

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет (навчально-науковий інститут) Навчально-науковий інститут
«Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра електротехніки та електроенергетики

До захисту допущено

кафедрою електротехніки та електроенергетики протокол № _____ від _____

завідувач кафедри _____ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача _____ першого (бакалаврського) _____ рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

«Проектування СЕП вузла навантаження цеху промисловості будівельних
матеріалів»

(тема роботи)

Спеціальність (спеціалізація) 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи
(назва освітньої програми)

Здобувач _____ Денис ІВАНОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Факультет (навчально-науковий інститут) Навчально-науковий інститут
«Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Артем ЧЕРНЮК

(ім'я, прізвище)

_____ (підпис)

«_____» _____ 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

Іванов Денис Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

Спеціальність (спеціалізація) 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи

(назва освітньої програми)

1. Тема роботи: Проектування СЕП вузла навантаження цеху
промисловості будівельних матеріалів

керівник роботи Кирисов Ігор Геннадійович, PhD

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по Університету від «15» грудня 2025 року, №4801-5/4399

2. Строк подання здобувачем роботи: «01» червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: найменування електроспоживачів напругою до 1 кВ, мінімальна та максимальна потужність споживачів, кількість споживачів, їх номінальна потужність, режим роботи електроспоживачів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

1.) Загальна характеристика технологічного процесу проектного об'єкту.

2.) Електричні розрахунки.

3.) Охорона праці

5. План роботи

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу споживачів, характеристика їх по безперебійності	25.02.26-10.03.26	
2	Електричні розрахунки	11.03.26-15.04.26	
3	Охорона праці	16.04.26-30.04.26	
4	Розробка презентації	01.05.26-14.05.26	
5	Оформлення пояснювальної записки	15.05.26-01.06.26	

6. Дата видачі завдання: «16» грудня 2025 року

Здобувач вищої освіти _____ Денис ІВАНОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему «Проектування системи електропостачання вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів» складається з 64 сторінок, містить 2 рисунків, 4 таблиць, ___ додатків та 21 найменувань використаних джерел.

Мета роботи – розроблення проекту системи електропостачання вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів, що забезпечує надійне та безперебійне електропостачання технологічного обладнання при раціональному використанні електричної енергії.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз технологічного процесу цеху промисловості будівельних матеріалів та визначено склад основних електроспоживачів. На основі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання. Визначено розрахункові значення активної, реактивної та повної потужностей, що дозволило обґрунтувати вибір схеми електропостачання та основного електротехнічного обладнання.

У роботі здійснено вибір кількості та потужності силових трансформаторів, кабельних ліній, розподільчих пристроїв і комутаційної апаратури. Проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках електричної мережі та виконано вибір засобів релейного захисту й автоматики. Перевірено відповідність вибраного обладнання вимогам щодо допустимих режимів роботи, термічної та електродинамічної стійкості. Для підвищення ефективності використання електричної енергії виконано розрахунок компенсації реактивної потужності. Запропоновані технічні рішення спрямовані на зменшення втрат електроенергії, підвищення коефіцієнта потужності та покращення показників якості електричної енергії.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці та електробезпеки. Розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для підприємств промисловості будівельних матеріалів, а також запропоновано заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації електроустановок і захисту персоналу.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованих технічних рішень під час проектування нових або модернізації існуючих систем електропостачання підприємств промисловості будівельних матеріалів з метою підвищення надійності роботи електрообладнання, зниження енергетичних втрат та покращення техніко-економічних показників виробництва.

Ключові слова: система електропостачання, вузол навантаження, цех промисловості будівельних матеріалів, електричні навантаження, трансформаторна підстанція, силовий трансформатор, компенсація реактивної потужності, струми короткого замикання, енергоефективність.

ABSTRACT

Explanatory note to the bachelor's qualification work on the topic " Design of the power supply system of the load unit of the building materials industry workshop " consists of 64 pages, contains 2 figures, 4 tables, ____ appendices and 21 names of sources used.

The purpose of the work is to develop a project for the power supply system of the load unit of the building materials industry workshop, which ensures reliable and uninterrupted power supply of technological equipment with rational use of electrical energy.

In the qualification work, an analysis of the technological process of the building materials industry workshop was carried out and the composition of the main electricity consumers was determined. Based on the initial data, the calculation of the electrical loads of the power supply unit was performed. The calculated values of active, reactive and apparent powers were determined, which allowed to justify the choice of the power supply scheme and the main electrical equipment.

In the work, the number and power of power transformers, cable lines, switchgear and switching equipment were selected. The calculation of short-circuit currents at characteristic points of the electrical network was performed and the selection of relay protection and automation equipment was made. The selected equipment was checked for compliance with the requirements for permissible operating modes, thermal and electrodynamic stability. To increase the efficiency of electrical energy use, reactive power compensation was calculated. The proposed technical solutions are aimed at reducing electricity losses, increasing the power factor and improving the quality of electrical energy.

A separate section is devoted to issues of labor protection and electrical safety. The main dangerous and harmful production factors characteristic of enterprises of the building materials industry are considered, and measures are proposed to ensure the safe operation of electrical installations and personnel protection.

The practical significance of the work lies in the possibility of using the proposed technical solutions when designing new or modernizing existing power supply systems of enterprises of the building materials industry in order to increase the reliability of electrical equipment, reduce energy losses and improve technical and economic indicators of production.

Keywords: power supply system, load node, building materials industry workshop, electrical loads, transformer substation, power transformer, reactive power compensation, short-circuit currents, energy efficiency.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТУ.....	11
2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	16
2.1 Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ	16
2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	22
2.2.1 Визначення потужності КП за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів.....	23
2.2.2 Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	26
2.3 Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху.....	27
2.4 Вибір схеми внутріцехової мережі напругою до 1 кВ.....	29
2.5 Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань).....	32
2.6 Вибір марки і перетину струмоведучих частин.....	38
2.7 Розрахунок струмів к.з. у мережі напругою до 1 кВ.	40
2.8 Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП	49
2.9 Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження.....	52
3.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	55
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

					ЕТ і ЕЕ 4815.006.000 ПЗ									
Змн	Арк	П.І.Б.	Підпис	Дата	<i>Проектування СЕП вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів</i>				Літера	Аркуш	Аркушів			
Розроб.	Іванов											6	64	
Перевір.	Кирисов								гр. ЗЕА-Е23пр					
Н. контр														
Затверд.	Чернюк													

