельних ліній 0.4 кВ.....	86
4.3 Визначення та оцінка показників умов праці на робочих місцях.....	87

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

4.4	Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників....	88
4.5	Вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці	90
4.6	Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків пожеж і вибухів	93
ВИСНОВОК		95
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		97
ДОДАТОК А		99
ДОДАТОК Б.....		100

ВСТУП

Сучасні умови функціонування енергетичної системи України вимагають впровадження новітніх підходів до управління споживанням електроенергії, особливо в умовах зростання частки відновлюваних джерел енергії та необхідності балансування попиту і пропозиції в реальному часі. У цьому контексті значну увагу привертає концепція керування попитом, яка передбачає гнучке реагування споживача на зовнішні сигнали з метою оптимізації енергоспоживання, зменшення навантаження на мережу в пікові періоди та підвищення загальної ефективності енергосистеми.

Об'єктом дослідження в дипломному проєкті є складський комплекс з виробничим цехом, у якому реалізовано технічні та організаційні рішення для участі у програмі керування попитом. Особливу увагу приділено оцінці технічної готовності підприємства, характеристиці його енергоспоживання, впровадженню відновлюваних джерел енергії (зокрема сонячної електростанції), а також моделюванню потенціалу гнучкого навантаження.

Основні завдання, які вирішуються в межах цього проєкту, включають:

- 1) дослідження технічних характеристик та функціонального призначення приміщення виробничого цеху;
- 2) проєктування загальної схеми електропостачання та вибір відповідних комутаційних апаратів з урахуванням специфіки споживачів;
- 3) виконання розрахунків струмів короткого замикання, розробка системи релейного захисту та аналіз питань охорони праці під час експлуатації електроустановок.
- 4) розгляд можливих методів зниження споживання електроенергії.

Виконання поставлених завдань дозволить зробити обґрунтовані висновки щодо доцільності впровадження системи керування у складському комплексі

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проектованим об'єктом є електропостачання міського району, розташованого в межах міста Одеси. Район представлений комплексом споживачів різного призначення, що включає як промислові, так і житлово-комунальні та громадські об'єкти. Така структура об'єкта зумовлює необхідність розроблення інтегрованого підходу до проектування системи електропостачання з урахуванням режимів навантаження, рівня надійності живлення, енергоефективності та роботи мережі у аварійні режими.

До складу житлової забудови входять п'ять багатоквартирних будинків з газовими плитами, кожен заввишки п'ять поверхів. Перші два будинки складаються з трьох секцій і містять 60 квартир кожен, інші три — з чотирьох секцій і 80 квартир кожен відповідно. У структурі громадських об'єктів передбачено кінотеатр на 1000 місць, супермаркет з торговельною залогою площею 750 м² та дошкільний навчальний заклад (дитячий садок) на 150 місць.

До промислових відноситься складський комплекс із виробничим цехом, що поєднує логістичну та технологічну функції. Комплекс передбачає змінну структуру електричних навантажень, наявність енергоємного обладнання та потенціал для інтеграції відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій, а також впровадження системи керування попитом. Будівля працює у режимі п'ятиденного тижня з 8:00 до 19:00. У вечірній час у будівлі присутні охоронці. Складський комплекс складається з двох основних функціональних зон - виробничого цеху та складського приміщення, що разом забезпечують безперервний технологічно-логістичний цикл підприємства.

Виробничий цех виконує функції обробки та доопрацювання продукції, виготовлення комплектуючих або серійного складання, в залежності від потреб

					ОЕ-11-25.017 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Таран В. В.					11	
Перевір.		Коцар О. В.				ІЕЕ ОЕ-11		
Перевір.								
Н. Контр.		Прокопенко І. Д						

господарської діяльності підприємства. У ньому працюють кваліфіковані фахівці такі як оператори верстатів, техніки, інженери, які забезпечують виконання виробничих процесів згідно з технологічними регламентами. Виробництво функціонує в змінному режимі, що дозволяє гнучко адаптувати графік роботи відповідно до обсягів замовлень.

Складська частина об'єкта призначена для зберігання сировини, готової продукції та супутніх матеріалів. Асортимент складських запасів може включати технічні вироби, матеріали для виробництва, запчастини, упаковку тощо. Робота складу організована із врахуванням циклічності поставок і відвантажень, що забезпечує безперервну підтримку виробничих процесів. Склад обслуговується персоналом, який працює у позмінному графіку з урахуванням логістичних операцій.

Така інтеграція цеху та складу дозволяє оптимізувати внутрішні процеси зберігання, обліку, обробки та переміщення матеріальних ресурсів, забезпечуючи ефективне функціонування підприємства в цілому.

Об'єктом індивідуального завдання у даній роботі є складський комплекс з виробничим цехом, на базі якого впроваджено систему керування попитом (Demand Response) із залученням до балансуючого ринку електроенергії. Комплекс поєднує у собі як виробничу, так і логістичну функцію, забезпечуючи гнучке використання енергоресурсів за рахунок інтеграції відновлюваних джерел енергії та адаптивного управління навантаженням.

Складський комплекс розташований на окремій виробничій ділянці та включає дві основні функціональні зони: виробничий цех площею 1485 м² та складське приміщення площею 720 м². Виробнича частина оснащена різноманітним енергоспоживаючим обладнанням: шліфувальними, фрезерними, токарними, агрегатними та іншими типами верстатів, а також електротермічними установками, вентиляційними системами та освітленням. Весь технологічний процес організовано таким чином, щоб забезпечити ефективну взаємодію між складською логістикою та обробкою продукції у цеху.

Необхідні умови для участі в програмі керування попитом

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

Для повноцінної участі складського комплексу у програмі керування попитом (Demand Response), зокрема у форматі інтеграції до балансуєчого ринку електроенергії, необхідне дотримання низки технічних, організаційних та нормативних вимог. Такі вимоги забезпечують можливість гнучкого реагування на сигнали системного оператора з метою зміщення або обмеження електроспоживання у визначені періоди часу.

1. Технічна готовність об'єкта

Першочерговою умовою є наявність керованих навантажень, які можуть бути відключені або переведені в інший період доби без істотного впливу на виробничу ефективність. У структурі складського комплексу до таких споживачів відносяться верстати з переривчастим циклом роботи, електротермічні установки та інше допоміжне обладнання. Для забезпечення оперативного керування навантаженням необхідно встановити систему диспетчеризації або контролери, що забезпечують дистанційне вмикання та вимикання окремих груп споживачів.

2. Засоби обліку та зв'язку

Обов'язковим компонентом участі є впровадження автоматизованої системи комерційного та технічного обліку електроенергії (АСКОЕ), яка забезпечує точне вимірювання споживання в реальному часі. Крім того, підприємство повинно мати телеметричні канали зв'язку для передачі даних до системного оператора або агрегатора гнучкості. Усі засоби зв'язку та лічильники повинні відповідати технічним умовам, встановленим кодексом системи передачі електроенергії.

3. Реєстрація та нормативне оформлення

Для участі у балансуєчому ринку підприємство має бути зареєстроване як учасник програми зменшення споживання або укласти договір з уповноваженим агрегатором, який здійснює представництво інтересів малого або середнього споживача. Крім того, необхідна реєстрація у відповідному модулі ринку допоміжних послуг (МДП) згідно з регламентом НКРЕКП.

4. Організаційна готовність

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

На підприємстві повинні бути розроблені внутрішні процедури реагування на сигнали DR – алгоритми відключення/перемикання навантаження, сценарії дій персоналу, а також система моніторингу ефективності участі. Крім того, важливо забезпечити попередню оцінку потенціалу зменшення навантаження (у відсотках або абсолютних значеннях), який може бути запропонований для участі у балансуєчому ринку.

5. Економічна доцільність та мотивація

Доцільність участі визначається можливістю отримання компенсацій за надані послуги гнучкості. Підприємство має здійснювати економічну оцінку вигод від участі у програмі порівняно з потенційними втратами від зміни графіка роботи окремого обладнання. За умови стабільної генерації ВДЕ та наявності гнучкого попиту, такі механізми дозволяють значно підвищити економічну ефективність функціонування підприємства.

Участь у програмах керування попитом для середніх споживачів, таких як складський комплекс, зазвичай здійснюється через агрегатора гнучкості — спеціалізовану компанію або платформу, яка об'єднує декілька енергоспоживачів з метою формування загального портфеля гнучкого навантаження. Агрегатор виступає посередником між підприємством та оператором системи передачі, координує взаємодію, передає сигнали керування навантаженням, забезпечує облік, верифікацію відповідей та розподіл компенсацій за надану гнучкість.

Враховуючи зазначені технічні та організаційні умови, підприємства отримують змогу долучитися до програм гнучкого керування навантаженням. Проте для середніх споживачів участь у таких програмах часто є складною без додаткової підтримки. Саме тому на практиці реалізація керування попитом для об'єктів на кшталт складського комплексу зазвичай здійснюється через агрегатора гнучкості. Завдяки агрегатору, підприємства отримують доступ до балансуєчого ринку навіть у разі, якщо їхня індивідуальна величина споживання недостатня для прямої участі. Це значно спрощує процес підключення до системи керування попитом, знижує адміністративне та технічне навантаження

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

на підприємство, а також дозволяє оптимізувати фінансову вигоду від наданої гнучкості. У перспективі, подібна кооперація сприяє розвитку розподіленої енергосистеми та підвищує стабільність роботи енергомережі в умовах динамічного попиту та генерації.

Оскільки участь у програмах керування попитом часто передбачає інтеграцію з зовнішніми платформами агрегаторів, важливу роль у цьому процесі відіграє рівень цифрової підготовленості підприємства. Саме тому наступним ключовим елементом є цифровізація енергетичної інфраструктури - вона створює основу для гнучкого, швидкого й економічно ефективного реагування на сигнали ринку. Цифровізація енергоспоживання відіграє ключову роль у функціонуванні програм керування попитом. Для ефективної участі в програмах керування попитом складський комплекс має бути оснащений сучасними засобами вимірювання, збору, передачі та аналізу даних.

Встановлення систем комерційного та технологічного обліку, телеметрії у реальному часі, інтеграція з хмарними платформами моніторингу енергоспоживання дозволяє оперативно реагувати на сигнали ринку, а також автоматизувати процеси відключення або перенесення навантаження. Використання програмного забезпечення для оптимізації графіків споживання, прогнозування генерації від ВДЕ та оцінки економічної доцільності участі в балансуєчому ринку є обов'язковою складовою стратегії цифрової трансформації енергоємних об'єктів.

Висновок до розділу:

Розгляд загальних характеристик складського комплексу з виробничим цехом та вимог до участі в програмі керування попитом (Demand Response) засвідчив, що подібні об'єкти мають значний потенціал до інтеграції в сучасні енергетичні ринки. Завдяки наявності гнучких навантажень, відповідної інфраструктури електропостачання та власної генерації з відновлюваних джерел енергії, підприємство здатне ефективно реагувати на сигнали системного оператора та брати участь у балансуєчому ринку. Водночас успішна реалізація

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

таких програм потребує цифровізації енергетичного обліку, автоматизації управління навантаженням та співпраці з агрегатором гнучкості. Це дозволяє не лише знижувати витрати на електроенергію, а й підвищити гнучкість виробництва, сприяючи розвитку сталої енергетики та стабільності енергосистеми України.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

2 РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Умови проєктування

В даному проєкті розглянута система електропостачання району міста. Вона є складною і важливою інфраструктурною частиною його функціонування. Забезпечення ефективної роботи цієї системи вимагає детального планування та дотримання визначених норм та вимог. Основні компоненти, такі як розподільні мережі, трансформаторні підстанції, індивідуальні та комунальні споживачі, взаємодіють у великому масштабі, і їх правильна організація має велике значення для забезпечення стабільності та доступності електроенергії для всіх міських секторів.

Враховуючи вимоги ПУЕ, необхідно здійснити нормативний вибір, та розташування трансформаторних підстанцій, дотримання вимог безпеки для цього об'єктів. При цьому, враховуючи різноманітність споживачів у мікрорайонах, важливо розробляти оптимальні схеми електромереж для кожного району.

Сучасні тенденції у споживанні електроенергії вимагають не лише надійності постачання, але й управління споживанням, що може бути досягнуто за допомогою сучасних систем моніторингу та автоматизації.

Живлення міських споживачів здійснюється за допомогою розподільних мереж напругою 10 кВ і 0,38 кВ.

В ПУЕ [1] встановлено ряд вимог до конструкцій, розміщення, обладнання підстанцій. Відзначимо найбільш важливі з них. Підстанції не дозволяється вбудовувати в житлові будівлі, школи, лікарні, спальні корпуси санаторіїв.

Підстанції не допускається розміщувати під приміщеннями виробництв з мокрим технологічним процесом, душовими, вбиральнями, ванними і т.д.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Таран В. В.			РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Коцар О. В.					17	
Перевір.						ІЕЕ ОЕ-11		
Н. Контр.		Прокопенко І. Д						

Виключення можливі лише при перекриттях з монолітного бетону і надійної гідроізоляції. Необхідно застосовувати заходи захисту ТП від можливих ушкоджень при розташуванні в безпосередній близькості від шляхів кранів і внутрішньоцехового транспорту.

Вихідні дані проектування представлені на рисунку 2.1.

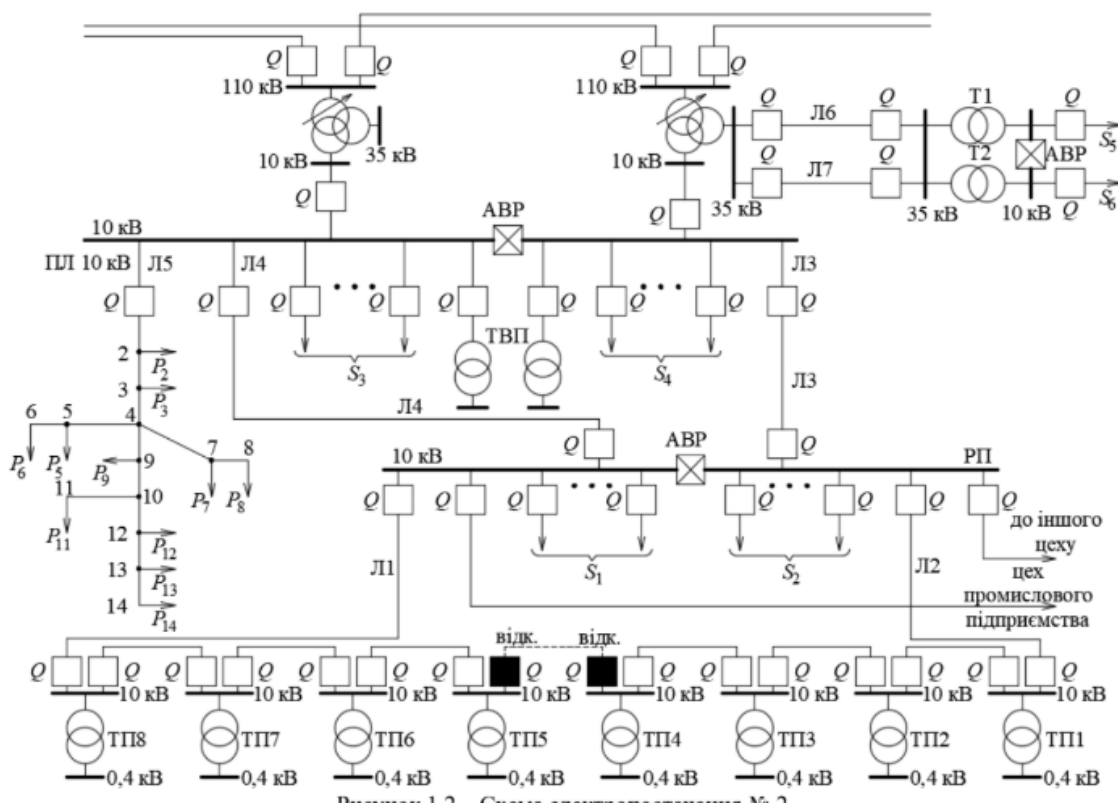


Рисунок 2.1 - Схема електропостачання

Цех є окремим приміщенням, розміри якого $45 \times 33 \times 11$ м. Всі стіни, стеля та підлога виконані у білому кольорі. У підлозі прокладено кабелі. Простір поділений на: вентиляційну камеру, склад та робочу зону верстатів.

Робоча зона включає в себе: шліфувальні верстати, обдираючі верстати, заточувальні верстати, фрезерувальні верстати, свердильні верстати, токарні верстати, агрегатні верстати, електротермічні установки, мостові крани.

Обладнання у цеху заживлено змінною напругою 380 В та частотою 50 Гц. Обладнання, яке відноситься до I категорії: електротермічні установки та вентиляція, їх безперебійність роботи є важливою складовою для здоров'я працівників та процесу виробництва. До II категорії відносяться: заточувальні верстати, обдираючі верстати та мостові крани. Всі інші верстати відносяться до

III категорії надійності, їх знеживлення призведе до зупинки виробництва та простою персоналу.

План цеху з електроприймачами, щитом освітлення, щит аварійного освітлення, силовими пунктами та схемою прокладання кабелю зображений на рисунку 2.2.

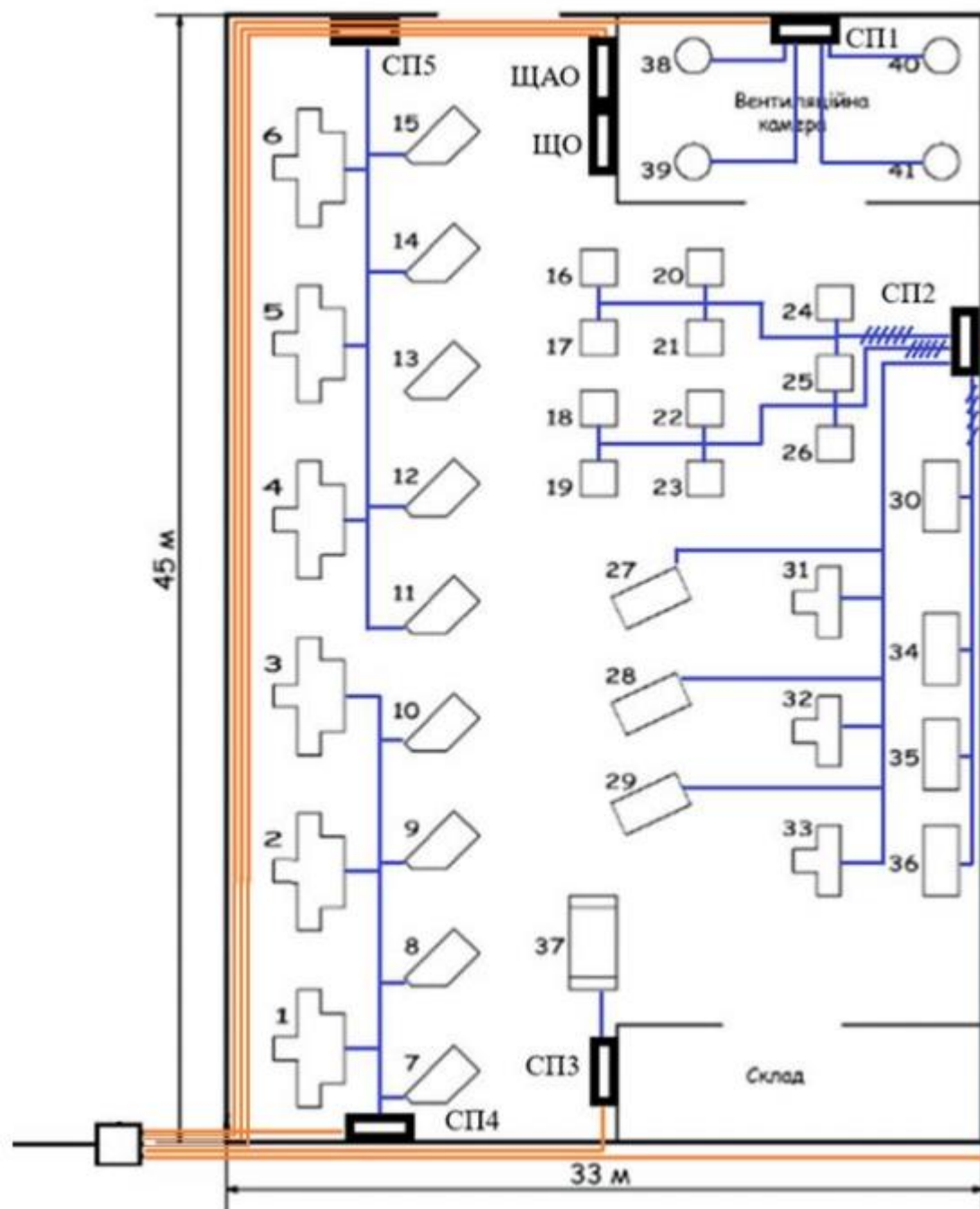


Рисунок 2.2 – План розміщення ЕП цеху обробки корпусних деталей
Щит освітлення та аварійного освітлення встановлено біля входу в цех

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ОЕ-11-25.017 ПЗ

Лист

19

Споживачів електричної енергії, які отримують живлення від силових пунктів занесемо до табл. 2.1. Питоме світлове навантаження.

Таблиця 2.1 – Характеристики ЕП механічного цеху

Номери на плані цеху	Назва ЕП	k_v	$\cos\varphi$	Номінальна потужність p_n , кВт	Категорія надійності
1–6	Шліфувальні верстати	0,22	0,6	88.5	III
7–10	Обдираючі верстати	0,17	0,5	40	II
11–15	Заточувальні верстати	0,2	0,5	5	II
16–23	Фрезерувальні верстати	0,22	0,5	12	III
24–26	Свердлильні верстати	0,14	0,6	3.5	III
27–29	Токарні верстати	0,16	0,6	24	III
31–33	Агрегатні верстати	0,3	0,7	12	III
30, 34–36	Електротермічні установки	0,6	0,9	20	III
37	Мостові крани, ТВ=60 %	0,1	0,5	60	II
38, 39	Вентилятор витяжний	0,6	0,8	30	I
40, 41	Вентилятор приточний	0,6	0,8	40	I

2.2 Розрахунок електричних навантажень цеху промислового підприємства

Метод розрахункових коефіцієнтів (РК) [1], котрий базується на методі упорядкованих діаграм, дає можливість більш точно враховувати формування середніх значень електричних навантажень на високих ступенях електропостачання і тим самим усунути необґрунтоване збільшення розрахункових навантажень.