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

ЕП	-	електроприймач
СЕП	-	система електропостачання
ТП	-	трансформаторна підстанція
НБК	-	низьковольтні батареї конденсаторів
ККУ	-	комплектна конденсаторна установка
КТП	-	комплектна трансформаторна підстанція
ПС	-	підстанція
РП	-	реактивна потужність
ГЗП	-	головна знижувальна підстанція
КРП	-	компенсація реактивній потужності
ЯЕЕ	-	якість електричної енергії
ДЖ	-	джерело живлення
ДРП	-	джерело реактивної потужності
КУ	-	конденсаторна установка
КП	-	компенсуючі пристрої
АД	-	асинхронний двигун
СД	-	синхронний двигун
ДСП	-	дугосталеплавильная піч
ДДРП	-	додаткові джерела реактивної потужності

ВСТУП

Сучасна промисловість будівельних матеріалів є однією з базових галузей економіки, що забезпечує потреби будівельного комплексу у цементі, цеглі, залізобетонних виробках, керамічних матеріалах, склі та інших видах продукції. Розвиток будівельної галузі безпосередньо залежить від стабільної роботи підприємств з виробництва будівельних матеріалів, ефективність функціонування яких значною мірою визначається надійністю систем електропостачання.

Технологічні процеси підприємств промисловості будівельних матеріалів характеризуються значною енергоємністю та широким використанням електромеханічного обладнання. У виробничих цехах експлуатуються дробарки, млини, змішувачі, конвеєри, сушильні установки, компресори, вентилятори, насоси та інші електроприймачі великої потужності. Безперебійне електропостачання цього обладнання є необхідною умовою забезпечення безперервності технологічних процесів, високої продуктивності праці та належної якості готової продукції.

У сучасних умовах розвитку промислового виробництва особливого значення набувають питання підвищення енергоефективності, зниження втрат електричної енергії та забезпечення нормативних показників її якості. Рациональне проєктування систем електропостачання дозволяє забезпечити надійне функціонування виробничих об'єктів, мінімізувати експлуатаційні витрати, підвищити економічну ефективність підприємства та створити безпечні умови праці для персоналу.

Одним із найважливіших етапів проєктування систем електропостачання є визначення електричних навантажень виробничих споживачів. Від правильності виконання розрахунків залежить вибір потужності силових трансформаторів, кабельних ліній, розподільчих пристроїв, комутаційної апаратури та засобів релейного захисту. Недостатньо обґрунтований вибір обладнання може

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

призвести до перевантаження мереж, погіршення якості електричної енергії, збільшення втрат потужності та зниження надійності електропостачання.

Особливістю цехів промисловості будівельних матеріалів є наявність значної кількості асинхронних електродвигунів, які споживають реактивну потужність і створюють додаткове навантаження на систему електропостачання. Тому важливим завданням під час проєктування є впровадження заходів щодо компенсації реактивної потужності, оптимізації режимів роботи електричних мереж та підвищення коефіцієнта потужності.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у необхідності розроблення ефективної системи електропостачання вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів, яка забезпечуватиме надійне та безпечне електропостачання технологічного обладнання, відповідатиме сучасним вимогам енергоефективності та вимогам чинних нормативних документів.

Метою роботи є проєктування системи електропостачання вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів, яка забезпечує надійне, безпечне та економічно ефективне електропостачання виробничого обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз технологічного процесу та складу електроспоживачів цеху;
- визначити категорії надійності електропостачання електроприймачів;
- виконати розрахунок електричних навантажень вузла навантаження;
- обґрунтувати вибір схеми електропостачання цеху;
- здійснити вибір силових трансформаторів та розподільчих пристроїв;
- виконати вибір кабельних ліній і струмопровідних елементів;
- провести розрахунок струмів короткого замикання;
- вибрати комутаційну апаратуру;
- виконати розрахунок компенсації реактивної потужності;

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити заходи щодо охорони праці та електробезпеки.

Практичне значення роботи полягає у розробленні комплексу технічних рішень щодо побудови системи електропостачання вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування нових або модернізації існуючих систем електропостачання підприємств галузі для підвищення надійності електропостачання, зниження енергетичних втрат та покращення техніко-економічних показників виробництва.

Таким чином, проєктування системи електропостачання вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів є актуальним інженерним завданням, вирішення якого сприяє забезпеченню безперебійної роботи виробництва, раціональному використанню електричної енергії та підвищенню ефективності функціонування підприємства в сучасних умовах господарювання.

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						10
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Характер технологічного процесу є одним із визначальних факторів під час проектування систем електропостачання промислових підприємств. Його аналіз дає змогу оцінити можливі виробничо-економічні наслідки раптового припинення електропостачання, встановити категорію надійності окремих вузлів електричного навантаження за вимогами до безперервності живлення, а також виявити специфічні групи електроспоживачів, що потребують особливих умов електрозабезпечення. Крім того, результати дослідження технологічного процесу є основою для визначення необхідної кількості незалежних джерел живлення, вибору структури живильних і розподільних мереж, а також обґрунтування доцільності застосування засобів автоматизації електропостачання.

Відповідно до вимог нормативних документів, зокрема Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), усі електроприймачі за рівнем вимог до надійності електропостачання поділяються на три категорії.

До електроприймачів першої категорії належать установки, припинення електроживлення яких може створити загрозу життю та здоров'ю персоналу, спричинити значні матеріальні втрати, пошкодження технологічного обладнання, масовий випуск бракованої продукції або порушення складних безперервних виробничих процесів.

Друга категорія охоплює електроприймачі, відключення яких призводить до суттєвого зниження обсягів виробництва, простою працівників, технологічних механізмів або внутрішньозаводського транспорту.

До третьої категорії відносять електроспоживачів, які не відповідають критеріям першої та другої категорій. Зазвичай це допоміжні виробництва, складські комплекси та інші об'єкти, функціонування яких не має визначального впливу на основний технологічний цикл підприємства.

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівень надійності електропостачання безпосередньо залежить від категорії електроприймачів, структури мережі та кількості незалежних джерел живлення. Для споживачів першої категорії обов'язковою є наявність щонайменше двох незалежних джерел електроенергії. Допустима перерва в електропостачанні таких споживачів обмежується лише часом спрацювання системи автоматичного введення резерву (АВР).

Електроприймачі другої категорії можуть житися як від одного, так і від двох незалежних джерел. Конкретне рішення приймається з урахуванням значущості виробництва та місцевих умов електропостачання. Допустима тривалість перерви в живленні визначається часом, необхідним для ручного підключення резервного джерела оперативним персоналом.

Для електроспоживачів третьої категорії, як правило, достатньо одного джерела живлення. Водночас за наявності технічної можливості та економічної доцільності допускається резервування і для цієї групи навантажень. Перерва в електропостачанні таких споживачів допускається на період проведення ремонтних робіт або заміни пошкоджених елементів мережі, але не повинна перевищувати однієї доби.

До підприємств промисловості будівельних матеріалів належать виробництва цементу, скла, залізобетонних конструкцій, керамічної цегли та іншої будівельної продукції. Електротехнічне обладнання таких підприємств характеризується значним діапазоном встановлених потужностей. Так, електроприводи змішувальних агрегатів і бігунів мають потужність до 55 кВт, цементних млинів — до 1800 кВт, а компресорних установок, вентиляторів і дробарок — від 300 до 1600 кВт.

Одними з найбільш відповідальних агрегатів цементного виробництва є обертіві печі, продуктивність яких визначає ефективність усього технологічного комплексу. Довжина таких печей становить 127–230 м, діаметр — 3,6–8 м, а маса обертівих частин може перевищувати 3000 т. Печі монтуються з нахилом близько 4° до горизонтальної площини та працюють у безперервному режимі з частотою

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

обертання 1–1,5 об/хв. Через значні пускові моменти їх приводи виконуються на базі асинхронних двигунів із фазним ротором потужністю від 60 до 2×310 кВт.

Для механізмів, що потребують регулювання швидкості обертання, зокрема шламових живильників і вугільних шнеків, використовуються електроприводи постійного струму. Приводи допоміжного обладнання печей — елеваторів, конвеєрів, насосів, вентиляторів та інших механізмів — переважно виконуються на основі трифазних асинхронних двигунів.

До електротехнологічного обладнання цементних підприємств належать також електрофільтри, які забезпечують очищення технологічних газів від пилу.

У скляному виробництві широко застосовуються машини вертикального та горизонтального витягування скла потужністю 1,5–2,5 кВт. Вони забезпечують формування скляних стрічок шириною до 3–4 м зі швидкістю переміщення до 100 м/хв. Для виробництва листового скла використовуються склопрокатні машини періодичної та безперервної дії потужністю близько 6,5 кВт. Подальша механічна обробка скла здійснюється на автоматизованих конвеєрних лініях, оснащених шліфувальними та полірувальними агрегатами.

Автоматизовані комплекси шліфування та полірування скла можуть містити до сотні взаємопов'язаних електроприводів змінного струму. До їх складу входять головні приводи, транспортні механізми, шліфувальні й полірувальні верстати, вакуумні підйомно-транспортні пристрої. Загальна встановлена потужність таких комплексів становить 2500–4500 кВт.

Переважна більшість силових електроприймачів підприємств будівельної промисловості живиться від мережі напругою 380 В. Для потужних насосних, компресорних і вентиляційних установок застосовується електроживлення напругою 10 кВ. Основна частина технологічних механізмів працює у тривалому режимі навантаження, а виробничі процеси мають безперервний характер.

До електроспоживачів першої категорії на підприємствах будівельних матеріалів належать приводи обертових печей цементних заводів, аварійна зупинка яких може спричинити нерівномірне нагрівання та деформацію корпусу печі. До

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						13
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

цієї ж категорії відносять компресорні, насосні та вентиляційні установки, що забезпечують технологічні процеси водою, повітрям і допоміжними ресурсами. На скляних заводах до першої категорії належать машини для витягування та прокатування скла, а також усі механізми, що забезпечують функціонування скловарних печей.

Електроприймачі інженерних систем адміністративних і допоміжних будівель, складських приміщень, установок електрохімічного захисту, а також систем внутрішнього та зовнішнього освітлення відносяться до споживачів третьої категорії.

Наявність значної кількості електроприймачів першої категорії обумовлює підвищені вимоги до надійності системи електропостачання. Для забезпечення безперервності живлення на всіх рівнях розподілу електроенергії передбачається секціонування шинних систем. У нормальному режимі всі елементи мережі перебувають під навантаженням, а в разі аварійного відключення одного з них його функції перерозподіляються між справними елементами з урахуванням допустимих аварійних перевантажень.

Вибір електротехнічного обладнання здійснюється з урахуванням умов навколишнього середовища, характеру технологічного процесу, а також категорій приміщень за вибухопожежною небезпекою. Типи силового обладнання, апаратів керування, захисту та сигналізації, а також конструктивне виконання живильних і розподільних мереж визначаються на підставі розрахункових електричних навантажень технологічних, опалювальних, вентиляційних, освітлювальних та інших електроустановок.

Технічні параметри обладнання повинні відповідати вимогам експлуатаційної надійності, безпеки обслуговування, ремонтпридатності, забезпеченості запасними частинами, необхідному резерву потужності та економічній ефективності застосування. Важливим критерієм також є позитивний досвід використання аналогічних технічних рішень на споріднених промислових об'єктах.

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						14
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для електрообладнання, що встановлюється у вибухонебезпечних зонах, рівень вибухозахисту визначається відповідно до класу вибухонебезпечної зони, а вид вибухозахисного виконання - залежно від категорії та групи вибухонебезпечних сумішей, для роботи в середовищі яких призначене відповідне обладнання.

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень у мережі напругою до 1 кВ

Розрахунок електричних навантажень є одним із ключових етапів проектування систем електропостачання промислових підприємств, оскільки саме його результати визначають параметри основного електротехнічного обладнання, структуру мережевої інфраструктури та загальну техніко-економічну ефективність проектного рішення. На підставі отриманих значень навантажень здійснюється вибір номінальної потужності трансформаторів, перерізів кабельних і шинних мереж, комутаційно-захисних апаратів, а також інших елементів системи розподілу електричної енергії.

Достовірність визначення розрахункових навантажень безпосередньо впливає на надійність, економічність та експлуатаційну ефективність системи електропостачання. Необґрунтоване завищення розрахункових показників призводить до встановлення обладнання надлишкової потужності, використання провідників із завеликими перерізами та застосування апаратури з необов'язково високими технічними характеристиками. Наслідком такого підходу є збільшення обсягів капіталовкладень, зростання вартості будівництва електротехнічного комплексу та погіршення економічних показників проекту.

Водночас заниження розрахункових навантажень може спричинити експлуатацію електрообладнання в умовах підвищеного навантаження або перевантаження. Це негативно позначається на режимах роботи мережі, викликає додатковий нагрів струмопровідних елементів, прискорює старіння ізоляції, збільшує втрати електричної енергії та скорочує термін служби електротехнічних установок.

З огляду на це визначення розрахункових електричних навантажень є одним із найважливіших завдань як під час створення нових систем електропостачання, так і в процесі модернізації, реконструкції або технічного переоснащення діючих промислових підприємств.