Номінальна активна потужність групи ЕП розраховується за формулою:

$$P_H = nP_{Hi},$$

де n – кількість ЕП;

P_{Hi} – номінальна потужність електроприймача для вентилятор витяжний

$$P_H = 2 \cdot 30 = 60 \text{ кВт},$$

Розраховуємо номінальну групову активну потужність для СП1:

$$P_H = \sum_{i=1}^n P_{Hi} = 60 + 80 = 140 \text{ кВт}.$$

Розрахункова проміжна потужність:

$$P_{\Pi} = P_{Hi} \cdot K_B = 60 \cdot 0,6 = 36 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Pi} = P_{\Pi} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 36 \cdot 0,75 = 27 \text{ кВт}$$

Для інших споживачів розрахунок проводимо аналогічно та результати зводимо до таблиці 2.2.

Сумарна проміжна активна і реактивна потужності для СП1:

$$P_{\Pi} = \sum_{i=1}^n P_{\Pi i},$$

де $\sum P_{\Pi i}$ – сума активних проміжних потужностей для СП1,

$$P_{\Pi \text{СП1}} = 36 + 48 = 84 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Pi} = \sum_{i=1}^n Q_{\Pi i},$$

де $\sum Q_{\Pi i}$ – сума реактивних проміжних потужностей для СП1,

$$Q_{\Pi \text{СП1}} = 27 + 36 = 63 \text{ квар}.$$

Серед всіх споживачів СП1 шукаємо з максимальною і мінімальною потужностями:

$$P_{\min \text{СП1}} = 30 \text{ кВт},$$

$$P_{\max \text{СП1}} = 40 \text{ кВт},$$

$$m = \frac{P_{\max \text{СП5}}}{P_{\min \text{СП5}}} = \frac{40}{30} = 1,33.$$

Розраховуємо коефіцієнт використання всього силового пункту:

$$K_B = \frac{P_{\Pi}}{P_{H\Sigma}},$$

де P_n – сумарна проміжна потужності для СП1;

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

$P_{H\Sigma}$ - сумарна номінальна потужність для СП1;

$$K_{вСП1} = \frac{P_{п}}{P_{H\Sigma}} = \frac{84}{140} = 0,6,$$

Ефективне число ЕП визначимо по формулі:

$$n_{ef} = \frac{P_{H\Sigma}^2}{\sum P_{Hi}^2},$$

де $P_{H \max}$ - максимальна номінальна потужність

$$n_{efСП1} = \frac{140^2}{30^2 \cdot 2 + 40^2 \cdot 2} = 3,92.$$

Приймаємо $n_{eСП1} = 4$.

Для інших електроприладів розрахунок ведеться аналогічно. Дані зводимо в таблицю 2.2.

Згідно визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження:

$$K_{pСП5} = 1,14.$$

Розраховуємо сумарну розрахункову активну потужність для СП5:

$$P_p = P_{п} K_p,$$

де $P_{п}$ – сумарна проміжна активна потужність для СП5;

K_p – коефіцієнт розрахункового навантаження;

$$P_p = P_{п} K_p = 84 \cdot 1,14 = 95,8 \text{ кВт},$$

Визначаємо розрахункову реактивну потужність:

при $n_e > 10$ $Q_p = Q_{пр}$,

при $n_e \leq 10$ $Q_p = 1,1 \cdot Q_{пр}$,

СП1: $Q_p = 1,1 \cdot Q_{пр} = 69,3$ квар (так як $n_e = 4 < 10$),

Повна розрахункова потужність для СП1:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2},$$

$$S_{pСП5} = \sqrt{95,8^2 + 89,3^2} = 118,2 \text{ кВА}.$$

Розрахунковий струм для СП1:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H},$$

де S_p – повна розрахункова потужність для СП1;

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

U_H – номінальна напруга;

$$I_{pСП5} = \frac{118,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 180 \text{ А.}$$

Для інших СП розрахунок проводимо аналогічно і результати зводимо до таблиці 2.2.

Розрахуємо сумарне силове навантаження цеху:

Сумарна кількість електроприймачів:

$$n_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m n_i,$$

$$n_{\Sigma} = 4 + 21 + 1 + 7 + 8 = 41,$$

Розраховуємо номінальну групову активну потужність:

$$P_H = \sum_{i=1}^n P_{Hi} = 140 + 294,5 + 60 + 88,5 + 88,5 = 1210,5 \text{ кВт},$$

Серед всіх електроприймачів шукаємо з максимальною і мінімальною потужностями:

$$P_{minпСП2} = 3,5 \text{ кВт},$$

$$P_{maxпСП4} = 88,5 \text{ кВт},$$

$$m = \frac{P_{maxпСП1}}{P_{minпСП5}} = \frac{88,5}{3,5} = 25,24.$$

Сумарна проміжна активна і реактивна потужності:

$$P_{пCH} = \sum_{i=1}^n P_{пCHi},$$

$$P_{пCH} = 84 + 92 + 6 + 85,61 + 63,41 = 331,93 \text{ кВт},$$

$$Q_{пCH} = \sum_{i=1}^n Q_{пCHi},$$

$$Q_{пCH} = 63 + 87,87 + 4,5 + 124,74 + 86,335 = 366,44 \text{ квар.}$$

Розраховуємо коефіцієнт використання:

$$K_B = \frac{P_{пCH}}{P_{H\Sigma}},$$

$$K_{вСП} = \frac{331,93}{1210,5} = 0,27.$$

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

Ефективне число ЕП визначимо по формулі:

$$n_{e\Pi} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{n.i.max}},$$
$$n_{e\Pi} = \frac{2 \cdot 1210.5}{88.5} = 27.36.$$

Приймаємо $n_{e\Pi} = 28$.

Згідно [2] визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження:

$$K_p = 0,75.$$

Розраховуємо сумарну розрахункову активну потужність:

$$P_p = P_n K_p,$$
$$P_p = 331.93 \cdot 0,75 = 248.94 \text{ кВт.}$$

Визначаємо розрахункову реактивну потужність:

$$Q_p = K_p Q_{np},$$
$$Q_p = 0,75 \cdot 366.44 = 274.835 \text{ квар.}$$

Повна розрахункова потужність силового навантаження:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2},$$
$$S_p = \sqrt{248.94^2 + 274.835^2} = 370.82 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n},$$
$$I_p = \frac{370.82}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 563.4 \text{ А.}$$

Визначення розрахункових навантажень освітлювальних установок, як правило, передують розрахунки електричного освітлення проєктованого цеху, яке поділяють на робоче та аварійне.

Для розрахунку освітлення в електромеханічному цеху використаємо метод коефіцієнта використання.

Потрібний потік ламп в кожному світильнику Φ знаходиться з формули:

$$\Phi = \frac{E_{min} k_3 F z}{\eta},$$

де k_3 – коефіцієнт запасу;

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

E_{min} – мінімальна освітленість, лк;

F – площа, приміщення, що освітлюється, м²;

z – коефіцієнт нерівномірності освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку – відношення світлового потоку, який падає на робочу поверхню, до світлового потоку світильників.

Коефіцієнт використання η залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стін $\rho_{ст}$, стелі ρ_c , робочої поверхні ρ_p , та від показника приміщення який враховує співвідношення розмірів приміщення.

Приймаємо:

$$\rho_{ст} = 0,5,$$

$$\rho_c = 0,3,$$

$$\rho_p = 0,1.$$

Згідно [2] та вище приведених формул, визначаємо:

$$\text{Коефіцієнт запасу } k_3 = 1,8.$$

$$\text{Мінімальна освітленість } E_{min} = 200 \text{ лк.}$$

$$\text{Коефіцієнт нерівномірності } z = 1,15.$$

Площа приміщення:

$$F = A \cdot B,$$

$$F = 45 \cdot 33 = 1485 \text{ м}^2.$$

Визначимо показник, який враховує співвідношення розмірів приміщення (індекс приміщення):

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

$$h = H - h_c - h_p,$$

де $H = 11$ м – висота приміщення цеху;

$h_c = 1,2$ м – відстань світильника від перекриття;

$h_p = 0,8$ м – висота розрахункової поверхні над підлогою згідно

норм;

$$h = 11 - 1,2 - 0,8 = 9 \text{ м,}$$

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

Тоді:

$$i = \frac{45 \cdot 33}{9 \cdot (45 + 33)} = 2,11.$$

Вибираємо згідно [2] коефіцієнт використання світлового потоку:
 $\eta = 0,35$.

Визначимо світловий потік однієї лампи, необхідний для забезпечення заданої мінімальної освітленості, лм:

Нормоване значення освітленості для цеху дорівнює 200 лк. Коефіцієнт мінімальної освітленості $z = 1,12$. Вибираємо значення коефіцієнту запасу $k_3 = 1,3$.

Вибираємо згідно [2] тип та потужність ламп:

тип натрієва ТМ LightOffer SL250, $\Phi_{\text{л}} = 29000$ лм, $P_{\text{л}} = 250$ Вт,
 $U = 220/100$ В.

Тоді світловий потік:

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1,3 \cdot 1485 \cdot 1,12}{0,35} = 1235520 \text{ лм,}$$

Кількість світильників :

$$N_{\text{св}} = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{л}}},$$
$$N = \frac{1235520}{29000} = 42,6 \approx 43 \text{ шт.}$$

Використовуємо ТМ LightOffer SL250; Потужність ламп $P_{\text{л}} = 250$ Вт, $I = 3$ А, $\cos\varphi = 0,9$, тоді $\text{tg}\varphi = 0,48$.

Визначаємо активну потужність освітлювального навантаження при коефіцієнті попиту ($K_{\text{п}} = 0,9$):

$$P_{\text{осв}} = n P_{\text{л}} K_{\text{п}},$$
$$P_{\text{осв}} = 43 \cdot 250 \cdot 0,9 = 9675 \text{ Вт.}$$

Визначаємо реактивну потужність освітлювального навантаження:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \text{tg}\varphi,$$

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$Q_{\text{осв}} = 9675 \cdot 0,48 = 4644 \text{ вар.}$$

Світильники аварійного освітлення розмістимо рівномірно по всій площі приміщення, значення освітленості при аварійному освітленні для ремонтно-механічного цеху рекомендується брати 5 % від норми робочого освітлення, але не менш як 5 та не більше 30 лк. Для освітлення використаємо LED світильник ДБО 02-15-001 VGL.

$$P_{\text{ав}} = 0,05P_{\text{осв}},$$

$$P_{\text{ав}} = 0,05 \cdot 4644 = 232,2 \text{ Вт.}$$

Розрахуємо повне освітлювальне навантаження:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}\Sigma}^2 + Q_{\text{осв}\Sigma}^2},$$

$$P_{\text{осв}\Sigma} = P_{\text{осв}} + P_{\text{ав}},$$

$$P_{\text{осв}\Sigma} = 4644 + 232,2 = 4876,2 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{осв}\Sigma} = P_{\text{осв}} \operatorname{tg} \varphi,$$

$$Q_{\text{осв}\Sigma} = 4876,2 \cdot 0,484 = 2360,08 \text{ квар.}$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{4876,2^2 + 2360,08^2} = 5,417 \text{ кВА.}$$

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.2.

Активна потужність на шинах 0,4кВ ТП:

$$P_{\text{нн}} = P_{\text{р}} + P_{\text{осв}},$$

де $P_{\text{р}}$ – сумарна розрахункова активна потужність для всіх СП;

$P_{\text{осв}}$ – активна потужність освітлювального навантаження;

$$P_{\text{нн}} = 248,94 + 5,41 = 254,35 \text{ кВт.}$$

Реактивна потужність на шинах 0,4кВ ТП:

$$Q_{\text{нн}} = Q_{\text{р}} + Q_{\text{осв}},$$

де $Q_{\text{р}}$ – сумарна розрахункова реактивна потужність для всіх СП;

$Q_{\text{осв}}$ – реактивна потужність освітлювального навантаження;

$$Q_{\text{нн}} = 232,22 + 2,26 = 234,58 \text{ квар.}$$

Повна потужність на шинах 0,4кВ ТП:

$$S_{\text{нн}} = \sqrt{P_{\text{нн}}^2 + Q_{\text{нн}}^2},$$

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

де P_{HH} і Q_{HH} – активна і реактивна потужність на шинах НН.

$$S_{HH} = \sqrt{254,35^2 + 234,58^2} = 346 \text{ кВА.}$$

Результати розрахунків занесемо в таблицю 2.2

Таблиця 2.2 – Навантаження цеху промислового підприємства

Початкові дані										Проміжні потужності		n_{pe}	n_e	K_p	Розрахункові потужності			Розрахунковий струм I_p, A
За умовою					Довідникові					$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$				$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$	
Найменування ЕП	n, од	Номинальна потужність, кВт				$P_{нi, \text{max}} / P_{нi, \text{min}}$	k_B	cosφ	tgφ			$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	n_{pe}				n_e
		$P_{нi}$	$P_{н\sigma}$	$P_{нi, \text{max}}$	$P_{нi, \text{min}}$													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Вентлятор витяжний	2	30	60				0,6	0,8	0,750	36,000	27,000							
Вентлятор приточний	2	40	80				0,6	0,8	0,750	48,000	36,000							
СП1	4		140	40,0	30,0	1,33	0,6			84,000	63,000	3,9	4	1,14	95,8	69,3	118,2	180
Фрезувальний верстат	8	12	96				0,22	0,5	1,73	21,120	36,538							
Свердильні верстат	3	3,5	10,5				0,14	0,6	1,33	1,470	1,955							
Токарні верстат	3	24	72				0,16	0,6	1,33	11,520	15,322							
Агрегатні верстат	3	12	36				0,3	0,7	1,02	10,800	11,016							
Електротермічні установки	4	20	80				0,6	0,9	0,48	48,000	23,040							
СП2	21		294,5	24	3,5	6,857143	0,315			92,910	87,870	33,9	34	0,75	69,6	87,8	112,04	170,2274
Мостові крани, ТВ=60%	1	60	60				0,1	0,8	0,75	6,000	4,500							
СП3	1		60	60	60	1	1			6,000	4,500	1	1	1,14	6,84	4,95	8,44323	12,82816
Шліфувальний верстат	3	88,5	265,5				0,22	0,6	1,33	58,410	77,685							
Обтираючі верстат	4	40	160				0,17	0,5	1,73	27,200	47,056							
СП4	7		425,5	88,5	40	2,2125	0,201			85,610	124,741	9,5	10	0,91	77,9	137,215	157,786	239,7313
Шліфувальний верстат	3	88,5	265,5				0,22	0,6	1,33	58,410	77,685							
Заточувальні верстат	5	5	25				0,2	0,5	1,73	5,000	8,650							
СП5	8		290,5	88,5	5	17,7	0,218			63,410	86,335	5,3	5	1,02	64,6	94,9688	114,857	174,5079
Сипове навантаження (СП1...СП5) на шинах 0,4 кВ ТП	41		1210,5	88,5	3,5	25,2	0,274			331,930	366,447	27,356	28	0,75	248,9475	274,835	370,822	563,4063
Освітлювальне навантаження (ЩО)															4,876	2,36	5,41	8,23
Сумарне навантаження на шинах 0,4 кВ ТП															216,38	234,58	319,14	484,88

Розрахунок навантажень цивільних об'єктів

Відповідно до ДБН В.2.5-23:2010 "Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення" класифікуємо дані об'єкти за категоріями надійності електропостачання. Дані об'єкти за категоріями надійності електропостачання (табл. 2.3), та наведемо схематичне зображення приєднання об'єктів до ТП (рис. 2.3). ДБН В.2.5-23:2010 "Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення"

Таблиця 2.3 – Характеристики комунально-побутових споживачів

Код об'єкту	Характеристика об'єкту	Кількість	Категорія надійності електропостачання.
Г	Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, 3 секції, 60 помешкань	2	II

Продовження таблиці 2.3

Д	Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, 4 секції, 80 помешкань	3	II
П	Кінотеатр на 1000 місць	1	II
У	Супермаркет площею торговельного залу 750 м	1	II
Х	Дитячий садок на 150 місць	1	III

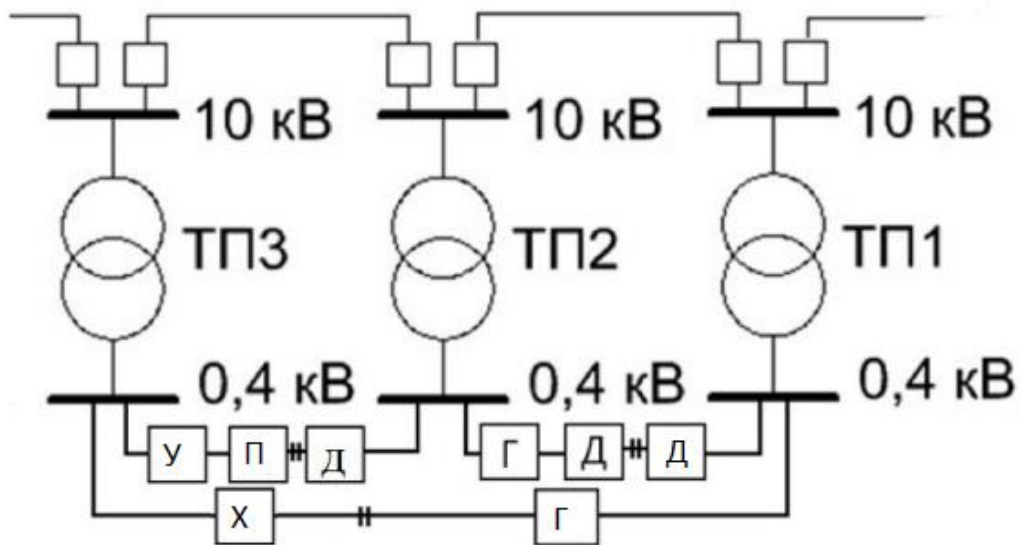


Рисунок 2.3 – Схема приєднання об'єктів до ТП1-3

Розрахункове навантаження при нормальному режимі роботи

Визначення розрахункових навантажень громадських об'єктів:

- Об'єкт Г - Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, секції, 60 помешкань:

$$P_G = 1,14 \cdot 60 + 0 = 68,4 \text{ кВт},$$

$$Q_G = 1,14 \cdot 48 \cdot 0,43 + 0 = 23,52 \text{ квар.}$$

- Об'єкт Д - Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, 4 секції, 80 помешкань:

$$P_D = 1,07 \cdot 48 + 0 = 51,36 \text{ кВт},$$

$$Q_D = 1,07 \cdot 48 \cdot 0,43 + 0 = 22,08 \text{ квар.}$$

Оскільки об'єкти Г та Д – це житлові будинки, що мають однакове їже приготування, то проведемо сумарний розрахунок:

$$P_{Г+Д} = 0,94 \cdot (60 + 80) + 0 = 131,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{Г+Д} = 0,94 \cdot (60 + 80) \cdot 0,43 + 0 = 56,58 \text{ квар.}$$

Записуємо всі розрахунки до таблиці 2.6;

3. Об'єкт П - Кінотеатр на 1000 місць:

$$P_{П} = 1000 \cdot 0,15 = 150 \text{ кВт},$$

$$Q_{П} = 150 \cdot 0,43 = 64,5 \text{ квар.}$$

4. Об'єкт У - Супермаркет:

$$P_{У} = 750 \cdot 0,25 = 187,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{У} = 187,5 \cdot 0,75 = 140,6 \text{ квар.}$$

5. Об'єкт Х – Дитячий садок:

$$P_{Х} = 150 \cdot 0,20 = 30 \text{ кВт},$$

$$Q_{Х} = 30 \cdot 0,20 = 6 \text{ квар.}$$

Записуємо всі розрахунки до таблиці 2.5;

Визначимо розрахункове навантаження ТП:

ТП1 (Г, Д):

Для ТП1 можна об'єднати будинок Г і Д, оскільки вони мають однаковий спосіб приготування їжі:

$$P_{Г+Д} = 0,94 \cdot (60 + 80) + 0 = 131,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{Г+Д} = 0,94 \cdot (60 + 80) \cdot 0,43 + 0 = 56,58 \text{ квар.}$$

$$P_{ТП1} = P_{Г+Д} = 131,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП1} = Q_{Г+Д} = 56,58 \text{ квар.}$$

ТП2 (Г, 2Д):

Для ТП2 можна об'єднати один будинок Г і два Д, оскільки вони мають однаковий спосіб приготування їжі:

$$P_{Г+2Д} = 0,85 \cdot (60 + 80 \cdot 2) + 0 = 187 \text{ кВт},$$

$$Q_{Г+2Д} = 0,85 \cdot (60 + 80 \cdot 2) \cdot 0,43 + 0 = 80,41 \text{ квар.}$$

$$P_{ТП2} = P_{Г+2Д} = 187 \text{ кВт},$$

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$Q_{ТП2} = Q_{Г+2Д} = 80,41 \text{ квар},$$

ТПЗ (У, П, Х):

$$P_{ТПЗ} = 187,5 + 150 \cdot 0,8 + 30 \cdot 0,8 = 331,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТПЗ} = 140,6 + 64,5 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,8 = 197 \text{ квар}.$$

Записуємо всі розрахунки до таблиці 2.6;

Визначення навантажень в післяаварійному режимі роботи

ТП1 (2Г, 2Д, Х):

Для ТП1 можна об'єднати будинки Г і Д, оскільки вони мають однаковий спосіб приготування їжі:

$$P_{2Г+2Д} = 0,82 \cdot (60 \cdot 2 + 80 \cdot 2) + 0 = 229,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{2Г+2Д} = 0,82 \cdot (60 \cdot 2 + 80 \cdot 2) \cdot 0,43 + 0 = 98,7 \text{ квар}.$$

$$P_{ТП1} = 229,6 + 30 \cdot 0,4 = 241,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП1} = 98,7 + 6 \cdot 0,4 = 101,1 \text{ квар}.$$

ТП2 (Г, 3Д, П, У):

Для ТП2 можна об'єднати будинки Г і Д, оскільки вони мають однаковий спосіб приготування їжі:

$$P_{Г+3Д} = 0,81 \cdot (60 + 80 \cdot 3) + 0 = 243 \text{ кВт},$$

$$Q_{Г+3Д} = 0,81 \cdot (60 + 80 \cdot 3) \cdot 0,43 + 0 = 104,49 \text{ квар},$$

$$P_{ТП2} = 243 + 150 \cdot 0,9 + 187,5 \cdot 0,4 = 453 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП2} = 98,7 + 64,5 \cdot 0,9 + 140,6 \cdot 0,4 = 212,99 \text{ квар}.$$

ТПЗ (Г, Д, П, У, Х):

Для ТПЗ можна об'єднати будинки Г і Д, оскільки вони мають однаковий спосіб приготування їжі:

$$P_{Г+Д} = 0,94 \cdot (60 + 80) + 0 = 131,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{Г+Д} = 0,94 \cdot (60 + 80) \cdot 0,43 + 0 = 56,58 \text{ квар},$$

$$P_{ТПЗ} = 187,5 + 150 \cdot 0,8 + 131,6 \cdot 0,4 + 30 \cdot 0,8 = 384,14 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТПЗ} = 140,6 + 64,5 \cdot 0,8 + 56,58 \cdot 0,4 + 6 \cdot 0,8 = 219,63 \text{ квар}.$$

Записуємо всі розрахунки до таблиць (2.4-2.7).