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У практиці сучасного електротехнічного проектування застосовується низка методів визначення розрахункових навантажень. Вибір конкретної методики залежить від комплексу технічних і виробничих чинників, серед яких основними є:

- повнота та достовірність вихідної інформації;
- місце розташування розрахункового вузла в структурі системи електропостачання;
- кількість, тип і встановлена потужність електроприймачів;
- режим роботи технологічного обладнання та характер зміни навантаження в часі;
- вимоги до точності отриманих результатів.

У межах даного проєкту для визначення електричних навантажень використано метод упорядкованих діаграм, який належить до найбільш поширених і теоретично обґрунтованих методів розрахунку навантажень промислових споживачів електричної енергії. Його застосування передбачене чинними нормативними та методичними документами, що регламентують розроблення проєктної документації систем електропостачання виробничих об'єктів.

Метод базується на визначенні розрахункової активної потужності шляхом урахування середнього навантаження групи електроприймачів і коефіцієнта максимуму, який відображає ймовірність одночасної роботи окремих споживачів у період максимального електроспоживання. Використання такого підходу дозволяє отримати результати, максимально наближені до реальних умов функціонування електроустановок, та забезпечує технічно й економічно обґрунтований вибір елементів системи електропостачання.

Розрахункова активна потужність на будь-якому рівні живильної або розподільної мережі визначається як добуток середнього навантаження групи електроприймачів на коефіцієнт максимуму, що враховує особливості режиму роботи споживачів у період досягнення найбільшого значення навантаження:

$$P_p = K_p \cdot \sum P_{cm}$$

Тому вводимо розрахунковий коефіцієнт навантаження K_p , що визначаємо з

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						17
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

таблиці П. 5. [1] :

$$K_p = f(n_E, K_{и \text{ гр. взв.}}).$$

По кожній групі електроприймачів визначаємо сумарну номінальну потужність, що дорівнює паспортним даним електричного встаткування.

2.1.1. Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів

По кожній групі електроприймачів визначаємо сумарну номінальну потужність, що дорівнює паспортним даним електричного встаткування.

Наводимо паспортні дані окремих груп ЕП, що працюють у ПКР (транспортне підйомно-транспортне встаткування, зварювальні машини шовного зварювання) до номінальної потужності у кВт по виразу:

$$P_H = P_{\text{пасп}} \sqrt{P_B} = 700 \cdot \sqrt{0,25} = 350 \text{ кВт}$$

$$P_H = S_H \cdot \cos \phi \sqrt{P_B} = 600 \cdot 0,35 = 210 \text{ кВт}$$

Розрахунок електричного навантаження від силового електроустаткування розглянемо на прикладі розрахунку першої характерної групи ЕП.

На першому етапі визначаємо сумарну номінальну потужність вузла навантаження:

$$\sum P_{Hi} = 4044 \text{ кВт.}$$

Потім розрахуємо електричні навантаження по цеху. Розрахунок ведеться за найбільш завантажену зміну для кожної характерної групи електроприймачів по наступних формулах:

$$P_{cmi} = P_{Hi} \cdot K_{иi},$$

де P_{Hi} - номінальна потужність і-тої групи електроприймачів;

$K_{иi}$ - коефіцієнт використання для і-тої групи електроприймачів;

$$P_{cm1} = P_{H1} \cdot K_{и1} = 950 \cdot 0,35 = 332,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{cmi} = P_{cmi} \cdot \tan \phi_i;$$

$$Q_{cm1} = P_{cm1} \cdot \tan \phi_1 = 332 \cdot 1,17 = 388,7 \text{ квар.}$$

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						18
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Подальший розрахунок для інших характерних груп аналогічний цьому й зводиться в таблицю 2.1.

$$\sum P_{cmi} = 1947 \text{ кВт}; \sum Q_{cmi} = 2058 \text{ квар.}$$

На наступному етапі визначаємо середньозважене (групове) значення коефіцієнта використання по вузлі з достатнім для практичних розрахунків наближенням по формулі:

$$K_{в. гр.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{cmi}}{\sum_{i=1}^n P_{ni}},$$

де n - число підгруп електроприймачів з різними режимами роботи, що входять у дану групу;

P_{cmi} - середня потужність підгрупи за найбільш завантажену зміну;

P_{ni} - номінальна потужність підгрупи електроприймачів.

$$K_{в. гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{змi}}{\sum_{i=1}^m P_{Hi}} = \frac{1947}{4044} = 0,48$$

Результати заносимо до таблиці 2.1.

Після цього визначаємо ефективне число електроприймачів.

$$N_{эф} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{ni} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{ni}^2}$$

Для розрахунку $n_{эф}$ можна використати спрощену формулу:

$$n_{эф} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{ni}}{P_{н max}},$$

.

					ЕТ і ЕЕ 4815.006.000 ПЗ	Лист
						19
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблица 2.1. Розрахунок електричних навантажень

№ п\п	Вихідні дані					Довідкові дані			Серед. змінне навант.		Ефек . число ЕП п Еф	Коеф. розрах. навант.	Розрах. макс. навантаження			Розр. струм I р, А
	Найменування характерних груп ЕП	В шт. п	Номінальна (встан.) потужність, кВт			Коеф. викор.	cosφ	tgφ	Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , кВар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
			Одного ЕП Р _{нmin} \Р _{нmax}	Загальна Р _н	Потужність при ПВ=1											
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Шламові живильники	70	5\40	950,00	950,00	0,35	0,65	1,17	332,50	388,74						
2	Цементні млини	30	10\80	520,00	520,00	0,35	0,65	1,17	182,00	212,78						
3	Вентилятори	20	5\30	420,00	420,00	0,75	0,80	0,75	315,00	236,25						
4	Насоси, компресори	70	5\40	500,00	500,00	0,75	0,80	0,75	375,00	281,25						
5	Крани, тельфери, ПВ=25%	60	6\40	700,00	350,00	0,18	0,45	1,98	63,00	125,02						
6	Крани, тельфери, ПВ=40%	25	3\12	150,00	94,87	0,18	0,45	1,98	17,08	33,89						
7	Зварювальні машини шовного зварювання, S _н , кВА	30	10\40	600,00	210,00	0,30	0,35	2,68	63,00	168,61						
8	Елеватори. Конвеєри зблоковані	50	3\100	1000,00	1000,00	0,60	0,70	1,02	600,00	612,12						
9	Разом силові ЕП:	355	100,00		4044,87	0,48			1947,58	2058,67	80,90	0,75	1460,6	1544,0	2125,4	3067,82
10	Освітлювальні ЕП:				135,7			0,95	0,33				141,83	46,62	149,29	215,48
11	Усього по цеху:				4180,5								1602,5	1590,6	2257,9	3258,9

Таблица 2.2. Розрахунок пристроїв, що компенсують, і вибір цехових трансформаторів

Рр+Рро	Qр+Qро	Sp	J=Sp/F	Sнтр	B	Nmin	Нопт	Qt	Qнк1	Qнк1'	Qнк1 спр	Q неск	j	Qнк2	Qнк*Нопт
1602,51	1590,62	2257,90	0,26	1600,00	0,60	1,67	2,00	1057,53	533,09	266,54	450,00	690,62	0,44	-717,38	900,00

де $P_{н\max}$ - потужність одного найбільшого електроприймача групи.

Цю формулу використовують, якщо виконується умова:

$$m = \frac{P_{н\max}}{P_{н\min}} > 3 \text{ і } K_{и\text{ гр}} > 0,2$$

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{н1}}{P_{н\max}} = \frac{2 \cdot 4044}{100} = 80$$

По відомому ефективному числу електроприймачів і коефіцієнту використання знаходимо коефіцієнт розрахункового навантаження K_p із довідкової літератури:

$$K_p = f(n_{\text{Еф}}, K_{и\text{ гр. вЗВ}}).$$

У моєму випадку, при $n_{\text{Еф}}=80$ і $K_{и\text{ гр. вЗВ}} = 0,48$

$$K_p = 0,75$$

Після того, як ми визначили коефіцієнт розрахункового навантаження визначаємо розрахункові значення активного й реактивного навантаження:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{см}i}, \text{ кВт}$$

$$P_p = 0,75 \cdot 1947 = 1460 \text{ кВт}$$

$$Q_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n Q_{\text{см}i}, \text{ квар}$$

$$Q_p = 0,75 \cdot 2058 = 1544 \text{ квар}$$

Вважаємо повне навантаження від силових електроприймачів:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1460^2 + 1544^2} = 2125, \text{ кВА}$$

Знаходимо розрахунковий струму по повному навантаженню:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2125}{1,73 \cdot 0,4} = 3067 \text{ А.}$$

2.1.2. Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів

Встановлену потужність $P_{\text{вст}}$ освітлювальних ЕП визначимо по питомій щільності освітлювального навантаження для даного технологічного процесу.

					ЕТ і ЕЕ 4815.006.000 ПЗ	Лист
						21
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{вст}} = P_{\text{н.о.}} \cdot F \cdot 10^{-3} \text{ кВт}$$

Розрахункове активне навантаження від освітлювальних ЕП визначаємо за допомогою $K_{\text{с.о.}}$.

$$P_{\text{р.о.}} = P_{\text{н.о.}} \cdot K_{\text{с.о.}} \cdot K_{\text{пра}} = 135,7 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 141,8, \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р.о.}} = P_{\text{р.о.}} \cdot \tan \phi = 141,8 \cdot 0,33 = 46,62 \text{ квар}$$

$$S_{\text{ро}} = \sqrt{P_{\text{ро}}^2 + Q_{\text{ро}}^2} = \sqrt{141,8^2 + 46,6^2} = 149, \text{ кВА}$$

де $K_{\text{с.о.}}$ – коефіцієнт попиту освітлювальних установок;

$K_{\text{с.о.}} = 0,95$ для виробничих приміщень, які складаються з окремих крупних прольотів;

$K_{\text{пра}}$ – коефіцієнт, який враховує втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі (ПРА) газорозрядних ламп.

Отримуємо розрахункові активні та реактивні навантаження силових, освітлювальних ЕП. Отримані значення заносимо у відповідні графи таблиці 2.1.

$$P_{\text{р.с.}} = 1602 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р.с.}} = 1590 \text{ квар}$$

$$S_{\text{р.с.}} = 2257 \text{ кВА.}$$

2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ

Визначення необхідної сумарної потужності низьковольтних конденсаторних установок, що встановлюються в межах цехової системи електропостачання, виконується на основі техніко-економічного аналізу із застосуванням критерію мінімізації приведених витрат. Розрахунок доцільно здійснювати поетапно, що забезпечує вибір найбільш ефективного варіанта компенсації реактивної потужності.

На першому етапі проводиться визначення економічно обґрунтованої кількості силових трансформаторів цехової підстанції з урахуванням величини електричних навантажень, вимог до надійності електропостачання та режимів роботи електроспоживачів.

Другий етап передбачає встановлення додаткової потужності конденсаторних

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						22
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

батареї низької напруги, необхідної для раціонального зменшення втрат активної потужності та електричної енергії в силових трансформаторах, а також у розподільних мережах підприємства напругою 6–10 кВ. Такий підхід забезпечує підвищення енергоефективності системи електропостачання та покращення режимів її роботи.

За результатами виконаних розрахунків сумарна розрахункова потужність низьковольтних конденсаторних батарей $Q_{\text{нк}}$ визначається за відповідною розрахунковою залежністю:

$$Q_{\text{нк}} = Q_{\text{нк1}} + Q_{\text{нк2}},$$

де $Q_{\text{нк1}}$ і $Q_{\text{нк2}}$ – сумарні потужності НБК, певні на двох зазначених етапах розрахунку.

2.2.1. Визначення потужності пристроїв, що компенсують, за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів

Визначення раціональної кількості та номінальної потужності силових трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій належить до найважливіших етапів проєктування систем електропостачання промислових підприємств. Прийняття оптимального технічного рішення ґрунтується на результатах техніко-економічного обґрунтування, у межах якого враховуються вимоги до надійності електропостачання споживачів, ступінь компенсації реактивної потужності в мережах до 1 кВ, допустимі режими навантаження трансформаторів у нормальних та аварійних умовах експлуатації, стандартизований ряд потужностей трансформаторного обладнання, а також особливості добових і сезонних графіків споживання електроенергії.

Збільшення кількості трансформаторів на підстанції не завжди супроводжується підвищенням технічної або економічної ефективності системи. Незалежно від того, чи йдеться про цехову, чи про загальнозаводську підстанцію, надлишкова кількість трансформаторних агрегатів зумовлює зростання обсягів капіталовкладень, підвищення експлуатаційних витрат та збільшення втрат

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						23
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

електричної енергії. Це пов'язано з тим, що трансформатори меншої потужності, як правило, мають нижчі показники енергетичної ефективності порівняно з потужнішими аналогами. Додатково ускладнюється структура електричних з'єднань, зростає потреба у провідникових матеріалах, збільшується кількість комутаційних і захисних пристроїв, що негативно впливає на умови експлуатації та технічного обслуговування електроустановки.