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

Таблиця 2.4 - Розрахунок потужності для житлових будинків

Назва	Умовне позначення	$n_{кв}$	$P_{пит.кв}, кВт/кв$	$tg\phi_{кв}$	$P_{ж/б}, кВт$	$Q_{ж/б}, квар$
ж/б, газ.пл, 3с, 5п	Г	60	1,14	0,43	68,4	23,52
ж/б, газ. пл, 4с, 5п	Д	80	1,07	0,43	51,36	22,08

Таблиця 2.5 - Розрахунок потужності суспільних споживачів

Назва	Умовне позначення	n	$P_{пит.сусп}, кВт/м$	$P_{сусп.кВт}$	$tg\phi$	$Q_{сусп.квар}$
Кінотеатр на 1000 місць	П	1000	0,15	150	0,43	64,5
Супермаркет площею торгівельного залу 750 м	У	750	0,25	187,5	0,75	140,6
Дитячий садок на 150 місць	Х	150	0,2	30	0,2	6

Таблиця 2.6 – Навантаження ТП в нормальному режимі

Назва	$P_{ТП}, кВт$	$Q_{ТП}, квар$
ТП1	131,6	56,58
ТП2	187	80,41
ТП3	331,5	197

Таблиця 2.7 – Навантаження ТП післяаварійному режимі

Назва	$P_{ТП}, кВт$	$Q_{ТП}, квар$
ТП1	241,6	101,1
ТП2	453	212,99
ТП3	384,14	219,63

2.3 Вибір трансформаторів і засобів компенсації реактивної потужності

Таблиця 2.8 - Навантаження ТП в післяаварійному режимі роботи

	$P, кВт$	$Q, квар$
ТП4	260	50
ТП5	190	40
ТП6	160	35
ТП7	210	45
ТП8	160	30

Вище наведено навантаження в післяаварійному режимі (табл. 2.8).

Оберемо трансформатор для ТП1.

$$P_{ТП1} = 131,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП1} = 56,58 \text{ квар},$$

$$S_{ТП1.ТР1} = \sqrt{131,6^2 + 56,58^2} = 143,24 \text{ кВА}.$$

Приймаємо для ТП1 трансформатор ТМ 250/10 з паспортними даними:

$$S_H=250 \text{ кВА};$$

$$\Delta P_{xx}=0,56 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз}=3,7 \text{ кВт};$$

$$I_{xx}=1,9 \text{ \%};$$

$$U_{кз}=4,5 \text{ \%}.$$

Перевірка трансформатора в п/а режимі:

$$S_{п/а} = \sqrt{241,6^2 + 101,1^2} = 261,9 \text{ кВА},$$

$$S_{п/а} = 261,9 < 1,4 \cdot 250 = 261,9 < 350 \text{ кВА}.$$

Перевірка виконується.

Вважаємо, що для ТП4-8 та цехових трансформаторів післяаварійний режим не існує.

Аналогічні розрахунки здійснимо для інших.

Результати занесемо до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Навантаження ТП в післяаварійному режимі роботи

№ТП	P, кВт	Q, квар	S, кВ·А	Sнт, кВА	Pп/а, кВА	Qп/а, квар	Sп/а, кВА	1,4 Sнт, кВА
1	131,6	56,58	143,24	250	241,6	101,1	261,9	350
2	187	80,41	203,55	400	453	212,99	500,5	560
3	331,5	197	385,61	400	384,14	219,63	442,4	560
4	260	50	264,764	400	-	-	-	-

Продовження таблиці 2.9

5	190	40	194,1649	250	-	-	-	-
6	160	35	163,7834	250	-	-	-	-
7	210	45	214,7673	250	-	-	-	-
8	160	30	162.7	250	-	-	-	-
Цех	216,38	234,58	319,14	400	-	-	-	-
Ін.цех*	216,38	234,58	319,14	400	-	-	-	-

* де $P_{\text{ТПін.цех}}$ $Q_{\text{ТПін.цех}}$ – активне та реактивне навантаження іншого цеху промислового підприємства, для розрахунків приймаємо рівним навантаженню розрахованого цеху у підрозділі 1.

Вирішення задачі компенсації реактивної потужності

З огляду на помітний вплив компенсації реактивної потужності на величину втрат електричної енергії й режим напруг, після вибору раціонального обсягу високовольтних і низьковольтних компенсуючи пристроїв, у ряді випадків, постає завдання їх оптимального розподілу відповідно в межах розподільної або низьковольтної мереж.

Реактивний струм додатково навантажує лінії електропередачі, що призводить до збільшення перерізів проводів і кабелів і відповідно до збільшення капітальних витрат на зовнішні і внутрішньо майданчикові мережі. Реактивна потужність разом з активною потужністю враховується постачальником електроенергії, а отже, підлягає оплаті по тарифах, що діють, тому складає значну частину рахунку за електроенергію.

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивній потужності (конденсаторних батарей, синхронних двигунів і синхронних

компенсаторів). За рахунок приєднання до мережі компенсуючого пристрою КП зменшуються втрати потужності і напруги. На практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,93 до 0,99.

Визначимо коефіцієнт активної потужності до компенсації реактивної потужності:

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

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

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

$$\cos\varphi = \cos(\operatorname{arctg}1,19) = 0,689.$$

Існуюче значення коефіцієнта активної потужності менше за потрібне ($0,643 < 0,95$).

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

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

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

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

Отже, обираємо КБ: АКУ-0,4-200-20, $Q_{\text{КБн}} = 200$ квар.

2.4 Центр навантажень об'єкту проєктування

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

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таблиця 2.10 – Зосереджені навантаження підстанції

Навантаження та одиниці їх виміру	Значення
P_3 , МВт	46
Q_3 , Мвар	12
P_4 , МВт	48
Q_4 , Мвар	10

Розраховуємо потужність на початку Л5:

$$P_{Л5} = \sum_{i=1}^n P_i,$$

$$P_{Л5} = 160 + 30 + 30 + 100 + 30 + 50 + 20 + 120 + 70 + 90 + 40 = 740 \text{ кВт},$$

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

$$Q_{Л5} = 740 \cdot 0,48 = 355,2 \text{ квар.}$$

Розраховуємо навантаження на першій секції шин 10 кВ центра живлення:

$$P_{1с.ш} = K_{\text{сум}}(P_{Л5} + P_{Л4} + P_{S3}),$$

де $K_{\text{сум}} = 0,85$ – коефіцієнт суміщення максимумів навантажень міських електромереж і промислових підприємств, (табл. 10 довідкових даних);

$$P_{1с.ш} = K_{\text{сум}}(P_{Л5} + P_{Л4} + P_{S3}) = 0,85(740 + 2422 + 46000) = 41787,7 \text{ кВт},$$

$$Q_{1с.ш} = K_{\text{сум}}(Q_{Л5} + Q_{Л4} + Q_{S3}),$$

$$Q_{1с.ш} = K_{\text{сум}}(Q_{Л5} + Q_{Л4} + Q_{S3}) = 0,85(355,2 + 635 + 12000) = 11041,6 \text{ квар},$$

$$S_{1с.ш} = \sqrt{41787,7^2 + 11041,6^2} = 43221,11 \text{ кВА.}$$

Розраховуємо навантаження на другій секції шин 10 кВ центра живлення:

$$P_{2с.ш} = K_{\text{сум}}(P_{Л3} + P_{S4}),$$

$$Q_{2с.ш} = K_{\text{сум}}(Q_{Л3} + Q_{S4}),$$

$$P_{2с.ш} = 0,8(4684,2 + 48000) = 42147,36 \text{ кВт},$$

$$Q_{2с.ш} = 0,8(1344,1 + 10000) = 9075,28 \text{ квар},$$

$$S_{2с.ш} = \sqrt{42147,36^2 + 9075,28^2} = 43113,34 \text{ кВА.}$$

2.5 Розрахунок живлячих і розподільних мереж. Вибір перерізу ліній низької напруги, що живлять житлові та громадські будівлі

Визначимо переріз КЛ напругою до 1000 В.

Оскільки всі будівлі живляться по петльовій схемі живлення, то кабель

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

вибираємо для всієї петлі однаковий.

Для петлі ТП1-ТП2 (Г, Д):

В нормальному режимі від ТП1 живляться об'єкт, а від ТП2 – об'єкти Д та Г.

Визначимо навантаження для ТП1 та ТП2 в нормальному режимі:

$$P_{\text{ТП1-Д}} = P_{\text{Д}} = 1,07 \cdot 48 + 0 = 51,36 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ТП1-Д}} = 1,07 \cdot 48 \cdot 0,43 + 0 = 22,08 \text{ квар},$$

$$P_{\text{ТП2-Г}} = P_{\text{Г+Д}} = 0,94 \cdot (60 + 80) + 0 = 131,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ТП2-Г}} = Q_{\text{Г+Д}} = 0,94 \cdot (60 + 80) \cdot 0,43 + 0 = 56,58 \text{ квар}.$$

Переріз КЛ визначимо за формулою:

$$F = \frac{\rho \sum_{i=1}^n (P_i L_i)}{10 U_H^2 \Delta U_{\text{доп}}},$$

де P_i розрахункове навантаження, що проходить через кабельну лінію 0,4 кВ у нормальному режимі роботи через ділянку довжиною L_i ;

ρ – питомий опір кабельної лінії, для алюмінію $\rho = 26,2-29,5 \text{ Ом/км}\cdot\text{мм}^2$ (для розрахунків приймаємо $29,2 \text{ Ом/км}\cdot\text{мм}^2$);

$L_{\text{кл}}$ - довжина кабельної лінії, км;

U_H – номінальна напруга, кВ;

$\Delta U_{\text{доп}}$ - допустима втрата напруги, %.

Довжину ліній обираємо довільно в діапазоні 0,03-0,1 км.

$$F_{\text{ТП1-Г}} = \frac{\rho (P_{\text{Г+Д}} \cdot L_{\text{ТП2-Г}} + P_{\text{Д}} \cdot L_{\text{Д-Г}})}{10 \cdot U_H^2 \cdot \Delta U_{\text{доп}}} = \frac{29,2(131,6 \cdot 0,05 + 51,36 \cdot 0,03)}{10 \cdot 0,38^2 \cdot 5} = 16,42 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо струмове навантаження в нормальному режимі:

$$I_p = \frac{\sqrt{P_i^2 + Q_s^2}}{\sqrt{3} U_H},$$

$$I_{\text{ТП1-Д}} = \frac{\sqrt{51,36^2 + 22,08^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 84,93 \text{ А},$$

$$I_{\text{ТП2-Г}} = \frac{\sqrt{131,6^2 + 56,58^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 217,64 \text{ А}.$$

По максимальному перерізу та струмовому навантаженню обираємо кабель, так щоб виконувалась наступна умова:

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$I_{\text{доп}} \geq I_p K_1 K_2,$$

Обираємо АВВГ 4×150, $I_{\text{доп}} = 255$ А, $r_0 = 0,206$ Ом/км.

$$I_p K_1 K_2 = 1 \cdot 0,92 \cdot 255 = 234,6,$$

$$234,60 > 217,64$$

В післяаварійному режимі від ТП живляться всі об'єкти

Розрахуємо навантаження:

$$\frac{\rho(P_{\Gamma+D} \cdot L_{\text{ТПЗ-Г}} + P_D \cdot L_{D-\Gamma})}{10 \cdot U_H^2 \cdot \Delta U_{\text{доп}}} 51,36 + 0,9 \cdot 131,6 = 169,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ТП1-ТП2}}^{\text{п/а}} = P_D + K_{\text{с.м}} P_{\Gamma+D} = 22,08 + 0,9 \cdot 56,58 = 73 \text{ квар.}$$

Визначимо струмове навантаження в післяаварійному режимі:

$$I_{\text{ТП1-ТП2}} = \frac{\sqrt{169,8^2 + 73^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 280,81 \text{ А},$$

Перевірка:

$$I_p K_1 K_2 = 1,3 \cdot 0,92 \cdot 255 = 304,98.$$

$$304,98 > 280,81$$

Перевірка виконується

Розрахуємо падіння напруги зі сторони ТП1:

$$\Delta U_{\text{ТП3}} = \frac{\rho(P_{\Gamma+D} \cdot L_{\text{ТПЗ-Г}} + P_D \cdot L_{D-\Gamma})}{10 \cdot U_H^2 \cdot \Delta U_{\text{доп}}},$$

$$\Delta U_{\text{ТП3}} = \frac{0,206 (187 \cdot 0,06 + 131,6 \cdot 0,04 + 68,4 \cdot 0,03)}{10 \cdot 0,38^2} = 2,6 \% < 10\%,$$

Розрахуємо падіння напруги зі сторони ТП2:

$$\Delta U_{\text{ТП3}} = \frac{r_0(P_{\Gamma+2D} \cdot L_{\text{ТП2-Г}} + P_{2D} \cdot L_{\Gamma-D} + P_D \cdot L_{D-D})}{10 \cdot U_H^2},$$

$$\Delta U_{\text{ТП3}} = \frac{0,206 (187 \cdot 0,05 + 148,8 \cdot 0,03 + 51,36 \cdot 0,03)}{10 \cdot 0,38^2} = 2,1 \% < 10\%,$$

Умова виконується.

Аналогічно виконаємо розрахунки для решти ліній низької напруги .

Результати заносимо до таблиці 2.11:

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.11 - Розрахунок струмів та вибір ліній

Для петлі	Марка	$I_{\text{доп}}, \text{ A}$	$I_p, \text{ A}$	$I_p^{п/а}, \text{ A}$	$\Delta U_{п/а}, \%$
ТП1-ТП2	АВВГ 4×150	255	217,64	280,81	2,6
ТП2-ТП3	2АВВГ 4×240	660	549,82	583,46	6,59
ТП3-ТП1	АВВГ 4×240	330	248	289,79	2,27

Розрахунок мінімально припустимого перерізу ліній розподільної мережі 10 кВ

Визначення розрахункового навантаження Л1 та Л2. Вихідні дані згідно варіанту представлені в таблиці 2.12 та 2.13.

Таблиця 2.12 - Навантаження ТП в післяаварійному режимі роботи

	$P, \text{ кВт}$	$Q, \text{ квар}$
ТП4	260	50
ТП5	190	40
ТП6	160	35
ТП7	210	45
ТП8	160	30

Таблиця 2.13 - Зосереджене навантаження на РП

$P_1, \text{ МВт}$	2,2	$P_2, \text{ МВт}$	1,8
$Q_1, \text{ Мвар}$	0,45	$Q_2, \text{ Мвар}$	0,4

Знайдемо навантаження головної ділянки розподільної мережі Л1 в нормальному режимі роботи:

$$P_{\text{Л1}} = K_{\text{см}}(P_{\text{ТП5}} + P_{\text{ТП6}} + P_{\text{ТП7}} + P_{\text{ТП8}}),$$

$$P_{\text{Л1}} = 0.85 \cdot (190 + 160 + 210 + 160) = 612 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{Л1}} = K_{\text{см}}(Q_{\text{ТП5}} + Q_{\text{ТП6}} + Q_{\text{ТП7}} + Q_{\text{ТП8}}),$$

$$Q_{\text{Л1}} = 0.85 \cdot (40 + 35 + 45 + 30) = 127.5 \text{ квар},$$

$$S_{\text{Л1}} = \sqrt{P_{\text{Л1}}^2 + Q_{\text{Л1}}^2},$$

$$S_{\text{Л1}} = \sqrt{612^2 + 127.5^2} = 625,14 \text{ кВА},$$

$$I_{\text{Л1}} = \frac{S_{\text{Л1}}}{\sqrt{3} \cdot 10},$$

$$I_{\text{Л1}} = \frac{625,14}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,09 \text{ А}.$$

Розрахунок мінімально припустимого перерізу ліній розподільної мережі 10 кВ

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

Знайдемо навантаження головної ділянки розподільної мережі Л1 в післяаварійному режимі роботи:

$$P_{Л1п/а} = K_{см} (P_{ТП1} + P_{ТП2} + P_{ТП3} + P_{ТП4} + P_{ТП5} + P_{ТП6} + P_{ТП7} + P_{ТП8}) = \\ = P_{Л1п/а} = 0.8 \cdot (131,6 + 187 + 331,5 + 260 + 190 + 160 + 210 + 160) = 1304,08 \text{ кВт},$$

$$Q_{Л1п/а} = K_{см} (Q_{ТП1} + Q_{ТП2} + Q_{ТП3} + Q_{ТП4} + Q_{ТП5} + Q_{ТП6} + Q_{ТП7} + Q_{ТП8}) = \\ = Q_{Л1п/а} = 0.8 \cdot (56,58 + 80,41 + 197 + 50 + 40 + 35 + 45 + 30) = 427,19 \text{ квар.}$$

$$S_{Л1п/а} = \sqrt{P_{Л1}^2 + Q_{Л1}^2},$$

$$S_{Л1п/а} = \sqrt{1304,08^2 + 427,19^2} = 1372,2 \text{ кВА},$$

$$I_{Л1п/а} = \frac{S_{Л1п/а}}{\sqrt{3} \cdot 10},$$

$$I_{Л1п/а} = \frac{1372,2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 79,22 \text{ А.}$$

За таблицею ПУЕ (таблиця 1.3.37) обираємо кабель АПвП 3х35 $I_{ДОП} = 119 \text{ А}$ при прокладці в повітрі. Перевіримо кабель за умовою допустимого струму П/А режиму.

$$I_{Л1}^{П/А} < I_{ДОП} K_1 K_2 K_{пер},$$

де K_1 – Коефіцієнт, що враховує фактичні термічні умови експлуатації, приймаємо $K_1=1,03$, вважаючи, що середньорічна температура в регіоні експлуатації $+ 10 \text{ }^\circ\text{C}$;

K_2 – Коефіцієнт, що враховує кількість прокладених кабелів. Оскільки кабель один, приймаємо коефіцієнт рівним 1;

$$K_{ПЕР} = 1,35.$$

$$79,22 < 119 \cdot 1,03 \cdot 1 \cdot 1,35 = 165,46 \text{ А.}$$

Аналогічно для Л2 знайдемо навантаження в нормальному режимі та занесемо результати в таблицю 4.5 .

Знайдемо навантаження живлячої лінії Л3 в нормальному режимі:

$$P_{Л3} = K_{см} (P_{РП2} + P_{Л2} + P_{ТПін.цех}),$$

$$P_{Л3} = 0.8 \cdot (1800 + 773,58 + 216,38) = 2231,86 \text{ кВт},$$

$$Q_{Л3} = K_{см} (Q_{РП2} + Q_{Л2} + Q_{ТПін.цех}),$$

$$Q_{Л3} = 0.8 \cdot (400 + 326,39 + 234,58) = 768,77 \text{ квар},$$

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$S_{ЛЗ} = \sqrt{P_{ЛЗ}^2 + Q_{ЛЗ}^2},$$

$$S_{ЛЗ} = \sqrt{2231,86^2 + 768,77^2} = 2360,5 \text{ кВА},$$

$$I_{ЛЗ} = \frac{S_{ЛЗ}}{\sqrt{3} \cdot 10},$$

$$I_{ЛЗ} = \frac{2360,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 136,2 \text{ А}.$$

Аналогічно для Л4 знайдемо навантаження в нормальному режимі та занесемо результати в таблицю 2.14.

Навантаження лінії ЛЗ в післяаварійному режимі буде рівним навантаженню лінії Л4:

$$P_{ЛЗп/а} = K_{см} (P_{ТПцех} + P_{РП1} + P_{РП2} + P_{Л2} + P_{Л1} + P_{ТПін.цех}) =$$

$$= P_{ЛЗп/а} = 0,8 \cdot (216,38 + 2200 + 1800 + 773,58 + 612 + 216,38) = 4654,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{ЛЗп/а} = K_{см} (Q_{ТПцех} + Q_{РП1} + Q_{РП2} + Q_{Л2} + Q_{Л1} + Q_{ТПін.цех}) =$$

$$= Q_{ЛЗп/а} = 0,8 \cdot (234,58 + 450 + 400 + 326,39 + 127,5 + 234,58) = 1418,44 \text{ квар},$$

$$S_{ЛЗп/а} = \sqrt{P_{ЛЗп/а}^2 + Q_{ЛЗп/а}^2},$$

$$S_{ЛЗп/а} = \sqrt{4654,6^2 + 1418,44^2} = 4865,92 \text{ кВА},$$

$$I_{ЛЗп/а} = \frac{S_{ЛЗп/а}}{\sqrt{3} \cdot 10},$$

$$I_{ЛЗп/а} = \frac{4865,92}{\sqrt{3} \cdot 10} = 280,93 \text{ А}.$$

За таблицею ПУЕ (таблиця 1.3.37) обираємо кабель АПвП 3х95
 $I_{доп} = 119 \text{ А}$ при прокладці в повітрі.

Перевіримо кабель за умовою допустимого струму П/А режиму.

$$280,9 < 203 \cdot 1,03 \cdot 1 \cdot 1,35 = 282,2 \text{ А}.$$

Результати розрахунку струмів ліній наведені в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – обрані кабелі

	Марка	$I_{доп}$, А	I_p , А	$I_p^{п/а}$, А	r_0 Ом/км	x_0 Ом/км
Л1	АПвП 3х35	119	36,09	79,22	0,868	0,095
Л2	АПвП 3х35	119	48,4	79,22	0,868	0,095
Л3	АПвП 3х95	203	136,5	280,93	0,320	0,083
Л4	АПвП 3х95	203	144,5	280,93	0,320	0,083

Розрахунок втрат напруги на окремих ділянках СЕП

Розрахуємо втрати напруги для окремих ділянок СЕП, довжини ланок ліній наведені в таблиці 2.15

Таблиця 2.15 - Довжина ділянок живлячих ЛЗ, Л4 і розподільних Л1, Л2 ліній

Довжини ланок ліній Л1 і Л2 (км)	
п/ст-РП	1,5
РП-ТП1	0,7
ТП1-ТП2	0,8
ТП2-ТП3	0,5
ТП3-ТП4	0,4
ТП4-ТП5	0,5
ТП5-ТП6	0,8
ТП6-ТП7	0,6
ТП7-ТП8	0,4
ТП8-РП	0,3

Регульовальні відгалуження розподільчих трансформаторів мають бути вибрані так, щоб компенсувати втрату напруги в розподільній мережі в режимі максимальних навантажень. Втрати напруги на ділянках розподільчої мережі :

$$\Delta U = \frac{(P_r + Q_x)L}{10U_H^2},$$

де P – активне навантаження елемента мережі, кВт;

r - активний опір мережі, Ом;

Q – реактивне навантаження елемента мережі, квар;

x – реактивний опір мережі, Ом.