Під час вибору трансформаторного обладнання доцільно керуватися низкою практичних положень. Застосування трансформаторів номінальною потужністю понад 1000 кВА є обґрунтованим за наявності значних концентрованих навантажень, до яких належать потужні електротермічні установки, велика кількість однофазних електроприймачів або споживачі зі значними коливаннями навантаження, зокрема електрозварювальні комплекси. Використання трансформаторів підвищеної потужності також доцільне в цехах із високою щільністю електричного навантаження на одиницю виробничої площі.

Для підвищення рівня уніфікації обладнання та спрощення експлуатаційних заходів рекомендується формувати трансформаторний парк на базі однотипних агрегатів з однаковими номінальними параметрами. Такий підхід забезпечує взаємозамінність обладнання, полегшує виконання ремонтних робіт і зменшує номенклатуру запасних частин.

У випадку застосування двотрансформаторних підстанцій або однострансформаторних підстанцій, інтегрованих у магістральні схеми електропостачання, номінальна потужність кожного трансформатора повинна визначатися з урахуванням післяаварійних режимів роботи. За відмови одного з трансформаторів другий має забезпечувати електроживлення споживачів I та II категорій надійності з урахуванням допустимого аварійного перевантаження. Навантаження III категорії в такому режимі допускається тимчасово відключати до моменту відновлення нормальної схеми електропостачання.

Для виконання зазначених вимог потужність кожного трансформатора двотрансформаторної підстанції, як правило, приймають на рівні приблизно 70 % від сумарного розрахункового навантаження виробничого об'єкта. За такого

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

співвідношення в аварійній ситуації навантаження на трансформатор, що залишився в роботі, становитиме близько 140 % від його номінальної потужності, що відповідає допустимим межах короткочасного аварійного перевантаження, встановленим нормативними документами.

Мінімальна кількість цехових трансформаторів однакової номінальної потужності, призначених для електропостачання технологічно пов'язаних груп навантажень, визначається за виразом:

$$N_{\min} = \frac{P_{\text{р.ю.с.}} + P_{\text{р.о.}}}{\beta \cdot S_{\text{н.тр}}} + \Delta N$$

де β - коефіцієнт завантаження трансформаторів залежно від категорійності електроприймачів, які живляться цими трансформаторами, і від числа трансформаторів у КТП. Для першої категорії електроприймачів $\beta = 0,65 - 0,7$.

ΔN - добавка до найближчого цілого числа.

$$N_{\min} = \frac{P_{\text{р.с.}} + P_{\text{р.о.}}}{\beta \cdot S_{\text{н.тр}}} + \Delta N = \frac{1602}{0,6 \cdot 1600} = 1,67 + 0,33 = 2$$

Економічно оптимальне число трансформаторів $N_{\text{опт}}$ визначається питомими витратами на передачу реактивної потужності й відрізняється від $N_{\min}$ на величину m [2]:

$$N_{\text{опт}} = N_{\min} + m$$

де m - додатково встановлені трансформатори.

При $N_{\min} = 2$ і $K_3 = 0,8$, $m = 0$, [2]:

$$N_{\text{опт}} = 2 + 0 = 2$$

По обраному числу трансформаторів визначаємо найбільшу реактивну потужність, що доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ по виразу:

$$Q_T = \sqrt{(\beta \cdot N_{\text{опт}} \cdot S_{\text{н.тр}})^2 - (P_p + P_{\text{р.о.}})^2} = \sqrt{(0,6 \cdot 2 \cdot 1600)^2 - 1602^2} = 1057 \text{ квар}$$

Визначаємо сумарну потужність конденсаторних батарей на напругу до 1 кВ для даної групи трансформаторів:

					ЕТ і ЕЕ 4815.006.000 ПЗ	Лист
						25
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{p\Sigma} - Q_{\text{т}} = 1590 - 1057 = 533,09 \text{ квар}$$

$Q_{\text{нк1}}$ забезпечує оптимальне число трансформаторів.

На наступному етапі визначаємо потужність НБК, що доводиться на один трансформатор:

$$Q'_{\text{нк1}} = \frac{Q_{\text{нк1}}}{N_{\text{опт}}} = \frac{533}{2} = 266 \text{ квар}$$

Вибираємо комплектну конденсаторну установку по найближчій стандартній потужності:

Вибираємо УКН - 0,38 - 300УЗ [1]

$$Q'_{\text{нк1дов.}} = 450 \text{ квар.}$$

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ буде складати:

$$Q_{\text{неск}} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{\text{нк1.спр}} = 1519 - 2 \cdot 450 = 690 \text{ квар}$$

2.2.2. Визначення додаткової потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ із метою оптимального зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями РП

Визначаємо потужність НБК для зниження втрат потужності в трансформаторах. Додаткова потужність $Q_{\text{нк2}}$ НБК для даної групи трансформаторів визначаємо:

$$Q_{\text{нк2}} = Q_{\text{неск}} - \gamma \cdot N_{\text{опт}} \cdot S_{\text{н.тр}}$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, що залежить від розрахункових параметрів k_{p1} і k_{p2} і схеми живлення цехової трансформаторної підстанції. k_{p1} залежить від питомих наведених витрат на НБК і високовольтну батарею конденсаторів і втрат активної потужності.

$$k_{p1}=12 \text{ і } k_{p2}=2$$

По кривих [2] визначаємо значення $\gamma = 0,44$.

					ЕТ і ЕЕ 4815.006.000 ПЗ	Лист
						26
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{HK2} = Q_{HECK} - \gamma \cdot N_{TЭ} \cdot S_{HT} = 690 - 0,44 \cdot 2 \cdot 1600 = -717,23 \text{ квар}$$

Через негативне значення некомпенсованої реактивної потужності, що компенсують пристрої для зниження втрат потужності в трансформаторах не передбачається.

$$Q_{HK} = Q_{HK1} = 450 \cdot 2 = 900 \text{ квар.}$$

Установка НБК на стороні 0,4 кВ дозволить знизити переструми реактивної потужності через трансформатор 10/0,4 кВ, що знизить втрати активної потужності.

Проведений розрахунок показав доцільність установки двох трансформаторів потужністю $S_{НОМ} = 1600$ кВА та установці в мережі 0,4 кВ батарей конденсаторів, сумарною потужністю 900 квар.

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Визначення оптимального розташування цехових трансформаторних підстанцій є одним із ключових інженерних завдань у процесі проектування систем електропостачання промислових об'єктів. Ефективність просторового розміщення трансформаторного обладнання визначається сукупністю факторів, до яких належать характер і щільність розподілу електричних навантажень, планувальна структура виробничих ділянок, розміщення технологічного обладнання, можливість впровадження компенсувальних пристроїв для реактивної потужності, а також специфічні умови виробничого середовища, зумовлені технологічними процесами.

Практичний досвід проектування та багаторічна експлуатація трансформаторних підстанцій, підтверджені результатами наукових досліджень у галузі промислового електропостачання, свідчать про доцільність розміщення підстанцій у безпосередній близькості до центрів електричного навантаження. Реалізація такого принципу дозволяє зменшити протяжність розподільних електричних мереж, скоротити витрати провідникових матеріалів і суттєво знизити

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						27
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

втрати електроенергії під час її транспортування до споживачів.

У сучасних системах електропостачання промислових підприємств широкого застосування набули комплектні трансформаторні підстанції, що характеризуються високим ступенем заводської готовності та мінімальною залежністю монтажу від будівельних конструкцій об'єкта. Використання таких КТП забезпечує скорочення строків введення електроустановок в експлуатацію, підвищення якості монтажних-налагоджувальних робіт та зменшення загальної вартості реалізації проекту.

Одним із базових принципів побудови сучасних систем електропостачання є концепція глибокого вводу електроенергії. Її сутність полягає у наближенні точок трансформації напруги середнього або високого рівня безпосередньо до зон концентрації електричних навантажень із подальшим зниженням напруги в безпосередній близькості до споживачів. Застосування такого підходу сприяє оптимізації конфігурації мережі, підвищенню енергетичної ефективності та зменшенню експлуатаційних втрат.

Під час визначення місця встановлення комплектної трансформаторної підстанції, а також при обґрунтуванні кількості та номінальної потужності силових трансформаторів необхідно враховувати величину розрахункових електричних навантажень, категорійність споживачів за надійністю електропостачання, вплив зовнішніх кліматичних і виробничих факторів, а також вимоги щодо безперервності та безпечності роботи електротехнічного обладнання.

Для електропостачання виробничого цеху раціональним є застосування прибудованої комплектної трансформаторної підстанції. Параметри мікроклімату виробничого середовища та специфіка технологічного процесу не відповідають чинним нормативним вимогам щодо можливості розміщення трансформаторної підстанції безпосередньо в межах виробничого приміщення.

Використання прибудованої КТП забезпечує реалізацію принципу глибокого вводу електроенергії шляхом підведення напруги понад 1 кВ безпосередньо до зони розташування основних електроприймачів. У результаті цього суттєво скорочується довжина мереж низької напруги, зменшуються витрати на спорудження

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						28
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

внутрішньоцехових електричних комунікацій та підвищується загальна економічна ефективність системи електропостачання. Додатково забезпечується зниження втрат активної потужності в розподільних мережах напругою 0,4 кВ.

З метою підвищення надійності електропостачання та забезпечення резервування відповідальних споживачів у разі аварійного відключення одного з трансформаторів передбачаються резервні міжсекційні зв'язки в мережі низької напруги. Їх пропускна здатність приймається на рівні близько 70 % від номінальної потужності силового трансформатора, що дозволяє забезпечити живлення основних електроприймачів у післяаварійних режимах роботи.

У складі цехової комплектної трансформаторної підстанції передбачається встановлення трифазних силових трансформаторів із первинною напругою 10 кВ. Відведення тепла здійснюється за допомогою масляної системи охолодження, яка забезпечує ефективний тепловідвід та підтримання допустимого температурного режиму роботи обладнання. У межах даного проєкту обрано герметизовані силові трансформатори типу ТМЗ закритого виконання. Таке обладнання характеризується підвищеною експлуатаційною надійністю, зниженими витратами на технічне обслуговування та відсутністю необхідності постійного контролю рівня трансформаторної оливи протягом усього терміну експлуатації.

2.4. Вибір схеми внутріцехової мережі напругою до 1 кВ

Проектування внутрішньоцехових систем електропостачання передбачає обґрунтований вибір структури розподілу електричної енергії, оскільки саме від прийнятої схеми значною мірою залежать показники надійності електрозабезпечення споживачів, економічність функціонування мережі, безпека експлуатації електроустановок та можливість подальшого розширення виробничих потужностей підприємства.

Електричні мережі виробничих цехів повинні гарантувати безперервне живлення електроприймачів відповідно до вимог їх категорії надійності,

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						29
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечувати належний рівень електробезпеки для обслуговчого персоналу, характеризуватися раціональними техніко-економічними показниками та мінімальними витратами на експлуатацію. Важливою вимогою також є можливість застосування індустріальних методів монтажу, які сприяють скороченню термінів виконання електромонтажних робіт і підвищенню якості їх реалізації.

За принципом організації передачі електроенергії внутрішньоцехові мережі поділяють на магістральні та радіальні. Кожна із зазначених структур має специфічні конструктивні особливості, переваги та обмеження, що визначають сферу її практичного застосування.

Магістральна система розподілу електроенергії найбільш ефективна на виробничих об'єктах із рівномірним розміщенням електроприймачів або за наявності технологічно взаємопов'язаних груп обладнання. У таких умовах передача електричної енергії здійснюється через спільну живильну магістраль, від якої отримують живлення окремі групи споживачів. Це забезпечує скорочення протяжності розподільних мереж, зменшення кількості електротехнічного обладнання та підвищення ефективності використання матеріальних ресурсів.

Водночас характерною особливістю магістральної схеми є залежність значної кількості електроприймачів від працездатності однієї живильної лінії. Пошкодження магістралі може спричинити одночасне відключення всіх приєднаних до неї споживачів. З метою підвищення надійності електропостачання в мережах напругою 0,4 кВ передбачають резервні міжсекційні зв'язки, що забезпечують можливість живлення навантаження від суміжних ділянок мережі у випадку аварійних ситуацій.

Суттєвою перевагою магістральної схеми є її економічна доцільність. Скорочення кількості комутаційних пристроїв, зменшення довжини кабельних трас та спрощення конфігурації мережі дозволяють знизити витрати на спорудження й подальшу експлуатацію системи електропостачання. Додатковий ефект досягається завдяки використанню комплектних шинопроводів заводського виготовлення, які забезпечують високий рівень уніфікації та значно зменшують трудомісткість монтажних операцій.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						30
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Порівняно з радіальними системами магістральні мережі характеризуються вищими значеннями струмів короткого замикання. Проте завдяки компактнішій структурі та меншій довжині ліній вони забезпечують менші втрати напруги й активної потужності під час передачі електричної енергії.