Розраховуємо відхилення напруги у будь якій точці мережі та для будь-якого режиму:

$$U_y = E_{\Pi} + E_T + \beta(\Delta U_c + \Delta U_{\text{тр}} + \Delta U_{\text{нн}}),$$

де E_{Π} - добавка напруги в ЦЖ у розглянутому режимі, %;

β - коефіцієнт завантаження (оскільки ми розглядаємо два режими, то приймаємо 1,0 - для режиму максимального навантаження і 0,25 - для мінімального навантаження);

$\Delta U_{\text{тр}}$ - втрата напруги в трансформаторі у режимі максимального навантаження (приймається середня для розглянутої мережі величина), %;

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

ΔU_c - втрата напруги у режимі максимальних навантажень у мережі середньої напруги, %;

$\Delta U_{нн}$ - допустимі втрати у мережі низької напруги, %.

Розрахуємо навантаження на початку ліній, в кінці ліній та втрати потужності на прикладі ділянки ТП3-ТП4:

$$\Delta P_{ТП3-ТП4} = \frac{(P_{ТП4} + \Delta P_{ТП4})^2 + (Q_{ТП4} + \Delta Q_{ТП4})^2}{U_H^2} \cdot r_0 \cdot L_{ТП3-ТП4} \cdot 10^{-3},$$

$$\Delta P_{ТП3-ТП4} = \frac{(260+6,33)^2 + (50 + 13.88)^2}{10^2} \cdot 0,868 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} = 0,26 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{ТП3-ТП4} = \frac{(P_{ТП4} + \Delta P_{ТП4})^2 + (Q_{ТП4} + \Delta Q_{ТП4})^2}{U_H^2} \cdot x_0 \cdot L_{ТП3-ТП4} \cdot 10^{-3},$$

$$\Delta Q_{ТП3-ТП4} = \frac{(260+6,33)^2 + (50 + 13.88)^2}{10^2} \cdot 0,095 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} = 0,029 \text{ квар},$$

$$P_{ТП3-ТП4} = P_{ТП4} + \Delta P_{ТП3-ТП4} + \Delta P_{ТП4},$$

$$P_{ТП3-ТП4} = 260 + 0.26 + 6.33 = 266.59 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП3-ТП4} = Q_{ТП4} + \Delta Q_{ТП3-ТП4} + \Delta Q_{ТП4},$$

$$Q_{ТП3-ТП4} = 50 + 0.029 + 13.88 = 63.9 \text{ квар}.$$

Результати аналогічних розрахунків для інших ланок зведемо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 - Втрати потужності та навантаження на ділянках мереж

Ділянка мережі	ΔP , кВт	ΔQ , квар	P , кВт	Q , квар
ЦЖ-РП(Л4)	30.09	7.8	2452.9	642.9
РП-ТП8(Л1)	0.01	0.011	164.280	58.9
ТП8-ТП7	0.025	0.028	214.285	63.07
ТП7-ТП6	0.020	0.022	164.280	59.592
ТП6-ТП5	0.017	0.019	194.277	61.549
ЦЖ-РП(Л3)	5.34	1.38	2237.2	770.1
РП-ТП1(Л2)	0.052	0.057	274.622	68.99
ТП1-ТП2	0.048	0.053	241.478	63.273
ТП2-ТП3	0.018	0.02	194.478	61.62
ТП3-ТП4	0.026	0.029	266.356	63.9

2.6 Вибір комутаційної апаратури розподільної мережі

У системах електропостачання напругою 0,38 кВ та 10 кВ комутаційні апарати відіграють ключову роль у забезпеченні безпечного, надійного та

ефективного функціонування електричних мереж. Вони слугують як засоби оперативного керування, так і компоненти автоматичного захисту від перевантажень, коротких замикань та інших аварійних ситуацій. До основних типів комутаційного обладнання належать автоматичні вимикачі, роз'єднувачі, вимикачі навантаження, захисні реле, контролери, а також допоміжні пристрої реактори, відгалужувачі та лічильники.

Автоматичні вимикачі є одним з найбільш універсальних і широко застосовуваних елементів комутаційного обладнання. Вони призначені для автоматичного відключення електричних кіл у разі перевантаження або короткого замикання, тим самим запобігаючи пошкодженню обладнання та зниженню рівня безпеки. Сучасні автоматичні вимикачі можуть бути оснащені функціями віддаленого керування, моніторингу стану мережі, а також вбудованою діагностикою.

Роз'єднувачі призначені для створення видимого розриву в електричному колі та забезпечення безпечних умов для проведення ремонтних або регламентних робіт. На відміну від автоматичних вимикачів, вони не розраховані на комутацію струму навантаження, а використовуються виключно у знеструмлених ділянках. Важливими характеристиками є надійність, високий рівень ізоляції та стійкість до зовнішніх впливів.

Вимикачі заземлення використовуються для заземлення окремих елементів електричної мережі перед виконанням робіт на них. Це дозволяє уникнути ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу в разі випадкової подачі напруги.

Захисні реле (струмові, напруги, диференційні тощо) і контролери здійснюють автоматичне відключення аварійних ділянок мережі, запобігаючи пошкодженню обладнання. Вони сприяють стабільній роботі та ефективному управлінню мережею.

Лічильники електроенергії – це невід'ємний елемент інфраструктури для вимірювання споживання, комерційного обліку та енергетичного моніторингу. Вони дозволяють аналізувати ефективність енергоспоживання, виявляти втрати

та приймати рішення щодо оптимізації режимів роботи електричних систем.

Індуктивні реактори використовуються переважно у мережах середньої напруги для обмеження струмів короткого замикання, а також для компенсації реактивної потужності. Вони відіграють важливу роль у регулюванні напруги та стабілізації режимів роботи енергосистеми.

Компактні відгалужувачі ці пристрої забезпечують оперативне підключення або відключення окремих ліній електропередач у місцях відгалуження від основної магістралі. Вони особливо ефективні у системах з децентралізованим розміщенням навантажень, де важлива гнучкість та швидкість перемикачів.

2.7 Розрахунок струмів короткого замикання та перевірка вибраних комутаційних апаратів і живлячих провідників за умов короткого замикання

2.7.1 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі вище 1кВ

2.7.1.1 Побудова розрахункової схеми та розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

Коротке замикання (КЗ) — це непередбачене електричне з'єднання фаз або полюсів струмоведучих елементів електроустановки між собою або з землею, що не відповідає нормальному режиму роботи. Унаслідок цього виникає різке зростання струму, яке значно перевищує допустимі значення для сталого режиму, що може призводити до пошкодження обладнання, пожеж, а також порушення електропостачання, тому його розрахунок в основному проводиться для підвищення надійності та безпеки енергосистеми.

Дослідження динаміки перехідних процесів охоплює зміну параметрів режиму системи електропостачання з метою підтримання високої якості постачання електроенергії. Необхідно мінімізувати тривалість перехідних процесів, запобігти виникненню додаткових збурень, а також забезпечити стабільність функціонуванню системи після завершення перехідного процесу. Для проведення аналізу цих процесів застосовуються методи перетворення

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

координат, аналіз симетричних складових, схеми заміщення та графоаналітичні методи. Крім того, активно використовуються сучасні засоби обчислювальної техніки для підвищення точності та ефективності досліджень.

Розрахунки струмів КЗ необхідні для:

- Оцінки умов роботи електроспоживачів під час виникнення коротких замикань та перевірки допустимості роботи в аварійних режимах;
- Вибору електричних апаратів електроустановок по умовам термічної та електродинамічної стійкості;
- Визначення параметрів схеми заміщення та розрахункових режимів при симетричних і несиметричних коротких замиканнях.
- Проектування і настройка засобів релейного захисту та автоматики СЕП;
- З'ясування впливу струмів КЗ на лінії зв'язку;
- Вибір розрядників;
- Аналізу аварій в електроустановці.

Створимо розрахункову схему (рис. 2.4). На основі схеми електропостачання міста (рис. 2.1), на якій позначені розрахункові точки КЗ

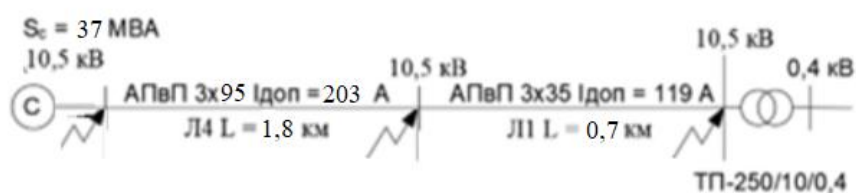


Рисунок 2.4– Розрахункова схема

Зі схеми бачимо, що живлення здійснюється від електроенергетичної системи через понижуючий трансформатор та повітряну лінію електропередачі (ПЛ1). Від шин цієї підстанції живлення йде по кабельним лініям (Л4, Л1) до понижуючого трансформатора 10/0,4. Заносимо їх до табл. 2.17.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

Таблиця 2.17 – Параметри елементів схеми

Позначення на РС	Кабельні та повітряна лінії марки АПвП та АС				
	Марка та переріз кабелю	L, км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$I_{доп}$, А
Л4	АПвП 3x95	1,8	0,320	0,083	203
Л1	АПвП 3x35	0,7	0,868	0,095	119

В розрахунках цього розділу орієнтуватимемось на вибрані за довідником дані.

Зобразимо 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

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.

Схема заміщення (СЗ) — це електрична схема, яка структурно відповідає реальній схемі електроустановки (РС), причому всі магнітні (трансформаторні) зв'язки в ній замінено еквівалентними електричними. СЗ складається для однієї фази й утворюється як сукупність схем заміщення окремих елементів, з'єднаних у тій самій послідовності, що й на реальній схемі (див. рис. 2.5–2.19).

Оскільки розрахунок режимів короткого замикання (КЗ) виконується для кількох точок, складається єдина загальна схема заміщення. Розрахунок параметрів її елементів проводиться один раз із використанням спільних базисних умов (рис.2.5).

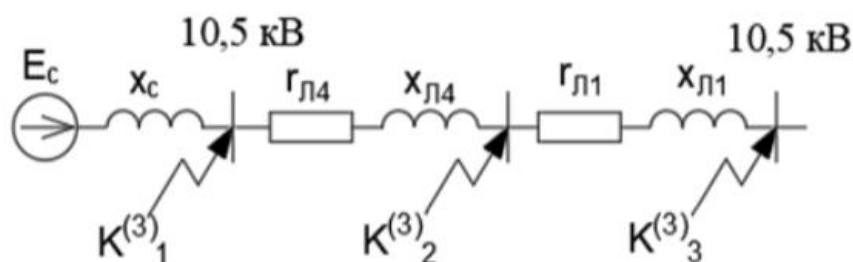


Рисунок 2.5 – Загальна схема заміщення

2.7.1.2 Розрахунок трифазного короткого замикання

Відповідно до таблиці 2.17 визначаємо параметри елементів схеми заміщення.

$$U_{\phi} = U_{ВН} = 10,5 \text{ кВ},$$

Енергосистеми:

$$S_c = 3700 \text{ МВА},$$

$$x_c = x_c'' \cdot \frac{U_c^2}{S_c} = 0,24 \cdot \frac{10500^2}{37000000} = 0,02 \text{ Ом},$$

$$E_c = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3}} = \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 6,06.$$

Кабельні лінії КЛ4 та КЛ1:

$$r_{\text{КЛ4}} = x_{0\text{КЛ4}} \cdot l_{\text{КЛ4}} = 0,083 \cdot 1,8 = 0,149 \text{ Ом},$$

$$x_{\text{КЛ4}} = r_{0\text{КЛ4}} \cdot l_{\text{КЛ4}} = 0,320 \cdot 1,8 = 0,576 \text{ Ом},$$

$$r_{\text{КЛ1}} = x_{0\text{КЛ1}} \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,095 \cdot 0,7 = 0,066 \text{ Ом},$$

$$x_{\text{КЛ1}} = r_{0\text{КЛ1}} \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,868 \cdot 0,7 = 0,6 \text{ Ом}.$$

Розрахуємо точку К1 (3) (рис. 2.6):

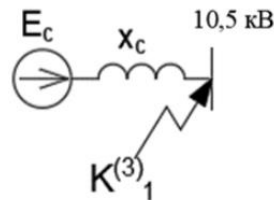


Рисунок 2.6 – еквівалентна схема заміщення для точки $K_1^{(3)}$

$$r_{\text{рез}} = 0,$$

$$x_{\text{рез}} = x_c = 0,02 \text{ Ом},$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{r_{\text{рез}}^2 + x_{\text{рез}}^2} = 0,02 \text{ Ом},$$

$$I_{K1} = \frac{E_c}{Z_{\text{рез}}} = \frac{6,06}{0,02} = 303 \text{ кА}.$$

Розрахуємо точку К2 (3) (рис. 2.7):

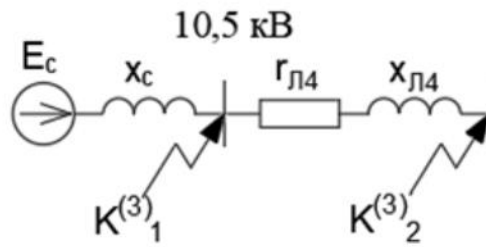


Рисунок 2.7 – еквівалентна схема заміщення для точки $K_2^{(3)}$

$$r_{рез} = r_{л4} = 0,149 \text{ Ом},$$

$$x_{рез} = x_c + x_{к4} = 0,596 \text{ Ом},$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2} = 0,614 \text{ Ом},$$

$$I_{K2} = \frac{E_c}{Z_{рез}} = \frac{6,06}{0,614} = 9,86 \text{ кА}.$$

Розрахуємо точку К3 (3) (рис. 2.8):

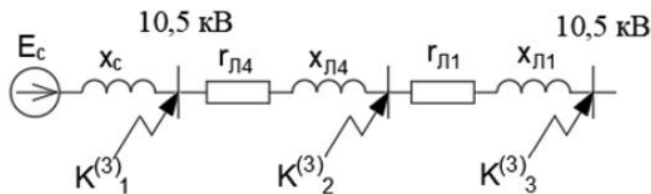


Рисунок 2.8 – еквівалентна схема заміщення для точки $K_3^{(3)}$

$$r_{рез} = r_{л4} + r_{л1} = 0,215 \text{ Ом},$$

$$x_{рез} = x_c + x_{л4} + x_{л1} = 1,196 \text{ Ом},$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2} = 1,215 \text{ Ом},$$

$$I_{K3} = \frac{E_c}{Z_{рез}} = \frac{6,06}{1,215} = 4,98 \text{ кА}.$$

Визначаємо інші електричні характеристики точки $K_5^{(3)}$.

Визначаємо сталу затухання аперіодичної складової:

$$T_{ак2} = \frac{x_{рез}}{\omega \cdot r_{рез}} = 0,012 \text{ с},$$

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

$$k_{yK2} = 1 + e^{-\frac{t}{T_{aK2}}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0127}} = 1,46.$$

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

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot k_{yK2} \cdot I_{K2} = 20,3 \text{ кА},$$

$$I_{дK2} = I_{K2} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{yK2} - 1)^2} = 11,73 \text{ кА}.$$

де i_{yK2} - ударне значення струму;

$I_{дK2}$ - найбільше діюче значення повного струму.

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

$$B_{K2} = I_{K2}^2 \cdot (t_{відкл} + T_{aK2}) = 84,19 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де $t_{відкл} = t_3 + t_{вимик}$ - 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 2.17.

Таблиця 2.17 – Результати розрахунків струмів КЗ

Точка КЗ	$x_{\Sigma i}$	$r_{\Sigma i}$	I_i'' , кА	T_{aki} , с	$k_{уди}$	$i_{уди}$, кА	$I_{ді}$, кА	B_{ki} , кА ² ·с
К1	0,02	0	303	-	-	-	-	-
К2	0,596	0,149	9,86	0,0127	1,46	20,3	11,73	84,19
К3	1,196	0,215	0,0177	0,0177	1,57	11,05	6,39	21,48

2.7.1.3 Розрахунок однофазного короткого замикання

Схема однофазного короткого замикання наведена на рисунку 2.11:

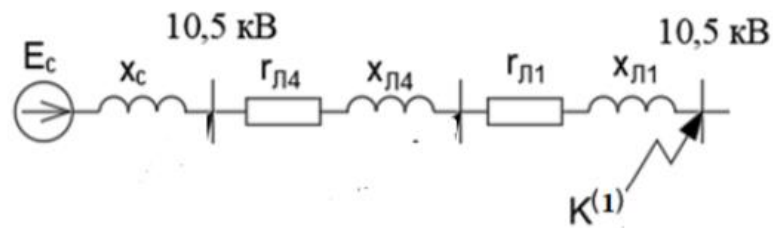


Рисунок 2.11 – Схема однофазного короткого замикання

Також використовуємо пряму та зворотню схему заміщення (рис. 2.12 та рис. 2.13):

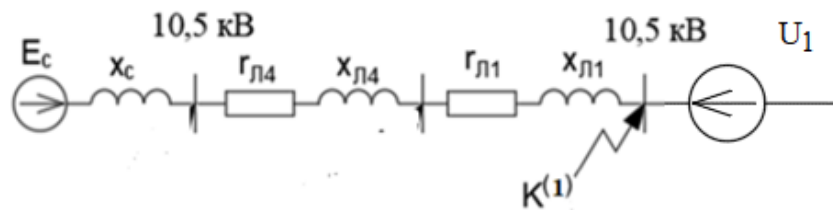


Рисунок 2.12 – Пряма схема заміщення

$$r_{1рез} = r_{л1} + r_{л4} = 0,21 \text{ Ом},$$

$$x_{1рез} = x_c + x_{л1} + x_{л4} = 1,19 \text{ Ом}.$$

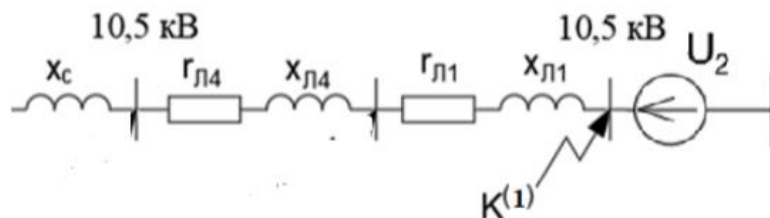


Рисунок 2.13 – Зворотня схема заміщення

$$r_{2рез} = r_{1рез} = 0,21 \text{ Ом},$$

$$x_{2рез} = x_{л1} + x_{л4} = 1,17 \text{ Ом}.$$

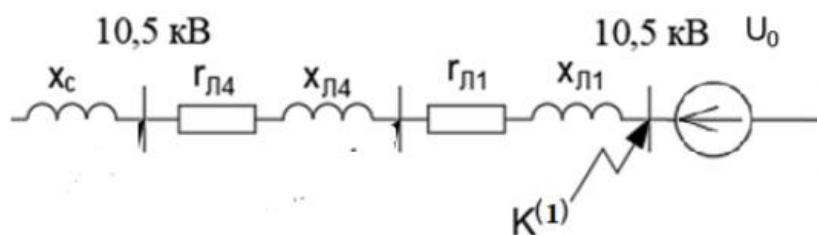


Рисунок 2.14 – Нульова схема заміщення

На рисунку 2.14 наведено нульову схему заміщення.

$$r_{кЛ04} = 3,5 \cdot r_{кЛ4} = 3,5 \cdot 0,149 = 0,52 \text{ Ом},$$

$$x_{кЛ04} = 3,5 \cdot x_{кЛ4} = 3,5 \cdot 0,576 = 2,01 \text{ Ом},$$

$$r_{кЛ01} = 3,5 \cdot r_{кЛ1} = 3,5 \cdot 0,066 = 0,23 \text{ Ом},$$

$$x_{кЛ01} = 3,5 \cdot x_{кЛ1} = 3,5 \cdot 0,6 = 2,1 \text{ Ом},$$

$$I_{кЗ}^{(1)} = 22 \text{ кА},$$

$$x_{с0} = \frac{3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{E_c}{I_{кЗ}^{(1)}} - (x_{с1} + x_{с2}) = \frac{3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{6,06}{22} - (0,02 + 0,02) = 0,4 \text{ Ом},$$

$$r_{0рез} = r_{кЛ04} + r_{кЛ01} = 0,52 + 0,23 = 0,75 \text{ Ом},$$

$$x_{0рез} = x_{кЛ04} + x_{кЛ01} = 2,01 + 2,1 = 4,11 \text{ Ом}.$$

Тепер знаходимо струм КЗ в точці К⁽¹⁾

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

$$= \frac{3 \cdot 6,06}{\sqrt{(0,21 + 0,21 + 0,75)^2 + (1,19 + 1,17 + 4,11)^2}} = 2,76 \text{ кА}.$$

Стала затухання аперіодичної складової:

$$T_{ак} = \frac{x_{рез}}{\omega r_{рез}} = \frac{1,19+1,17+4,11}{314,16 \cdot (0,21+0,21+0,75)} = 0,01 \text{ с}.$$

Ударний коефіцієнт, з урахуванням значення сталої часу затухання аперіодичної складової та час ударного струму:

$$k_{уК} = 1 + e^{-\frac{t}{T_{ак}}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,01}} = 1,36.$$

Ударне значення струму та максимальне діюче значення повного струму з врахуванням значення надперехідного струму та ударного коефіцієнту:

$$i_{уК} = \sqrt{2} k_{уК} I_{К} = \sqrt{2} \cdot 1,36 \cdot 8,16 = 15,69 \text{ кА},$$

$$I_{ДК} = I_{К} \sqrt{1 + 2(k_{уК} - 1)^2} = 8,16 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,36 - 1)^2} = 10,09 \text{ кА}.$$

Тепловий імпульс, з врахуванням повного часу проходження КЗ:

$$W_{К} = I_{ДК}^2 (t_{відкл} + T_{ак}) = 10,09^2 \cdot (0,86 + 0,006) = 8,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

2.7.2 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі нижче 1 Кв

2.7.2.1 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 2.15.

Вихідні дані:

Система: струм КЗ $I_{кз3}^3 = 4,98$ кА.

Приймаємо трансформатор типу ТП-250/10/0,4 з такими паспортними даними:

$$S_H = 250 \text{ кВА}, U_{HB} = 10 \text{ кВ}, U_{HH} = 0,4 \text{ кВ},$$

$$\Delta P_{кз} = 3,7 \text{ кВт}, U_k = 4,5 \%, \Delta I_{xx} = 1,9 \%, \Delta P_{xx} = 0,56 \text{ кВт}.$$

Шини приєднання трансформатора до щита 0,4 кВ: $l_{ш} = 5$ м, метал – Al, $r_{ш.о} = 0,1$ Ом/км, $x_{ш.о} = 0,13$ Ом/км, $S = 80 \times 8$ мм².

QF; тип АВМ 12П, $I_{ном} = 1200$ А, QF_1 ; тип ВА-51-35М2, $I_{ном} = 250$ А.

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

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

Опори контактів автоматичних вимикачів: $r_{KSF} = 0,14$ мОм, $R_{б.к} = 0,003$ мОм.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

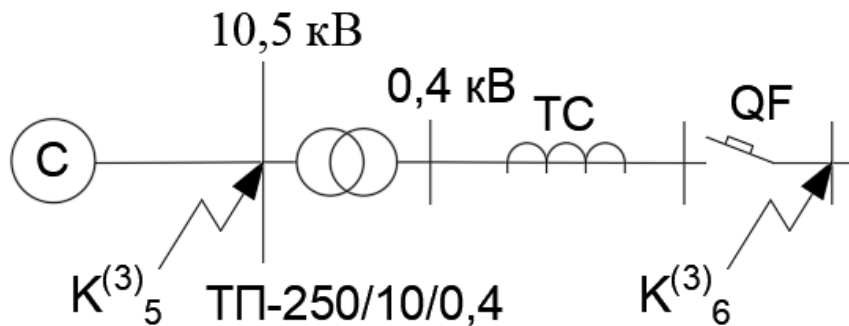


Рисунок 2.15 – Розрахункова схема

Розрахунок параметрів схеми заміщення у іменованих одиницях:

Опір системи:

$$x_c = \frac{U_{HH}^2}{\sqrt{3} \cdot I_5^3 \cdot U_{HB}} = \frac{0,4^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 4,98 \cdot 10,5} = 1,76 \text{ мОм},$$

Опори трансформатора:

$$r_T = \frac{\Delta P_{K3} \cdot (U_{HH})^2 \cdot 10^6}{S_H^2} = \frac{3,7 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{250^2} = 9,5 \text{ мОм},$$

$$x_T = \sqrt{\left(\frac{U_K}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{K3}}{S_H}\right)^2} \cdot \frac{(U_{HH})^2 \cdot 10^6}{S_H},$$

$$x_T = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{3,7}{250}\right)^2} \cdot \frac{(0,4)^2 \cdot 10^6}{250} = 27,2 \text{ мОм}.$$

Опори шин:

$$r_{ш} = r_{ш.0} \cdot l_{ш} \cdot 10^3 = 0,1 \cdot 0,005 \cdot 10^3 = 0,5 \text{ мОм},$$

$$x_{ш} = x_{ш.0} \cdot l_{ш} \cdot 10^3 = 0,13 \cdot 0,005 \cdot 10^3 = 0,65 \text{ мОм}.$$

Активний опір болтового з'єднання:

$$r_{б.к} = 0,003 \text{ мОм},$$

Побудуємо СЗ для визначення струмів КЗ в точках (рис. 2.16):

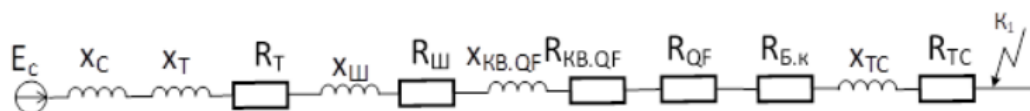


Рисунок 2.26 – Схема заміщення

Еквалентуємо СЗ:

$$x_1 = x_c + x_T + x_{KB,SF} + x_{ш} + x_{ТС},$$

$$x_1 = 0,02 + 27,2 + 0,07 + 0,65 + 0,05 = 27,99 \text{ мОм},$$

$$r_1 = r_{ш} + 4 \cdot r_{б.к} + r_{кв.SF} + r_T + r_{кSF} + r_{тс},$$

$$r_1 = 0,5 + 4 \cdot 0,003 + 0,13 + 9,5 + 0,14 + 0,2 = 10,5 \text{ мОм}.$$

Виконаємо розрахунок надперехідного значення струму трифазного КЗ:

$$I_4^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{нн} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_1^2 + r_1^2}} = \frac{1,05 \cdot 0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{27,99^2 + 10,5^2}} = 8,1 \text{ кА},$$

Розрахунок постійної часу згасання аперіодичного струму трифазного КЗ:

$$T_{ак4}^{(3)} = \frac{x_1}{\omega \cdot r_1} = \frac{27,99}{314,16 \cdot 10,5} = 0,008 \text{ с},$$

Розрахунок теплового імпульсу:

$$W_{к4}^{(3)} = I_4^{(3)2} \cdot (t_{відімк} + T_{ак4}^{(3)}),$$

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

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

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

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

$$W_{к4}^{(3)} = 8,1^2 \cdot (0,18 + 0,008) = 12,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Розрахунок ударного коефіцієнту:

$$k_{уд4}^{(3)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ак4}^{(3)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,008}} = 1,28 \text{ с},$$

$$i_{уд4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{уд4}^{(3)} \cdot I_4^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,28 \cdot 8,1 = 14,6 \text{ кА}.$$

Розрахунок найбільшого діючого значення струму короткого замикання:

$$I_{y4}^{(3)} = I_4^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{уд4}^{(3)} - 1)^2},$$

$$I_{y4}^{(3)} = 8,1 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,28 - 1)^2} = 8,7 \text{ кА}.$$

2.7.2.2 Розрахунок струму однофазного КЗ

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

Схема заміщення прямої послідовності (рис. 2.17):

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

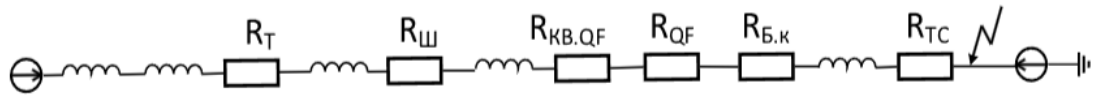


Рисунок 2.17 – СЗ прямої послідовності

$$x_1 = x_c + x_T + x_{КВ.SF} + x_{Ш} + x_{ТС},$$

$$x_1 = 0,02 + 27,2 + 0,07 + 0,65 + 0,05 = 27,99 \text{ мОм},$$

$$r_1 = r_{Ш} + 4 \cdot r_{Б.К} + r_{КВ.SF} + r_T + r_{КSF} + r_{ТС},$$

$$r_1 = 0,5 + 4 \cdot 0,003 + 0,13 + 9,5 + 0,14 + 0,2 = 10,5 \text{ мОм}.$$

Схема заміщення нульової послідовності (рис. 2.18):

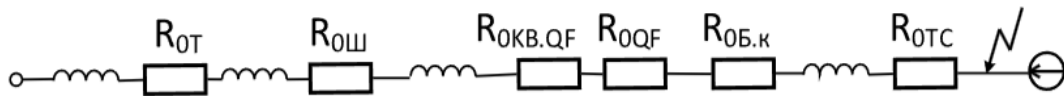


Рисунок 2.18 – Схема заміщення нульової послідовності

Опори нульової послідовності шин:

$$x_{Ш.0} = 8,5 \cdot x_{Ш} = 8,5 \cdot 0,65 = 5,53 \text{ мОм},$$

$$r_{Ш.0} = 10 \cdot r_{Ш} = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ мОм}.$$

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

$$x_0 = x_{T0} + x_{КВ.QF0} + x_{Ш0} + x_{ТС0},$$

$$x_0 = 27,2 + 0,07 + 5,53 + 0,05 = 32,85 \text{ мОм},$$

$$r_0 = r_{T0} + 4 \cdot r_{Б.К0} + r_{К.QF0} + r_{КВ.QF0} + r_{Ш.0} + r_{ТС0},$$

$$r_0 = 9,5 + 4 \cdot 0,003 + 0,13 + 0,14 + 5 + 0,2 = 15 \text{ мОм}.$$

Діюче значення періодичної складової струму однофазного КЗ:

$$I_6^{(1)} = \frac{(1,05 \cdot U_{HH}) \cdot 10^3 \cdot T^{(1)}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot r_1 + r_0)^2 + (2 \cdot x_1 + x_0)^2}}$$

де x_0 та r_0 – індуктивний та активний опір схеми заміщення нульової послідовності:

$$I_4^{(1)} = \frac{(1,05 \cdot 0,4) \cdot 10^3 \cdot 3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 10,5 + 15)^2 + (2 \cdot 27,99 + 32,85)^2}} = 7,58 \text{ кА}.$$

Розрахунок постійної часу згасання аперіодичного струму КЗ:

$$T_{ак4}^{(1)} = \frac{2 \cdot x_1 + x_0}{2\pi \cdot 50 \cdot (2 \cdot r_1 + r_0)} = \frac{2 \cdot 27,99 + 32,85}{314,15 \cdot (2 \cdot 10,5 + 15)} = 0,007 \text{ с.}$$

Розрахунок ударного коефіцієнту:

$$k_{уд4}^{(1)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ак4}^{(1)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,007}} = 1,23 \text{ с.}$$

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

$$i_{уд4}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot k_{уд4}^{(1)} \cdot I_4^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 1,23 \cdot 7,58 = 13,1 \text{ кА.}$$

Розрахунок найбільшого значення повторного струму КЗ:

$$I_{y4}^{(1)} = I_4^{(1)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{уд4}^{(1)} - 1)^2},$$

$$I_{y4}^{(1)} = 7,58 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,23 - 1)^2} = 7,9 \text{ кА.}$$

Розрахунок теплового імпульсу:

$$B_{к4}^{(1)} = I_4^{(1)2} \cdot (t_{відімк} + T_{ак4}^{(1)}),$$

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

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

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

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

$$B_{к1}^{(1)} = 7,58^2 \cdot (0,18 + 0,008) = 10,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

2.7.2.3 Перевірка вибраних комутаційних апаратів і провідників та

ВИСНОВКИ

Дані комутаційного апарату та умови перевірки занесені в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Перевірка комутаційних апаратів 0,4 кВ

Напруга	Вибраний елемент	Параметри	Умови перевірки	Розрахункові дані	Каталожні дані
0,4 кВ	EЗС250N	Струм динамічної стійкості	$i_{уд} \leq i_{\max}$ $I'' \leq I_{\text{вимик}}$	13,1 7,9	25кА
		Тепловий імпульс	$B_{\kappa} \leq I_{\text{т.с}}^2 t_{\text{т.с}}$	10,8	$1200 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$

З таблиці 2.18 можна побачити що обраний апарат відповідає вимогам та підходить для даного випадку.

Таким чином, в проєкті проведено розрахунок однофазного та трифазного струмів КЗ. Також проведено перевірку комутаційних апаратів.

2.8 Проєктування та впровадження захисту від струмів короткого замикання та перевантаження

У сучасних системах електропостачання проєктування ефективного захисту від струмів короткого замикання (КЗ) і перевантаження є однією з ключових умов забезпечення безперебійної, надійної та безпечної роботи електроустановок. Електричні мережі підприємств, особливо з великою щільністю промислових та комунально-побутових споживачів, постійно перебувають під впливом змін навантаження, зовнішніх чинників, а також внутрішніх режимних порушень. У такому середовищі навіть незначні відхилення в роботі обладнання можуть призвести до аварійних ситуацій, втрати електропостачання, пошкодження обладнання, займання або загрози життю персоналу.

Струми короткого замикання, як наслідок випадкового або механічного з'єднання фаз електричних мереж між собою чи з землею, супроводжуються різким зростанням струму, що у багато разів перевищує номінальні значення. Ці струми несуть значну теплову та динамічну енергію, яка може призвести до руйнування елементів мережі, оплавлення кабельної ізоляції, вибухів у розподільчих щитах та тривалого виходу з ладу обладнання. У свою чергу, перевантаження – це перевищення номінального струму тривалого режиму, що зумовлює перегрів обладнання та поступове зниження ресурсу його експлуатації. Особливо небезпечним є тривале або повторюване перевантаження, яке на відміну від короткого замикання не завжди має яскраво виражені зовнішні ознаки.

У цьому контексті застосування технічних засобів захисту — автоматичних вимикачів, запобіжників, реле струму, а також систем моніторингу стану мережі — є необхідною умовою стабільної роботи

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

електроустановок. Сучасні системи захисту забезпечують селективне (вибіркове) вимкнення лише тієї ділянки мережі, де виникла аварія, що мінімізує вплив інциденту на інші частини електричної схеми. Крім того, правильно реалізований захист дозволяє скоротити час простою, зменшити витрати на ремонт, а також уникнути штрафних санкцій за перевищення показників якості електроенергії.

З урахуванням вищезазначеного, впровадження системи захисту від КЗ і перевантаження на всіх рівнях — від трансформаторної підстанції до споживчих щитів — є не лише нормативною вимогою, але й технічною необхідністю. Від цього залежить не лише надійність електропостачання, а й загальна енергоефективність, довговічність обладнання та безпечність експлуатації об'єкта в цілому.

2.8.1 Селективність і координація захисту

Однією з ключових вимог до систем захисту від струмів короткого замикання та перевантаження є забезпечення селективності. Селективність захисту передбачає, що у разі виникнення аварійного режиму (наприклад, короткого замикання) спрацює лише той апарат захисту, який безпосередньо відповідає за аварійну ділянку мережі. Це дозволяє зберегти безперервність електропостачання для інших споживачів та уникнути зайвого відключення функціональних частин системи.

Селективність може бути реалізована як **повна (абсолютна)** – коли пристрої захисту спрацьовують строго по ієрархії, так і **часткова** – коли існує ймовірність одночасного спрацювання кількох апаратів. Повна селективність є більш бажаною для систем з високими вимогами до надійності, але вона вимагає ретельного підбору характеристик захисних пристроїв і час-струмових залежностей.

Для досягнення селективності застосовуються методи координації параметрів автоматичних вимикачів, запобіжників і реле. Це включає:

1) вибір апаратів захисту з відповідними час-струмовими характеристиками;

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		59

- 2) налаштування уставок спрацювання струмового і часових реле;
- 3) аналіз перехідних процесів у лініях для забезпечення достатнього часу реакції старших рівнів захисту.

Крім того, важливо враховувати динамічні процеси в електричній мережі, такі як зміни опору петлі короткого замикання в часі, наявність джерел з нестабільною напругою (наприклад, генераторів або відновлюваних джерел енергії), а також можливість виникнення багатоточкових коротких замикань.

Ефективна координація захисту дозволяє не лише зменшити масштаби аварій, а й мінімізувати час простою обладнання, знизити ризик теплового пошкодження ізоляції та обладнання, а також зменшити ймовірність повторного короткого замикання через неповне або неселективне відключення.

Таким чином, правильно організована система селективного захисту є критично важливою для безперебійної, безпечної та економічно ефективної роботи електроустановок будь-якого промислового об'єкта.

2.8.2 Реалізація захисту на об'єкті

Реалізація захисту від струмів короткого замикання та перевантаження на конкретному об'єкті проєктування є практичним втіленням теоретичних принципів захисної автоматики, спрямованої на забезпечення безпечної, надійної та ефективної експлуатації електроустановок. У рамках цього процесу враховуються як особливості конфігурації електричної мережі, так і характеристики електротехнічного обладнання, рівні навантажень, топологія споживання, а також ймовірні аварійні режими роботи.

На об'єкті передбачається поетапне впровадження елементів захисту відповідно до ієрархії живлення – від головного вводу до розподільчих мереж і кінцевих споживачів. Основними технічними засобами захисту є автоматичні вимикачі з вбудованими тепловими та електромагнітними розчеплювачами, пристрої релейного захисту, плавкі запобіжники, а також пристрої захисту від

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

перенапруг (УЗПН) для компенсації імпульсних перенавантажень та блискавкових розрядів.

У головному розподільчому щиті реалізовано ступінчасту схему захисту, що дозволяє обмежити зону впливу аварій до мінімально необхідної. Автоматичні вимикачі на цьому рівні підбираються з урахуванням номінальних струмів навантаження та очікуваних струмів короткого замикання, які були визначені під час електротехнічних розрахунків. Забезпечується селективність між апаратами нижчого рівня, що дозволяє уникнути повного знеструмлення об'єкта при локальних пошкодженнях.

Окрему увагу приділено вибору типу характеристик автоматичних вимикачів (тип В, С, D) залежно від природи навантажень – активних, індуктивних або змішаних. Наприклад, для двигунів та трансформаторів застосовуються вимикачі з характеристиками типу D, що дозволяють уникнути помилкових спрацювань під час пускових струмів.

У відповідності до результатів розрахунків короточасних перевантажень і тривалих перевантажень, були встановлені теплові уставки з урахуванням допустимих температур провідників і тривалості нагрівання ізоляції. Для підвищення надійності роботи системи передбачено дублювання захисту – наприклад, використання реле контролю фаз і реле контролю струму поряд з автоматичними вимикачами.

Особлива увага приділяється захисту на вводі в об'єкт, де встановлюється комплексне обладнання з функціями вимірювання, моніторингу та захисту. Це забезпечує можливість як ручного, так і автоматичного відключення у разі аварії, а також дозволяє реалізувати дистанційний контроль стану системи.

Важливою складовою реалізації захисту є правильне заземлення корпусів обладнання та захисне занулення, що мінімізує ризик ураження персоналу електричним струмом і дозволяє ефективно спрацювати захисту в разі пробоя ізоляції.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

Таким чином, реалізація захисту на об'єкті є комплексним процесом, який інтегрує технічні, нормативні й організаційні заходи з метою створення надійної системи електропостачання, стійкої до аварійних ситуацій і максимально безпечної для споживачів та обслуговуючого персоналу.

2.8.3 Вимоги до монтажу та налаштування

Монтаж та налаштування системи захисту від струмів короткого замикання і перевантаження є критично важливими етапами для забезпечення надійної та безпечної роботи електроустановок на об'єкті. Правильне виконання цих робіт гарантує не лише ефективність захисту, а й запобігає пошкодженням обладнання та знижує ризик аварійних ситуацій.

Перш за все, монтаж повинен виконуватись відповідно до чинних нормативних документів та технічних регламентів, з урахуванням специфікацій вибраного обладнання. Важливо забезпечити коректне підключення всіх елементів захисту, зокрема автоматичних вимикачів, реле та трансформаторів струму, з дотриманням правильності полярності та схем підключення, які передбачені виробником.

Особливу увагу слід приділити якості електричних з'єднань — всі контакти мають бути надійно затягнуті, без окиснень та дефектів, щоб уникнути підвищеного опору та нагрівання. Монтаж обладнання необхідно виконувати у захищених від вологи, пилу та вібрацій місцях, які забезпечують відповідний температурний режим для стабільної роботи пристроїв.

Після завершення монтажу здійснюється налаштування захисних пристроїв. Цей процес включає встановлення уставок струму та часу спрацювання згідно з розрахунками проекту, а також перевірку коректності роботи системи за допомогою імітації аварійних режимів (наприклад, штучне створення струмів перевантаження або короткого замикання).

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		62

Не менш важливим є інтегрування захисних пристроїв у загальну систему автоматизації та моніторингу електропостачання, що дозволяє контролювати їх стан у реальному часі та оперативно реагувати на аварійні ситуації.

Заключним етапом є проведення пусканалагоджувальних випробувань та перевірка відповідності параметрів захисту проектним вимогам. Тільки після успішного завершення всіх тестів система вводиться в експлуатацію, а персонал, відповідальний за її обслуговування, проходить відповідне навчання для забезпечення належного контролю та підтримки працездатності захисту.

Таким чином, дотримання вимог до монтажу і налаштування є запорукою надійної та ефективної роботи системи захисту від струмів короткого замикання і перевантаження, що сприяє безпеці та стабільності електропостачання об'єкта.

2.9 Релейний захист та автоматика (РЗА)

Розрахунок параметрів струмової відсічки

Розглянемо розрахунок струмової відсічки для лінії напругою 10 кВ і трансформатора зі спадною напругою 10/0,4 кВ. Надаємо також схему захисту. (Надається розрахунок струмової відсічки та схема захисту на основі конкретних вхідних даних, таких як параметри лінії і трансформатора, а також вимоги до захисту.) Вихідні дані будемо брати із електричної частини.

На рисунку рисунку 2.19 зображено схему завдання:

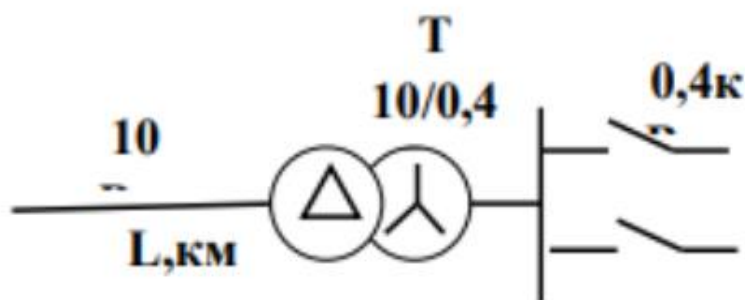


Рисунок 2.19 – Розрахункова схема РЗА

Струм спрацьовування СВ повинен бути більшим за максимальний струм к.з. у місці підключення найближчого до РТП трансформатора 10/0,4 кВ.

1. Розраховуємо струм спрацьовування відсічки за умови:

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

$$A) I_{\text{сп.СВ}} \geq k_{\text{н}} \cdot I_{\text{к max}},$$

$$I_{\text{сп.СВ}} \geq 1,2 \cdot 1372,2 = 1646,64 \text{ А.}$$

$$B) I_{\text{сп.СВ}} \geq \frac{(4 \dots 5) \sum S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}},$$

$$I_{\text{сп.СВ}} \geq \frac{4 \cdot 3250}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 714,81 \text{ А,}$$

$I_{\text{к max}}$, - Максимальний струм к.з. ($I_{\text{к}}^3$) у точці підключення найближчого до РП трансформатора 10/0,4 кВ, А;

$k_{\text{н}}$ - коефіцієнт надійності (для реле РТ-40 $k_{\text{н}} = 1,2 \dots 1,3$; для реле РТ- 80 та 84/1 і РТМ $k_{\text{н}} = 1,1 \dots 1,6$)

$\sum S_{\text{н.тр}}$ - сумарна потужність трансформаторів ТП 10/0,4 кВ, що живляться від лінії 10 кВ, кВА.

В якості струму спрацьовування відсічки вибираємо більше із отриманих значень:

$$I_{\text{сп.СВ}} = 1646,64 \text{ А.}$$

2. Визначаємо струм спрацьовування реле відсічки:

$$I_{\text{сп. р.СВ}} = \frac{I_{\text{сп.СВ}} \cdot k_{\text{сх}}^{(3)}}{k_{\text{мс}}},$$

$$I_{\text{сп. р.СВ}} \geq \frac{1646,6}{\frac{75}{5}} = 109,77 \text{ А.}$$

$I_{\text{сп. р.СВ}}$ -найбільше із значень, що отримані за виразами із першого пункту;

$k_{\text{сх}}^{(3)}$ -коефіцієнт схеми;

$k_{\text{мс}}$ - коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

3. Визначаємо кратність відсічки (для реле РТ-84/1)

$$K_{\text{відс}} = \frac{I_{\text{сп. р.СВ}}}{I_{\text{у. р.МСЗ}}},$$

$I_{\text{у. р.МСЗ}}$ - струм уставки МСЗ реле РТ-84/1;

$$K_{\text{СВ}} = \frac{109,77}{15} = 7,3.$$

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

Умова виконується, так як кратність відсічки для реле типу РТ-84/1 може мати значення: 2, 4, 6, 8, 12, 16. Приймаємо $K_{CB} = 12$.

4. Визначаємо уточнений струм спрацьовування реле СВ:

$$I'_{сп.р.СВ} = I_{у.р. МЗС} \cdot k_{СВ}$$

$$I'_{сп.р.СВ} = 15 \cdot 12 = 180 \text{ А.}$$

5. Дійсне (уточнене) значення струму спрацьовування відсічки:

$$I'_{сп.СВ} = \frac{k_{т.с} \cdot I'_{у.р.СВ}}{k_{сх}}$$

$$I'_{сп.СВ} = \frac{75/5 \cdot 180}{1} = 2700 \text{ А.}$$

6. Виконуємо перевірку струмової відсічки на чутливість:

$$K_{ч.СВ} = \frac{I_k^{(3)}}{I_{у.р.СВ}} \cdot \frac{k_{сх.min}}{k_{т.с}}$$

$$K_{ч.СВ} = \frac{7030}{180} \cdot \frac{1}{\frac{75}{5}} = 2,6,$$

$I_k^{(3)}$ - струм к.з. у місці встановлення захисту в найбільш сприятливому за умовами чутливості режимі (трифазне к.з.),

$k_{сх.min}$ - мінімальне значення коефіцієнта схеми,

Для захистів повітряних ліній $k_{сх.min} \geq 1,2$:

$2,6 > 1,2$ - умова виконується.

Розрахункову схему лінії наведено на рисунку 2.20:

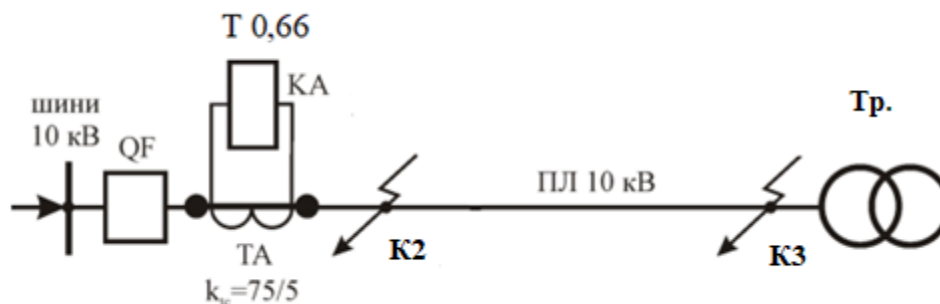


Рисунок 2.20 – розрахункова схема лінії 10 кВ

2.10 Організація обліку електричної енергії на об'єкті проєктування

Організація обліку електричної енергії на об'єкті проєктування є ключовим елементом ефективного управління енергоресурсами. В сучасних умовах для забезпечення точності вимірювань, оперативного моніторингу та зменшення витрат дедалі ширше впроваджуються автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

Такі системи дозволяють забезпечити збір і передачу даних у режимі реального часу, віддалене зчитування показників, формування звітності та аналізу енергоспоживання. На початковій стадії визначаються основні вимоги до майбутньої системи обліку: обсяги споживання електроенергії, кількість точок

обліку, необхідна точність вимірювань, типи комунікаційних інтерфейсів і технічні особливості об'єкта. Після цього здійснюється підбір обладнання — сучасних електронних лічильників, трансформаторів струму й напруги, комунікаційних модулів, які забезпечують можливість точного вимірювання електричних параметрів та безпечної передачі інформації до центральної бази. Встановлення лічильників виконується у відповідних точках обліку з підключенням до мережі через трансформатори, а також налаштуванням каналів передачі даних. Далі виконується налаштування і програмування обладнання, зокрема конфігурування інтерфейсів, періодичності зчитування даних та інтеграція з аналітичним програмним забезпеченням. Після завершення монтажу проводиться тестування роботи системи, і у разі позитивних результатів - введення її в експлуатацію

2.11 Економічні характеристики проекту

2.11.1 Порядок приєднання до електричних мереж

Для підключення електроустановок спочатку необхідно звернутися до місцевої енергопостачальної або розподільчої організації, відповідальної за електропостачання у регіоні. Тимчасове приєднання передбачає надання оператором системи розподілу послуги зі створення технічної можливості для тимчасової передачі електроенергії до електроустановки замовника з урахуванням необхідної потужності та якості електроенергії.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		66

2.11.2 Розрахунок вартості приєднання до електричних мереж ОСР

Згідно з постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг від 18 грудня 2024 р. № 2120. Ставка плати за нестандартне приєднання для електроустановок, призначених для споживання електричної енергії, тис. грн/1 кВт. (Додаток Б) .

Висновок до розділу:

Розрахунок електричних навантажень для промислових і комунально-побутових споживачів було виконано з урахуванням діючих нормативів. У процесі розрахунків визначено основні параметри системи електропостачання, зокрема вибрано потужність трансформатора, підбрано перерізи кабельних ліній для мереж високої та низької напруги, а також розраховано струми короткого замикання для напруг вище 1 кВ. Окремо проведено підбір налаштувань струмового захисту, автоматичних вимикачів та засобів захисту від перенапруг. Усі розрахунки виконані відповідно до вимог чинних стандартів і технічних регламентів.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОПИТОМ У СКЛАДСЬКОМУ КОМПЛЕКСІ

3.1 Методи управління попитом

Керування попитом електроенергії - це сукупність заходів, що спрямовані на зміну рівня або графіка споживання електричної енергії кінцевими споживачами у відповідь на цінові стимули або сигнали від оператора енергосистеми. Основна мета програм управління попитом полягає у забезпеченні гнучкості енергоспоживання, зменшенні навантаження на енергосистему у пікові години, зниженні операційних витрат і підвищенні надійності енергопостачання.

У контексті функціонування промислових та виробничих підприємств, застосування механізмів керування попитом відкриває можливості не лише для зниження витрат на електроенергію, але й для активної участі у балансуванні навантаження в енергосистемі. Підприємства, здатні гнучко керувати своїм енергоспоживанням - шляхом тимчасового зниження або перенесення навантаження у часі - можуть як уникати високих тарифів у пікові періоди, так і отримувати компенсацію за участь у програмах оперативного реагування на запити оператора системи. Такий підхід дозволяє інтегрувати підприємство в сучасну модель розумної енергетики, підвищуючи його енергоефективність і конкурентоспроможність. Крім того, підприємство може компенсувати частину власного електроспоживання за рахунок мікрогенерувальних установок, зокрема сонячних електростанцій (СЕС), що дозволяє зменшити навантаження на мережу в години пік, підвищити енергонезалежність і забезпечити більш ефективну участь у програмах керування попитом. Використання локальних джерел генерації в поєднанні з керованим навантаженням формує нову модель активного споживача, здатного не лише адаптувати власний графік споживання, а й

					ОЕ-11-25.010 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Таран В. В.</i>			РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОПИТОМ У СКЛАДСЬКОМУ КОМПЛЕКСІ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Коцар О. В.</i>					68	
<i>Перевір.</i>						ІЕЕ ОЕ-11		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Прокопенко І. Д</i>						

впливати на баланс енергосистеми.

Потреба і перші механізми керування попитом з'явилися під час енергетичної кризи в Сполучених Штатах Америки яка припала на період 1970-х років, тоді США зіткнулися з гострим дефіцитом електроенергії. У той час усе що могли зробити комунальні підприємства та політики це використовувати рудиментарні засоби, зосередженими на прямому керуванні навантаженням - зокрема, можливості дистанційного відключення енергоємних приладів, такі як кондиціонери, у години пікового навантаження. На меті цих дій було запобігання в збоєм у мережі та зменшення потреби в будівництві нових електростанцій [3]. Закон про національну політику енергозбереження був прийнятий в США вже в 1978 році, на його основі був розроблений комплекс заходів по керуванню попитом (Demand-Side Managment). Вже в 1980-х роках з'явилася нова модель ціноутворення, що враховувала час використання електроенергії. Цей підхід був націлений на зміщення споживачами свого енергоспоживання на час низького попиту, у час дії знижених тарифів. Завдяки цьому криві попиту вирівнювалися, а навантаження на мережу зменшувалося.

Економічна доцільність впровадження концепції керування попитом на електроенергію полягає в тому, що це пряма альтернатива будівництву нових генеруючих потужностей, чия потреба припадає тільки на час пікових навантажень. Витрати на реалізацію заходів з енергозбереження у декілька разів нижчі порівняно з виробництвом додаткової електроенергії, а термін окупності відповідних інвестицій становить декілька років.

В електроенергетичній системі має бути ідеальна координація між попитом і пропозицією в режимі реального часу для помірної роботи, але є складність, тобто рівень попиту та пропозиції зазвичай швидко змінюється з багатьох причин, включаючи відключення генеруючих блоків, відключення ліній на стороні передачі та розподілу, а також швидкі зміни навантаження. Інфраструктура енергосистеми має високі капітальні витрати; тому розподільче енергопостачання є одним з найдешевших ресурсів, доступних для оптимальної роботи системи [4].

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		69

Застосування механізмів керування попитом приносить користь усім учасникам енергетичного ринку:

- Для споживачів це означає покращення енергоефективності виробництва завдяки реалізації режимів електроспоживання,
- оптимізації навантаження та зменшення витрат на рахунки за електроенергію. Це підхід не допускає надмірного споживання електроенергії на одиницю продукту чи послуги.
- У свою чергу, енергетичні компанії отримують змогу уникнути зайвих інвестицій у збільшення генерації для підтримання пікових навантажень. Завдяки зниженню варіативності попиту поліпшується прогнозованість і ефективність планування розвитку енергетичної інфраструктури.

Крім того, активізація програм управління попитом стимулює розвиток ринку енергоефективного обладнання та сервісних послуг.

DSM включало ряд заходів, орієнтованих як на загальне зниження рівня споживання, так і на вирівнювання графіка навантаження шляхом зменшення піків, зміщення споживання у часи меншого навантаження енергосистеми, стимулювання попиту в провалах графіка навантаження енергосистеми. Загалом DSM розділяється на два класи підзавдань: методи енергоефективності (Energy efficiency) та управління попитом (Demand response (DR) або Управління навантаженням Load management (LM) (рис. 3.1) [5].

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		70

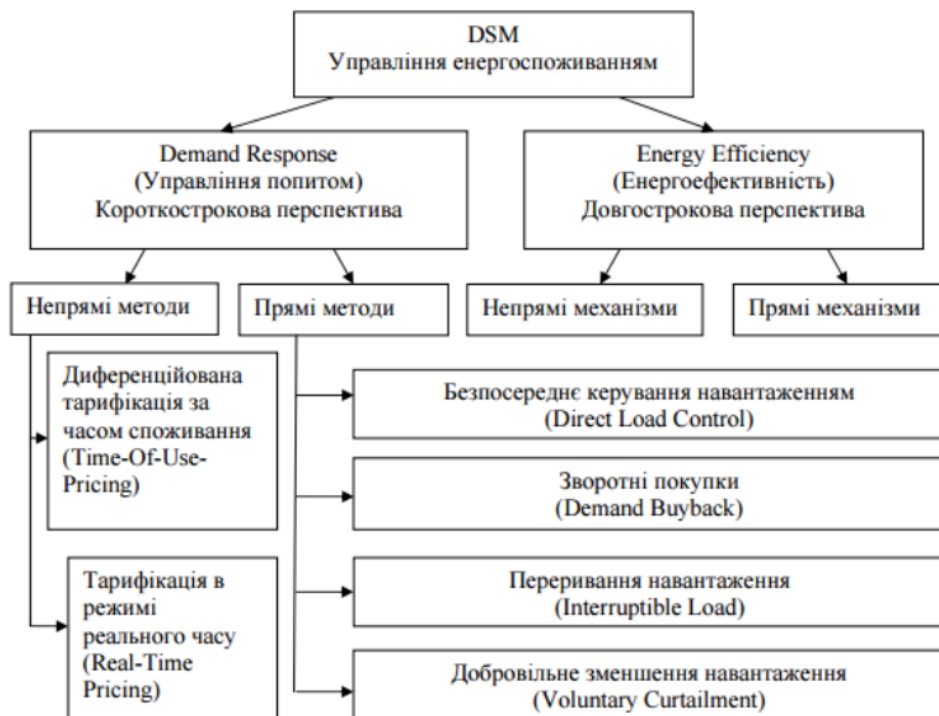


Рисунок 3.1 - Методи управління попитом на ринку електроенергії [5]

У сучасних умовах швидкого зростання попиту на електроенергію та переходу до відновлюваних джерел енергії, системи реагування на попит (Demand Response) набувають особливого значення. Традиційно оператори енергосистем поклалися на класичні електростанції для балансування навантаження: у разі підвищення попиту вмикали резервні генеруючі потужності або закуповували додаткову електроенергію на ринку. Такий підхід супроводжується високими витратами й технічною інерційністю, особливо у випадках короткострокових пікових навантажень.

Однак зміни клімату, необхідність скорочення викидів та глобальна декарбонізація енергетики докорінно змінюють правила гри. За прогнозами, доля електроенергії у світі яка вироблятиметься з відновлюваних джерел, зокрема сонячної та вітрової енергії буде тільки збільшуватися. Таке джерело генерації є змінним і залежить від погодних умов, що ускладнює оперативне регулювання потужності. Водночас очікується, що загальне споживання електроенергії до 2040 року зросте приблизно на 60%.

У цій ситуації системи реагування на попит стають ефективним і гнучким інструментом, який дає змогу підприємствам та іншим споживачам адаптувати

своє споживання до змін у мережі. Програми DR передбачають фінансове стимулювання компаній, які погоджуються змінювати графіки свого споживання відповідно до сигналів оператора. Це дозволяє не лише зменшити навантаження на мережу в пікові години, а й створює передумови для інтеграції нестабільних відновлюваних джерел без потреби у масштабних капіталовкладеннях у нову генерацію.

Таким чином, реагування на попит трансформується з витратного заходу в економічну можливість - як для компаній, що оптимізують своє енергоспоживання та отримують додатковий прибуток, так і для енергосистем, які зберігають стабільність і зменшують залежність від дорогих резервних потужностей. Це стратегія, яка відповідає як ринковим, так і екологічним викликам майбутнього.

Через збільшення попиту на електроенергію система стає нестабільною, і щоб уникнути цієї нестабільності, гідною метою управління попитом може бути зміна конфігурації кривої навантаження шляхом зниження та зміщення загального навантаження на стороні розподілу протягом періодів пікового навантаження послідовно для зниження кінцевого тарифу на електроенергію. Таким чином, система вимагає чіткої координації між операторами та споживачами. Конфігурації навантаження, які показують щоденні потреби в електроенергії для житлових, комерційних та промислових споживачів між піковими та позапіковими годинами, можна змінити за допомогою шести широких методів: відсікання піків, зміщення навантаження, заповнення спадів, зростання навантаження, стратегічне збереження та гнучка крива навантаження. Ці шість топологій управління попитом показано на рис. 3.2. Методи відсікання піків та заповнення спадів зосереджені на вирівнюванні рівнів пікового та спадового навантаження, щоб уникнути тривоги щодо ненадійності інтелектуальної мережі. Метод обмеження пікового навантаження – це метод прямого керування навантаженням (DLC). Зміщення навантаження ефективно застосовується в усьому світі як метод управління навантаженням шляхом перемикавання навантажень з часу пікового споживання на час позапікового

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		72

споживання. Стратегічне збереження має на меті застосовувати методи обмеження попиту безпосередньо в будинках споживачів для досягнення оптимізації форми навантаження. Стратегічне зростання навантаження приблизно еквівалентне методу заповнення долини, але використовується у випадку великого попиту для оптимізації щоденної реакції. Гнучка форма навантаження головним чином пов'язана з надійністю інтелектуальної мережі. Системи управління інтелектуальною мережею знаходять споживачів з гнучким контрольованим навантаженням під час пікового навантаження, обмінюючи їх на різні фінансові стимули або винагороди [6].

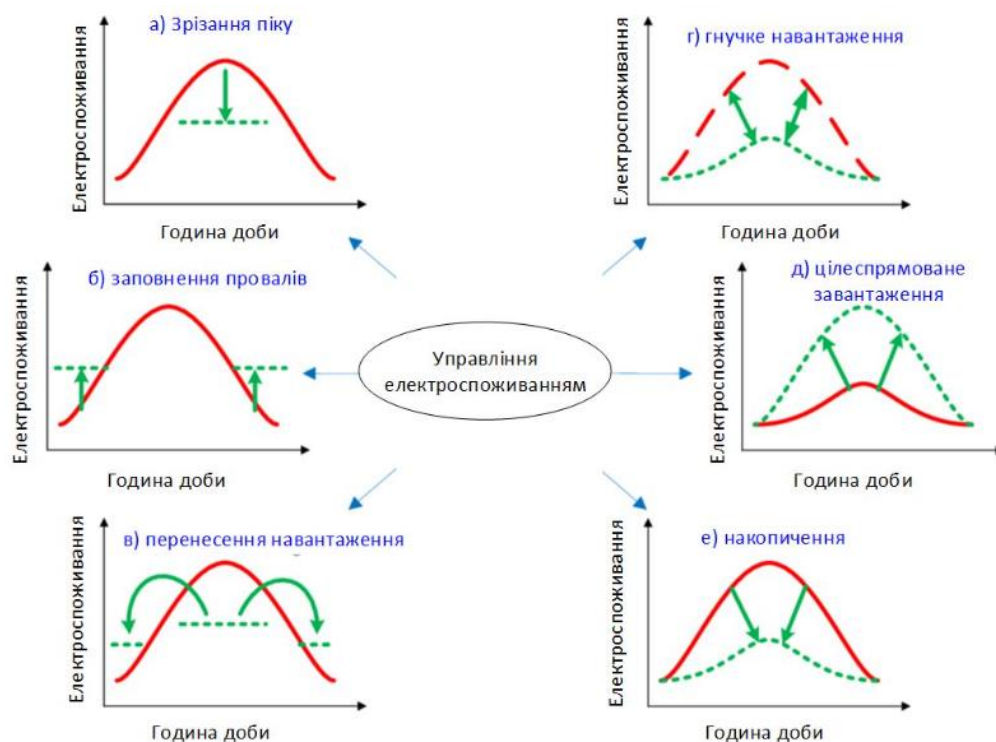


Рисунок 3.2 – Основні підходи до впливу на добовий графік електроспоживання [6]

3.2 Керування попитом за рахунок зменшення або переносу навантаження

З метою зниження енергетичних витрат підприємства та підвищення ефективності його роботи за умов зростання тарифів на електроенергію, актуальним є впровадження технологій активного управління попитом. Одним з ключових інструментів у цьому напрямі є концепція Demand Response (DR), яка передбачає гнучке реагування споживача на зміни в енергосистемі або цінові

сигнали. Розглянуто приклад застосування принципів DR до конкретного виробничого складського комплексу з цехом з метою оптимізації енергоспоживання в години пікового навантаження.

Об'єктом є виробничий цех, у якому експлуатуються верстати, агрегати, електротермічне обладнання, системи вентиляції та кранове господарство. Загальна розрахункова активна потужність електроприймачів складає 216,38 кВт, а повна потужність — 319,14 кВА. Електричне навантаження у пікові години призводить до зростання споживання, що негативно впливає на розподіл потужності в енергосистемі та формує додаткові витрати для підприємства.

Аналіз навантаження показав, що найбільш енергоємним обладнанням є шліфувальні верстати (СП3 та СП4), які сумарно можуть споживати понад 88,5 кВт, а також електротермічні установки, мостові крани та інші верстати. Частина цих установок не є критичною для основного виробничого циклу і може працювати з відтермінуванням або бути переведеною у режим очікування без негативного впливу на продуктивність.

Під час впровадження механізмів Demand Response на виробничому підприємстві важливо не лише оцінити потенціал скорочення навантаження, а й правильно визначити, яке саме обладнання може бути частково або повністю виведене з роботи у пікові години без порушення виробничого процесу, технологічного циклу чи умов безпеки праці.

В першу чергу критичність електропостачання, обладнання І категорії такі як вентиляція не можуть бути вимкнені бо вони можуть вплинути на здоров'я людини у разі відключення. Потім вже можна дивитися на інші критерії такі як виробнича критичність, часова гнучкість та рівень споживання.

Базуючись на розрахунках в другому розділі, розглянемо погодинне споживання та складемо графік споживання на основі використання електроприймачів у цеху з 8:00 до 19:00, сформованого на основі їх кількості, номінальної потужності, коефіцієнта попиту (кв) та коефіцієнта потужності ($\cos\phi$), із врахуванням змін навантаження протягом робочого дня.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		74

Розподіл електричного навантаження за годинами роботи (8:00 – 19:00)

З 8:00 до 9:00 активується значна частина обладнання через запуск виробничого процесу. Працюють усі вентилятори, електротермічні установки, частина шліфувальних (4 з 6), токарні (2 з 3) та фрезерні верстати (6 з 8). Загальна активна потужність навантаження в цей час становить близько 210–220 кВт.

З 9:00 до 11:00 деяке обладнання, що використовувалося на старті, переводиться в черговий режим. Вентиляція залишається активною. Зменшується кількість одночасно працюючих шліфувальних (до 3), фрезерних (до 4) та токарних (до 1) верстатів. Додаються свердлильні (2 з 3) та заточувальні (4 з 5). Загальне навантаження у ці години складає 170–185 кВт.

З 11:00 до 13:00 відбувається пікове навантаження внаслідок одночасної роботи більшості обдираючих (3 з 4), шліфувальних (5 з 6) та агрегатних верстатів (усі 3). Також працюють крани та електротермічні установки (3 з 4). Загальне навантаження – 190–200 кВт.

З 13:00 до 15:00 частина обладнання вимикається на обідню перерву або працює в неповному складі: шліфувальні (2), обдираючі (1), заточувальні (3), фрезерні (3), токарні (1), вентиляція працює без змін. Навантаження знижується до 140–160 кВт.

З 15:00 до 17:00 знову активізується більшість машин — додаються агрегатні та свердлильні верстати, включаються термічні установки (усі 4), частина кранів та повітрообмінників. Навантаження зростає до 200–210 кВт.

З 17:00 до 19:00 відбувається поступове згортання роботи. Залишається частина верстатів у черговому режимі: працюють тільки 1–2 шліфувальні, вентилятори (всі), 1 термоустановка, не працюють крани та більшість металорізального обладнання. Навантаження падає до 120–140 кВт, до кінця дня — 100–110 кВт.

У інші години споживання не перевищує 5 кВт.

Зобразимо це графіком у рисунок 3.3.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		75

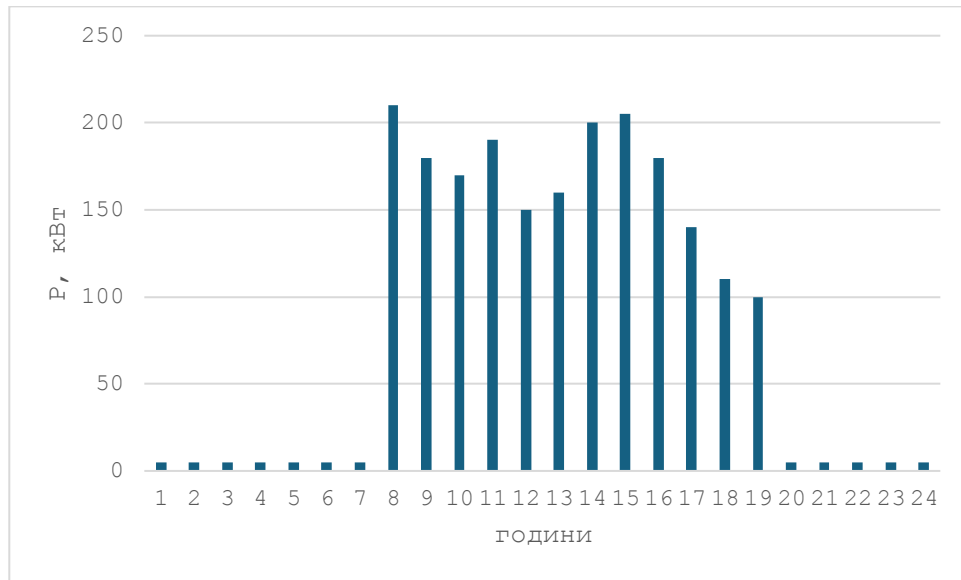


Рисунок 3.3 – Погодинне споживання електроенергії

Тому спробуємо зменшити пікове навантаження на 20% у пікові години.

Зменшення становить:

$$\Delta P = 210 \cdot 0,20 = 42 \text{ кВт.}$$

У період з 8:00 до 9:00, коли відбувається масовий запуск обладнання і споживання досягає 210–220 кВт, доцільно знизити навантаження за рахунок відтермінування запуску одного шліфувального (15 кВт), одного токарного (8 кВт), одного фрезерного (1.5 кВт) верстатів, а також однієї електротермічної установки (20 кВт). Це забезпечує загальне зниження на 44.5 кВт без шкоди для виробничого процесу. Або у період з 11:00 до 13:00, коли середнє навантаження становить близько 195 кВт, цільове зменшення на 20% передбачає зниження потужності приблизно до 156 кВт. шляхом вимкнення однієї електротермічної установки (20 кВт), одного свердлильного верстата (3.5 кВт), одного токарного верстата (8 кВт), одного фрезерного верстата (1.5 кВт), а за потреби — й одного агрегатного верстата (12 кВт). Сукупна економія понад 40 кВт дозволяє досягти необхідного зменшення навантаження без порушення технологічного процесу та без впливу на критично важливі системи. Такий підхід дозволяє зберегти нормативні мікрокліматичні умови в цеху, забезпечити безперервність технологічного процесу та водночас досягти суттєвого зменшення навантаження в критичні години доби без порушення вимог до безпеки праці та якості продукції. Такі дії дають змогу досягти необхідного рівня скорочення

навантаження без втручання в роботу систем життєзабезпечення (зокрема, вентиляції), не порушуючи нормальних умов праці, безперервності основного технологічного циклу та вимог до якості продукції.

3.3 Використання мікрогенерації на базі сонячної електростанції для підтримки системи управління попитом

В умовах зростання вартості електроенергії та посилення вимог до екологічної сталості енергоспоживання все більшого значення набувають стратегії активного управління попитом (Demand Response) із залученням відновлюваних джерел енергії. Одним із перспективних рішень у цьому напрямі є інтеграція сонячних електростанцій (СЕС) у внутрішні енергетичні системи підприємств. Такий підхід дозволяє не лише зменшити навантаження на мережу в пікові години, а й формувати власну частку генерації, яка може бути оперативно використана для покриття внутрішніх потреб або участі в балансуванні.

Сонячна електростанція потужністю 78 кВт, встановлена на території виробничого комплексу, здатна частково компенсувати активне навантаження споживачів у денні години, коли сонячна інсоляція є найвищою. Це створює додаткову гнучкість в управлінні попитом: підприємство може зменшити закупівлю електроенергії з мережі саме в періоди дії підвищених тарифів або на запит системного оператора. Враховуючи синхронізацію виробітку СЕС з денними навантаженнями, особливо у період 10:00–16:00, така генерація є ефективним засобом пікового зрізання споживання, зниження операційних витрат і підвищення енергонезалежності.

Крім прямого використання згенерованої енергії, можливим є також комбіноване використання СЕС із системами накопичення (акумуляторами), що дозволяє підприємству переносити надлишок енергії на вечірні або нічні години. У перспективі інтеграція власної генерації в систему автоматизованого управління навантаженням дає змогу підприємству брати участь у програмах керування попитом як активному гравцю на ринку допоміжних послуг або в пілотних проєктах агрегації.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		77

Таким чином, сонячна електростанція стає не лише інструментом енергозбереження, а й ключовим компонентом стратегії підвищення гнучкості енергоспоживання підприємства відповідно до вимог сучасної децентралізованої енергетики.

У рамках розглянутого підприємства сонячна електростанція потужністю 60 кВт інтегрована в локальну електричну мережу цеху та функціонує паралельно з джерелом від загальної мережі 0,4 кВ. Принцип дії полягає в тому, що вироблена СЕС активна потужність у реальному часі покриває тільки частину навантаження, що виникає в цеху, в першу чергу - в денний період, коли генерація є максимальною. У звичайному режимі така схема дозволяє зменшити пікову споживану потужність із зовнішньої мережі, що, у свою чергу, знижує плату за приєднану потужність та обсяг закупленої електроенергії за високим денним тарифом.

На об'єкті встановлені сонячні панелі Longi Solar LR5-72НТН-580М рис. 3.4. Технічні параметри панелі наведено у табл. 3.1.

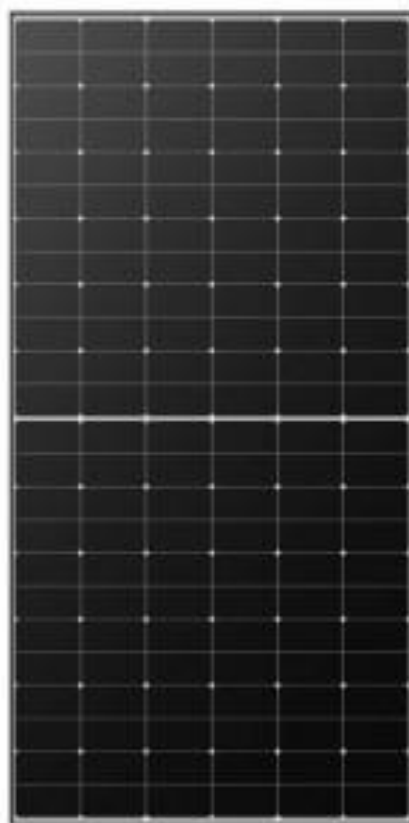


Рисунок 3.4 – Сонячна панель Longi Solar LR5-72НТН-580М [7]

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		78

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики сонячної панелі Longi Solar LR5-72НТН-580М [7]

Потужність на МРР, Вт	580
Напруга при макс. потужності, В:	44,06
Струм при макс. потужності, А:	13,17
Струм короткого замикання, А:	14,20
Напруга холостого ходу, В:	52,21
Запас потужності, Вт:	0...5
Максимальна напруга у системі, В:	1500
Максимальний струм, А	25
Ступінь захисту	IP68
ККД фотомодуля, %:	22,5
Габарити, Д*Ш*Г, мм:	2278x1134x35
Технологія виробництва:	монокристал
Клас фотомодуля	клас А
Вага, кг:	27,5
Робоча температура, °С	-40 < t < +85

Для перетворення постійного струму панелей у змінний вибрано 2 трифазних інвертора потужністю 40 кВт, з обмеженням перетоків SUN2000-40KTL-M3 (рис. 3.5). Технічні параметри інвертора наведено в табл. 3.2.



Рисунок 3.5 – Інвертор Huawei SUN2000-40KTL-M3 [8]

Таблиця 3.2. – Технічні характеристики інвертора Huawei SUN2000-40KTL-M3 [8]

Вхідні характеристики сонячного поля	
Макс. вхідна напруга L	1,100 В
Макс. струм на кожен МРРТ	26 А
Макс. струм КЗ на кожен МРРТ	40 А
Стартова напруга	200 В
Робочий діапазон напруги МРРТ 2	200 В ~ 1,000 В
Номинальна напруга DC	600 В
Вихідні характеристики	
Номинальна потужність, Вт	40,000
Максимальна потужність, Вт	44 000
Номинальна частота АС	50 Гц / 60 Гц
Номинальний вихідний струм	57.8 А
Макс. струм АС	63.8 А
Макс. коефіцієнт нелінійних спотворень	<3%

Загальна кількість панелей становить 136 шт. За допомогою програмного забезпечення PV*SOL 2025, яке є комерційним продуктом німецької компанії Valentin Software GmbH та спеціалізується на моделюванні фотовольтаїчних систем[9] було виконано розрахункове моделювання роботи сонячної електростанції, а також сформульован графік генерації електричної енергії у травні. Програма дозволяє з високою точністю враховувати параметри місцевого клімату, тип і конфігурацію панелей, орієнтацію площин, тіньові ефекти, втрати інверторів та інші технологічні фактори.

Для розрахунку даних про генерацію електричної енергії від сонячних батарей з бази даних витягується файл з усіма необхідними погодними даними, такими як опромінюваність променя - DNI (Вт/м²) , дифузне випромінювання - DHІ (Вт/м²) , глобальне опромінення - GHI (Вт/м²) ,площина опромінення масиву POA (Вт/м²) , швидкість вітру (м/с) , напрямок вітру (град.), температура сухого термометра (С), температура по вологому термометру (С), температура точки роси (С), відносна вологість (%) , тиск (мілібар), глибина снігу (см).

Розташування об'єкта, місто Одеса. Географічні координати наступні: 46°29'08.3" пн. ш. 30°44'36.6" сх. д.

Розрахунок оптимального кута нахилу панелей рахуємо за формулою:

$$\alpha_{\text{опт}} = \text{широта}^{\circ} \cdot 0,76 + 3,1,$$

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		80

де широта^o – кут географічної широти міста Одеси.

Місто Одеса знаходиться на 46^o ширині, тому:

$$\alpha_{\text{опт}} = 46^{\circ} \cdot 0,76 + 3,1^{\circ} = 38^{\circ}.$$

Отже, оптимальний кут нахилу панелі колектора $\alpha_{\text{опт}} = 38^{\circ}$.

Оптимальний кут нахилу (38^o на південь) сонячних модулів в широтах України забезпечить отримання максимального річного виробітку енергії.

Обрані панелі мають однакові габарити: 2278x1134x35 мм.

Отже площа панелі: $2,278 \cdot 1,134 = 2,58 \text{ м}^2$.

Площа даху складає: 1485 м².

Враховуючи, що встановлено 136 панелі то зайнята площа становить 350 м², що дає простір для майбутнього збільшення кількості сонячних панелей.

За допомогою програми оцінимо генерацію електроенергії в погодинному розрізі (табл. 3.3, рис. 3.6).

Таблиця 3.3. – Погодинна генерація сонячної станції

Години доби	Генерація, кВт·год
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	1,701
7	5,544
8	14,298
9	43,922
10	55,521
11	60,262
12	59,79
13	55,923
14	49
15	37,948
16	23
17	6,723
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
0	0
Сумарна генерація за день	413,63

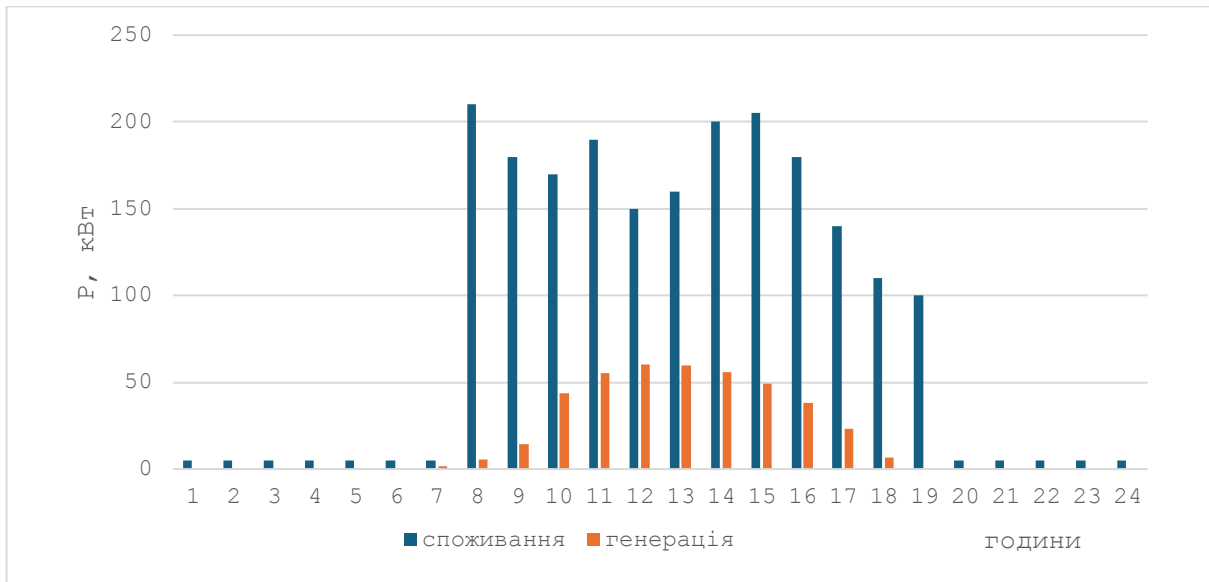


Рисунок 3.6 – Порівняння графіку генерації з графіком споживання

З графіку рис. 3.6 бачимо що у період з 9:00 до 17:00 відбувається генерація електроенергії за допомогою сонячної електростанції. Пікове значення потужності генерації спостерігається у проміжку з 10:00 до 13:00, де вона досягає орієнтовно 55 - 60 кВт. Водночас споживання у цей період становить понад 100 кВт, що свідчить про часткове покриття навантаження за рахунок власної генерації. Це означає, що підприємство також може використовувати СЕС, як додатковий інструмент керування попитом. Попри очевидні переваги використання сонячної електростанції у денні години, вона не гарантує повного покриття навантаження протягом доби. Тому для цього треба буде запровадити зберігання виробленої електроенергії. Адже без акумуляторів не вдасться регулювати споживанням по запиті агрегатору. Було вибрано 7 акумуляторних станцій Dyness Tower T17 (рис. 3.7). Характеристики наведені в табл. 3.4.



Рисунок 3.7 - Акумулятор Dyness Tower T10 [10]

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики Акумуляторної батареї Dyness Tower T10 [10]

Номінальна/корисна ємність	10.66 кВт·год / 9.6 кВт·год
Номінальна напруга	288 В
Ємність, А·год	37 А
Зарядний струм (макс.)	37 А
Діапазон робочої напруги	252 – 328 В
Напруга відсічення розряду	252 В
Номінальна довготривала потужність батаре	5.33 кВт
Режим охолодження	BMS
Рекомендований струм розряду	18.5 А
Рекомендована робоча температура заряду	0°C - +50°C
Рекомендована робоча температура розряду	0°C - +50°C
Тип батареї	Високовольтна

Наявність акумуляторної батареї на базі системи зберігання енергії (energy storage systems, ESS), зокрема на основі Dyness Tower T10, відкриває нові можливості для участі підприємства у механізмах керування попитом. Завдяки наявному запасу електроенергії в акумуляторах, підприємство може оперативно реагувати на сигнали агрегатора або системного оператора про необхідність зменшення навантаження на мережу. У випадку подання запиту про зниження

активної потужності, система здатна миттєво перейти в режим розряду та протягом трьох годин автономно покривати навантаження до 20 кВт. Також є потенціал для збільшення як генерації за рахунок сонячних панелей, так і ємності за рахунок батарей.

Висновок до розділу

У цьому розділі наведена методика керування попитом та можливості її впровадження в енергетичну систему складського комплексу з урахуванням особливостей структури навантаження, режимів роботи обладнання та наявних джерел електропостачання. Обґрунтовано, що завдяки оптимізації графіків роботи електроприймачів, зокрема перенесенню частини навантаження у позапікові години, підприємство може досягти зниження споживаної потужності у пікових періодах до 20%, що дозволяє зменшити витрати на електроенергію.

Окрему увагу приділено використанню сонячної електростанції потужністю 78 кВт, встановленої на території підприємства, яка дозволяє частково покривати споживання у денні години та синхронізувати роботу навантаження з графіком генерації. Для підвищення ефективності було також запропоновано впровадження системи накопичення енергії на базі літій-залізо-фосфатних акумуляторів, що дає змогу покривати частину споживання у вечірній час або у моменти відсутності сонячної генерації. Завдяки такій комбінації підприємство набуває здатності гнучко реагувати на запити системного оператора або агрегатора, зменшуючи навантаження на 20 кВт протягом трьох годин без перерв у роботі критичних систем.

Таким чином, застосування методики керування попитом у поєднанні з локальною генерацією та системами зберігання енергії формує ефективну енергетичну стратегію, що забезпечує як економічну доцільність, так і енергетичну гнучкість складського комплексу.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		84

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАБЕЛЬНОЇ МЕРЕЖІ 0,4 кВ

4.1 Загальна характеристика об'єкта

Кабельна лінія напругою 0.4 кВ призначена для розподілу електроенергії від трансформаторних підстанцій до кінцевих споживачів. Такі лінії прокладаються в землі, кабельних каналах або по естакадах. Елементи кабелю (ізоляція, оболонка та, в деяких випадках, додаткових захисних покрив) можуть бути потенційно небезпечними у випадках перегріву, короткого замикання або механічного пошкодження. Забезпечення безпечної експлуатації та технічного обслуговування є ключовим фактором стабільної та надійної роботи мережі

Розглянемо даний вид кабелю (Модель АВВГ 4×10)- до 1000 В [11].

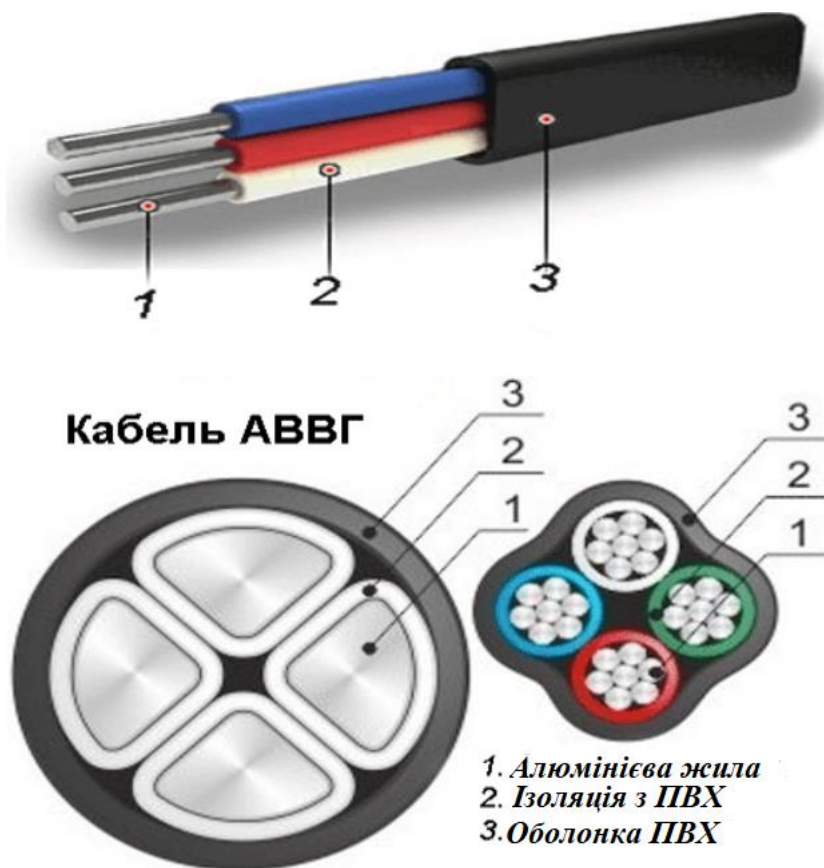


Рисунок 4.1 – Кабель АВВГ 4×10 [12]

					ОЕ-11-25.010 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Таран В. В.				ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАБЕЛЬНОЇ МЕРЕЖІ 0,4 кВ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Коцар О. В.						85	
Перевір.						ІЕЕ ОЕ-11		
Н. Контр.	Прокопенко І. Д							

Таблиця 4.1 - Основні характеристики кабелю АВВГ (Модель АВВГ 4×10) - до 1000 В [11], [12]

Найменування ЕУ	Основні характеристики	Числове значення показників
Кабельна лінія:	Марка проводів	АВВГ
	Номінальна напруга	660 В
	Довжина(мінімальна)	10 м
	Активний опір	3,08 Ом/км
	Індуктивний опір	0,073 Ом/км
	Допустиме струмове навантаження у повітрі	47 А
	Допустиме струмове навантаження у землі	55 А
	Допустимий струм короткого замикання	1150 А
	Маса 1 км	251 кг
	діаметр поперечного перерізу	10 мм ²
	мінімальний радіус згину	150 мм
	номінальна товщина ізоляції жил	0.8 мм
	Строк служби	25 років
	Гарантія	3 роки

4.2 Основні роботи при експлуатації кабельних ліній 0.4 кВ

Таблиця 4.2 - Роботи при експлуатації ліній

Вид робіт	Зміст робіт	Період виконання робіт і тривалості	Кількісний склад бригад	Група з електробезпеки
Обслуговування (регламентне)	Виконати огляд трас кабелів, перевірка стану муфт, лінійних з'єднань, кабельних колодязів, перевірка механічних пошкоджень, випробування ізоляції	1 раз на 6 місяців	3–5 осіб	II–III група

Продовження таблиці 4.2

Аварійне обслуговування	Усунення пошкоджень, визначення місця пробою, проведення відновлювальних робіт. Також має бути присутня відповідальна особа, яка має практичні вміння і право на виконання таких робіт. Ця особа проводить інструктаж працівників щодо правил безпеки.	За потреби	Не менше 3 осіб	керівник – III, виконавці – II
-------------------------	--	------------	-----------------	--------------------------------

4.3 Визначення та оцінка показників умов праці на робочих місцях

Таблиця 4.3 - Умови праці на робочому місці

Найменування чинника	Основні характеристики	Числове значення показників
Параметри мікроклімату[13]	Середня температура повітря	В холодний період – 16 – 18 °С В теплий період – 18 – 20 °С
	Вологість (річна та загальна кількість опадів)	Середня річна вологість 76 %, середня річна кількість опадів 620 мм;
	Швидкість вітру та вітровий район	Середня річна швидкість вітру 2,5 м/с, вітровий район III
Важкість праці[14]	Переміщення вантажів	До 15 кг
	Робоче положення	«стоячи», «стоячи зігнувшись»
	Статичні та динамічні навантаження	230...300) (Вт·год)
	Категорія робіт	II категорія
Напруженість праці	Тривалість зосередженого спостереження	30 %
	Тривалість активних дій	60 %
	Змінність	1 зміна, 8 годин
	Напруженість органів чуття: зір	20 %
	Категорія	II категорія
Електроенергія	Напруга	До 1000 В
Шум	Рівень звуку, дБА	90 дБА
Освітлення [15]	Тип освітлення	комбіноване

4.4 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників

В процесі експлуатації кабельних мереж напругою 0.4 кВ робітники піддаються впливу різних шкідливих та небезпечних факторів. Зібран перелік чинників, що можливо можуть надати вад здоров'ю працівникам зведен в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 - Виробничі чинники

Небезпечні і шкідливі чинники	Фактичне значення	Допустиме значення
Електричного походження		
Напруга	0.4 кВ	до 1 кВ
Струм короткого замикання	до 50 А та більше	0,6 мА
Напруженість електричного поля	до 0.5 кВ/м	до 1 кВ/м
Важкість[14]	III категорії	
Оцінка умов праці[14]	Шкідливі II категорії	
Додаткові шкідливі чинники	Застосування електроінструментів (дрилі, шліфмашини, бензорізи) супроводжується інтенсивним шумовим навантаженням (вище 85 дБ) та вібрацією, що при тривалому впливі викликає професійні захворювання.	

Типові нещасні випадки під час експлуатації кабельних мереж 0.4 кВ та профілактичні заходи.

Незважаючи на наявність нормативно визначених вимог з охорони праці, під час обслуговування кабельних мереж 0.4 кВ можуть траплятися нещасні випадки. Аналіз типових ситуацій дозволяє виокремити найпоширеніші причини травмування персоналу, а також обґрунтувати заходи профілактики. Занесемо їх в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 - Типові нещасні випадки

Ситуація	Причина	Заходи запобігання
Ураження електричним струмом	Робота на не знеструмленому обладнанні	нехтування перевіркою напруги Вимкнення живлення, перевірка індикатором, встановлення заземлення
Поріз руки або долоні	Використання монтажного ножа без ЗІЗ	Надягання захисних рукавиць, використання ножа з фіксатором
Травма очей при зриві оболонки або при роботі з кабелем	Відсутність окулярів	Використання захисних окулярів
Тепловий удар під час літніх робіт	Висока температура, відсутність перерв і питного режиму	Перерви в тіні, спецодяг світлого кольору, доступ до води
Падіння в кабельний колодязь	Робота без запобіжного пояса або огороження	Використання страхувального пояса, освітлення місця, присутність другого працівника
Отруєння чадним газом при горінні кабелю в тунелі	Недостатня вентиляція, відсутність протигазів	Наявність протигазів (типу М98), заборона входу без перевірки атмосфери

Ризик - це комбінація ймовірності заподіяння шкоди і тяжкості цієї шкоди [16]. Розрахувати ризик можна за формулою:

$$R = P \cdot A,$$

де P - ймовірність події, оцінюється за 5-бальною шкалою (1 - дуже рідко, 5 - часто);

A - очікуваний серйозність наслідків, оцінюється за 5-бальною шкалою (1 - незначне ушкодження, 5 - летальний випадок).

Ризик має вимірюватися в одиницях заподіяної небезпеки.

Інтерпретація ризиків:

- R = 1 – 4 – низький (прийнятний, контроль мінімальний);
- R = 5 – 9 – середній (потрібен постійний моніторинг);
- R = 10 – 15 – високий (вимагає невідкладних заходів управління ризиком).

Розраховуємо значення ризику ураження електрострумом:

$$R = 3 \cdot 5 = 15.$$

Проводимо аналогічний розрахунок для всіх основних професійних ризиків при експлуатації КЛ 0.4 та зводимо результати у таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 - Аналіз основних професійних ризиків при експлуатації КЛ 0.4 кВ

Небезпечна ситуація	P (Імовірність)	A (Наслідки)	Значення ризику	Рівень ризику
Ураження електрострумом	3	5	15	Високий
Падіння у колодязь	2	4	8	Середній
Поріз руки інструментом	4	2	8	Середній
Отруєння чадним газом	1	5	5	Помірний
Пожежа через коротке замикання	2	5	10	Високий
Падіння предметів у траншеї	2	3	6	Середній
Тепловий удар під час літніх робіт	3	3	9	Середній

Оскільки найвищий ризик пов'язано через ураження струмом та пожежею через КЗ. Ці загрози потребують першочергового звернення уваги для впровадження заходів безпеки.

4.5 Вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці

Створення безпечних умов праці під час експлуатації кабельних мереж напругою 0.4 кВ є доволі важливим напрямом для створення безпечних умов діяльності на підприємствах енергетичного сектору. Ефективна система охорони праці в електроустановках базується на підході, який передбачає впровадження технічних, організаційних і профілактичних заходів.

Загалом, безпека праці в енергетичних підприємствах реалізується через взаємодію трьох ключових складових:

- технічні заходи і засоби;
- організаційні заходи;
- засоби індивідуального захисту, електроізолювальні та електровимірювальні засоби.

Зобразимо ці складники у таблиці 4.7:

Таблиця 4.7 - Складники енергетичних підприємств

Вид заходу	Найменування заходу	Опис, показники і характеристики
Технічні заходи з електробезпеки		
Вимикання	Зняття напруги	Вимкнення струмовідних частин, на яких буде виконуватися робота
Заземлення	Встановлення переносного заземлення	Після перевірки відсутності напруги; відведення залишкового заряду
Ізоляція	Ізолювання струмовідних частин	Накладання захисних кожухів або ковпачків на контактні частини
Вимірювання	Перевірка відсутності напруги	Індикатори напруги, покажчики; обов'язкова перевірка перед роботою
Освітлення	Забезпечення робочого освітлення	Мобільні або аварійні світильники з відповідним класом захисту
Організаційні заходи з електробезпеки		
Обгородження	Розміщення плакатів безпеки на приводах роз'єднувачів	Вивішується попереджувальний плакат «Не вмикати! Робота на лінії» за вказівкою відповідальної особи. Плакат несе інформаційне та організаційне навантаження і гарантує безпеку бригад, що працюють на відключеній ділянці мережі.
Організація робіт	Видача наряду-допуску	Офіційне оформлення дозволу на проведення робіт з переліком заходів безпеки
Інструктаж	Первинний інструктаж	Проведення на робочому місці перед початком роботи, запис у журналі
Контроль	Призначення відповідального	Особа з групою III або IV несе відповідальність за безпечне виконання робіт

Окремо винесемо засоби індивідуального захисту:

1. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- захисна каска з підшоломником;
- захисні окуляри;
- запобіжний пояс для робіт на висоті або у вертикальних колодязях;
- діелектричні рукавички (до 1000 В);

- діелектричне взуття або калоші;
- ізолюючий килимок або підставка;
- спецодяг згідно з нормативами (куртка, штани, сигнальний жилет, утеплений комплект — за потреби).

2. Індивідуальний інструмент працівника:

- плоскогубці комбіновані з діелектричним покриттям ручок;
- ніж монтерський для зняття ізоляції;
- метр складальний або рулетка (не менше 2 м);
- молоток слюсарний сталевий;
- викрутка з діелектричною ручкою (пряма та хрестова);
- оправка ручна ОД-6 (для встановлення наконечників або муфт).

3. Бригадний інструмент (спільного користування):

- кліщі універсальні КУ-1 (для обтискання жил);
- кліщі ручні КВН-1 (для монтажу кабельних муфт);
- омметр (для перевірки опору ізоляції);
- прилад для фазування (контроль черговості фаз у трифазній мережі);
- лебідка для затягування кабелю (механічна або електрична);
- динамометр або кабелеукладальний пристрій (за потреби — для великогабаритних ділянок).

Організація безпечної експлуатації кабельних мереж напругою 0,4 кВ неможлива без регулярного навчання персоналу, перевірки технічного стану електрообладнання та належного обліку засобів індивідуального і колективного захисту. Тому необхідно проводити як періодичний інструктаж персоналу, так і перевіряти прилади. Заходи контролю та підготовки персоналу занесено до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 - Складники енергетичних підприємств

Назва заходу	Періодичність	Відповідальна особа / структура
Перевірка знань з охорони праці	1 раз на рік	Комісія підприємства, начальник служби ОПу
Інструктажі з охорони праці	Вступний — одноразово; інші — згідно графіка	Майстер дільниці, інженер з ОП

Продовження таблиці 4.8

Інструктаж з пожежної безпеки	1 раз на півріччя	Відповідальний за пожежну безпеку
Перевірка ЗІЗ (рукавички, чоботи, каски)	Щоквартально	Комірник ЗІЗ, відповідальний з ОП
Випробування діелектричних засобів	1 раз на 6 місяців (перчатки, чоботи); 1 р/р (килимки)	Електротехнічна лабораторія
Перевірка приладів (омметр, індикатори)	Згідно паспорта, не рідше 1 р/р	Відповідальний за метрологічне забезпечення
Вимірювання опору ізоляції кабелів	1 раз на 1–3 роки (залежно від типу мережі)	Випробувальна лабораторія
Візуальний огляд кабельних трас	Щомісяця	Лінійна служба, оперативний персонал

4.6 Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків пожеж і вибухів

Кабельні мережі напругою 0,4 кВ, незважаючи на відносно низьку напругу, залишаються потенційно пожежонебезпечними через наявність великої кількості горючих матеріалів (ізоляція, оболонки кабелів, пластикові кріплення), скупченість обладнання та ризик коротких замикань. Відповідно до правил з пожежної безпеки об'єкт має бути оснащений основними засобами пожежогасіння, а також технічними та організаційними засобами на випадок виникнення пожежі або вибуху. Усі засоби пожежогасіння розташовуються в спеціально визначеному місці. Результати відбору наведені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 - Перелік заходів і засобів з пожежної безпеки

Група заходів	Технічні характеристики	Критерії вибору
Технічні		
Вуглекислотний вогнегасник	Гасить пожежі класу Е Не залишає слідів, не пошкоджує обладнання	Використання в електроустановках до 1000 В; безпечний для працівників та обладнання
Система блискавкозахисту	Сітчастий блискавко приймач, контур заземлення, з'єднання по периметру	захист від перенапруг при грозових розрядах, особливо для ТП і відкритих РП
Система пожежного оповіщення	Світлова/звукова сигналізація, резервне живлення	Необхідна для негайного повідомлення про пожежу та евакуації
Забезпечення протипожежного водопостачання	Постійний напір, корозостійке виконання трубопроводів	Для швидкої локалізації займання в кабельних каналах, колодязях, приміщеннях

Продовження таблиці 4.9

Організаційні заходи		
Проведення інструктажів	Вступний, первинний, повторний, цільовий; оформлюється у журналі	Перед кожним видом робіт; згідно з вимогами охорони праці та пожежної безпеки
Встановлення попереджувальних знаків	Плакат «Не вмикати – працюють люди»,	Забезпечення візуального попередження для персоналу
Засоби індивідуального захисту		
Діелектричні рукавички	Захист до 1000 В; перевірка кожні 6 міс.	При роботах з електрообладнанням; обов'язково при знятті/подачі напруги
Протигаз фільтрувальний	Захист від диму, СО, з фільтром типу ХС	Для роботи в умовах задимлення або у кабельних колодцях

Висновки до розлілу

В цьому розділі дипломного проєкту було розглянуті особливості та вимоги при експлуатації кабельної мережі 0,4 кВ. У ході аналізу були визначені основні потенційні ризики, що виникають під час монтажу, ремонту та експлуатації кабельних ліній: ураження електричним струмом, механічні травми, дія шкідливих фізичних чинників (шум, вібрація, метеоумови), можливість займання ізоляційних матеріалів або короткого замикання.

Для виконання робіт з технічного обслуговування при експлуатації КЛ працівники повинні мати допуск не нижче III класу, відповідної кваліфікації. Шкідливість даної роботи відноситься до II категорії.

Для зменшення ризиків травмування серед працівників, які виконують експлуатацію кабельної мережі запропоновано такі заходи безпеки. Обов'язкове проходження первинного та цільового інструктажів з охорони праці та електробезпеки. При чіткому визначені відповідальних осіб за безпечне виконання різних етапів робіт. Не менш важливим є забезпечення працівників справними та своєчасно перевіреними засобами індивідуального захисту. Також впровадження протипожежних засобів підвищують рівень безпеки в екстрених ситуаціях. Серед таких засобів є оснащення приміщень відповідними типами вогнегасників, позначення зон підвищеної небезпеки та розміщення евакуаційних схем.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		94

ВИСНОВОК

В дипломному проєкті проведено аналіз електричних навантажень промислових, комунальних та побутових споживачів із використанням методик, що відповідають чинним нормативним документам. Розгляд системи електропостачання охоплював, зокрема, обґрунтування вибору номінальної потужності трансформаторів та визначення необхідних перерізів кабельних ліній для мереж високої та низької напруги.

Основні етапи виконаних робіт:

1. Оцінка потенціалу участі об'єкта у керуванні попитом:

Було встановлено, що складський комплекс з виробничим цехом має високий потенціал до участі в програмах Demand Response завдяки гнучким навантаженням, СЕС та автоматизованій системі обліку. Участь у балансуєчому ринку можлива за умови цифровізації та взаємодії з агрегатором гнучкості.

2. Проєктування загальної схеми електропостачання:

Було спроектовано схему електропостачання з урахуванням вибору живильної мережі, трансформаторів, комутаційної апаратури та захисту. Оптимальні технічні рішення підібрано відповідно до навантаження та потреб цеху для забезпечення стабільної та ефективної роботи.

3. Впровадження системи керування попитом та використання ВДЕ:

Розглядалось впровадження системи керування попитом на базі складського комплексу, зокрема шляхом організації зниження електроспоживання в пікові години навантаження енергосистеми. Такий підхід дозволяє не лише оптимізувати витрати підприємства на електроенергію, а й сприяє підвищенню надійності та гнучкості системи енергопостачання. У рамках проєкту передбачено, що частина технологічного навантаження може бути тимчасово вимкнена або перенесена на години з меншим тарифом на електроенергію.

Крім того, ефективним доповненням до заходів з активного керування навантаженням стало впровадження сонячної електростанції (СЕС), поєднаної з системою акумуляування енергії. Сонячна генерація забезпечує часткове

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		95

покриття споживання в денні години, а накопичувачі дозволяють зберігати надлишок енергії для використання у певні години.

4. Охорона праці та безпека:

У розділі з охорони праці було проаналізовано умови експлуатації КЛ 0,4 кВ, визначено основні професійні ризики: ураження струмом, механічні травми, дія шуму, вібрацій та метеофакторів. Запропоновано заходи безпеки — інструктажі, ЗІЗ, протипожежне оснащення, дотримання вимог до кваліфікації персоналу (допуск не нижче III групи).

Впровадження системи керування попитом є важливим елементом сучасного енергоменеджменту для підприємств, оскільки дозволяє гнучко реагувати на зміну навантаження в енергосистемі, знижувати витрати на електроенергію та підвищувати енергоефективність. Реалізація такої системи потребує інтеграції автоматизованих засобів керування, цифровізації обліку та взаємодії з балансуєчим ринком. Підсумки проведеного аналізу підтверджують доцільність використання керування попитом для великих споживачів, особливо у поєднанні з власною генерацією та накопичувачами енергії.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		96

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок URL: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf>
2. ДСТУ EN 50160:2014
3. The Evolution and Impact of Demand Response Programs [Електроний ресурс] URL: <https://www.energytoolbase.com/blog/energy-storage/the-evolution-and-impact-of-demand-response-programs>
4. Albadi MH, El-Saadany EF (2008) A summary of demand response in electricity markets. Electric Power Syst Res 78(11)
5. Лір В. Економічні механізми управління попитом на ринку електроенергії / В. Лір// Економіст. – 2015. - №2. –С. 9 – 13
6. Sharma, A.K., Saxena, A. A demand side management control strategy using Whale optimization algorithm. SN Appl. Sci. 1, 870 (2019). URL: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0899-0>
7. Сонячна панель Longi Solar LR5-72HTH-580M. URL: https://e-energy.in.ua/Solar_panels/sonyachna-panel-longi-solar-lr5-72hth-580m.html
8. Інвертор Huawei SUN2000-40KTL-M3. URL: https://www.solargarden.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/usi-harakterystyky-sun2000_30_36_40ktl_m3.pdf
9. PV*SOL. Програмне забезпечення для проектування та моделювання для відновлюваної енергетики URL: <https://valentin-software.com/en/>
10. Акумулятор Dyness Tower T10. URL: <https://solarverse.com.ua/ru/product/blok-batarey-dyness-tower-t10-lifepo4-3xhv9637-288v-37ah-1066kwh-bms>
11. Системи електропостачання. Довідникові таблиці. Укладачі: В. А. Попов, В. В. Ткаченко, О. С. Ярмолюк
12. Кабель АВВГ 4х10. URL: <https://elektrik.kiev.ua/product/kabel-avvg-4h10/>
13. ДСНЗ.3.6.042-99.Державнісанітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		97

14. ГН 3.3.5-8-6.6.1-2014. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу: наказ від 08.04.2014.м. N 248. Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 2014
15. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
16. ДСТУ 2293:2014 Охорона праці. Терміни та визначення основних понять

					ОЕ-11-25.017 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		98

ДОДАТОК А

Таблиця А1 - Розрахунок електричних навантажень цеху

Початкові дані										Проміжні потужності		n_{pe}	n_e	K_p	Розрахункові потужності			Розрахункові струми $I_{p,A}$
Найменування ЕП	$n, од$	За умовою				Довідникові				$P_p, кВт$	$Q_p, квар$				$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВ-А$	
		Номінальна потужність, кВт				$P_{н.і. max} / P_{н.і. min}$	$k_B, Кв$	$\cos\phi$	$tg\phi$									
		$P_{н.і.}$	$P_{н.г.}$	$P_{н.і. max}$	$P_{н.і. min}$													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Вентелятор витяжний	2	30	60				0,6	0,8	0,750	36,000	27,000							
Вентелятор приточний	2	40	80				0,6	0,8	0,750	48,000	36,000							
СП1	4		140	40,0	30,0	1,33	0,6			84,000	63,000	3,9	4	1,14	95,8	69,3	118,2	180
Фрезувальний верстат	8	12	96				0,22	0,5	1,73	21,120	36,538							
Свердильні верстат	3	3,5	10,5				0,14	0,6	1,33	1,470	1,955							
Токарні верстат	3	24	72				0,16	0,6	1,33	11,520	15,322							
Агрегатні верстат	3	12	36				0,3	0,7	1,02	10,800	11,016							
Електротермічні установки	4	20	80				0,6	0,9	0,48	48,000	23,040							
СП2	21		294,5	24	3,5	6,857143	0,315			92,910	87,870	33,9	34	0,75	69,6	87,8	112,04	170,2274
Мостові крани, ТВ=60%	1	60	60				0,1	0,8	0,75	6,000	4,500							
СП3	1		60	60	60	1	1			6,000	4,500	1	1	1,14	6,84	4,95	8,44323	12,82816
Шліфувальний верстат	3	88,5	265,5				0,22	0,6	1,33	58,410	77,685							
Обдирючі верстат	4	40	160				0,17	0,5	1,73	27,200	47,056							
СП4	7		425,5	88,5	40	2,2125	0,201			85,610	124,741	9,5	10	0,91	77,9	137,215	157,786	239,7313
Шліфувальний верстат	3	88,5	265,5				0,22	0,6	1,33	58,410	77,685							
Заточувальні верстат	5	5	25				0,2	0,5	1,73	5,000	8,650							
СП5	8		290,5	88,5	5	17,7	0,218			63,410	86,335	5,3	5	1,02	64,6	94,9688	114,857	174,5079
Сипове навантаження (СП1...СП5) на шинах 0,4 кВ Т II	41		1210,5	88,5	3,5	25,2	0,274			331,930	366,447	27,356	28	0,75	248,9475	274,835	370,822	563,4063
Освітлювальне навантаження (ЩО)															4,876	2,36	5,41	8,23
Сумарне навантаження на шинах 0,4 кВ ТП															216,38	234,58	319,14	484,88