Радіальна схема електропостачання передбачає індивідуальне приєднання кожного електроприймача або окремої групи споживачів до розподільного пристрою низької напруги трансформаторної підстанції за допомогою окремої живильної лінії. Такий принцип побудови є найбільш доцільним для підприємств із концентрованими навантаженнями або значною нерівномірністю розташування технологічного обладнання.

Головною перевагою радіальних мереж є підвищена надійність функціонування. Пошкодження окремої лінії впливає лише на приєднаних до неї споживачів і не порушує роботу інших ділянок системи. Це дозволяє оперативно локалізувати місце аварії та мінімізувати виробничі втрати. Саме тому радіальні схеми широко застосовуються для електроживлення особливо відповідальних електроприймачів.

Разом із тим використання радіального принципу розподілу супроводжується збільшенням капітальних витрат, що обумовлено необхідністю прокладання більшої кількості кабельних ліній, встановлення додаткової комутаційної та захисної апаратури, а також підвищенням обсягу монтажних робіт. Крім того, такі мережі меншою мірою відповідають сучасним вимогам індустріалізації будівництва електротехнічних об'єктів.

У сучасній практиці проєктування промислових систем електропостачання значного поширення набула схема типу «блок трансформатор – магістраль» (БТМ). Найбільш ефективним є її застосування у випадках розміщення трансформаторних підстанцій безпосередньо поблизу центрів електричних навантажень.

Застосування схеми БТМ дозволяє суттєво спростити структуру внутрішньоцехової мережі. За такого підходу комплектна трансформаторна підстанція може працювати без окремого розподільного пристрою низької напруги. Передача електроенергії від силового трансформатора здійснюється безпосередньо

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						31
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

на магістральний шинопровід, від якого живляться розподільні шинопроводи або окремі групи електроприймачів.

Використання магістральних шинопроводів забезпечує скорочення кількості контактних з'єднань, підвищення експлуатаційної надійності мережі, спрощення технічного обслуговування та створення сприятливих умов для подальшої реконструкції або розширення системи електропостачання. Додатково досягається зниження капітальних витрат і підвищення загальної енергоефективності виробничого об'єкта.

Прийнята в проєкті схема електропостачання виробничого цеху наведена в графічній частині роботи. Вона відображає взаємозв'язок між джерелами живлення, трансформаторною підстанцією, магістральними та розподільними мережами, а також основними групами споживачів електричної енергії, що забезпечує наочне уявлення про структуру системи електропостачання об'єкта.

2.5. Вибір типу й параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутріцехових мережах

У процесі експлуатації систем електропостачання промислових підприємств можуть виникати аварійні та нештатні режими роботи електричних мереж. До найбільш критичних із них належать режими перевантаження та короткого замикання, які характеризуються різким збільшенням струмів у струмопровідних елементах електроустановок. Подібні електричні процеси супроводжуються інтенсивним тепловиділенням у провідникових частинах, прискореним деградаційним старінням ізоляційних матеріалів, погіршенням технічних характеристик обладнання та, за відсутності належного захисту, можуть спричиняти його пошкодження або повну втрату працездатності.

З метою забезпечення надійної та безпечної роботи внутрішньоцехових електричних мереж на етапі проєктування передбачається впровадження комплексу заходів захисту від надструмів, що виникають унаслідок перевантажень і коротких замикань. Основним функціональним призначенням захисних пристроїв є своєчасне

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						32
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

виявлення аварійної ділянки мережі та її автоматичне відключення в мінімально можливий проміжок часу. Такий принцип дії дозволяє локалізувати пошкодження, обмежити розвиток аварійного процесу, запобігти його поширенню на суміжні елементи системи та забезпечити збереження працездатності непошкодженого електрообладнання.

У системах електропостачання виробничих цехів використовується широкий спектр комутаційно-захисної апаратури, вибір якої визначається характером навантаження, режимами роботи електроприймачів та умовами експлуатації. До найбільш поширених засобів захисту належать плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі та теплові реле, які, як правило, застосовуються у поєднанні з магнітними пускачами.

Плавкі запобіжники призначені, насамперед, для захисту електричних кіл від струмів короткого замикання. Принцип їх роботи базується на тепловому руйнуванні (перегоранні) плавкої вставки при перевищенні допустимого струмового навантаження, що призводить до розриву електричного кола та припинення аварійного режиму.

Автоматичні вимикачі виконують одночасно функції комутації та захисту електричних кіл. Вони забезпечують автоматичне відключення живлення у разі виникнення перевантажень або коротких замикань, а також можуть використовуватися для оперативних комутацій у нормальних режимах експлуатації електрообладнання.

Теплові реле переважно застосовуються для захисту електродвигунів від тривалих перевантажувальних режимів. Їх дія ґрунтується на контролі теплового стану струмопровідних елементів, що забезпечує своєчасне реагування на перевищення допустимого рівня навантаження та запобігає перегріванню обмоток. Це сприяє збереженню ізоляційних властивостей та підвищенню ресурсу роботи електричних машин.

Комплексне використання сучасних апаратів комутаційно-захисного захисту забезпечує необхідний рівень електробезпеки, підвищує надійність функціонування внутрішньоцехових електричних мереж та створює умови для

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						33
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

довготривалої й безаварійної експлуатації електротехнічного обладнання промислових підприємств.

Автомати обираємо із дотриманням наступних умов:

$$U_{a.ном} > U_{ном.с},$$

де $U_{a.ном}$, $U_{ном.с}$ - відповідно номінальні напруги автомата й ділянки мережі, що захищається

$$I_{расц.ном} \geq I_{расч.},$$

де $I_{расц.ном}$, $I_{расч.}$ - номінальний струм розчеплювача та відповідно розрахунковий струм ділянки ланцюга, що захищається, номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, вбудованого в шафу, треба враховувати тепловий коефіцієнт 0,85.

$$\frac{I_{нав}}{0,85} \leq I_{номрасц}$$

Вибір ввідного автомата.

Ввідні автомати обираємо по встановленій потужності цехових трансформаторів з врахуванням їх можливого перевантаження в післяаварійному режимі:

$$I_{н.ав.} = \frac{1,4 \cdot S_{номт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$
$$I_{ном.} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3402 \text{ A}$$

По струму післяаварійного режиму з урахуванням теплового коефіцієнту обираємо номінальний струм селективного автомата:

$$\frac{I_{нав}}{0,85} \leq I_{номрасц}$$

$$4000 \leq 4000$$

Вибираємо автомат ЕО 40. Секційний автомат обираємо на ступінь нижче ввідного автомату.

Вибираємо автомат типу ЕО 25, $I_n=2500 \text{ A}$.

Вибір автоматів для захисту двигунів:

					ЕТ і ЕЕ 4815.006.000 ПЗ	Лист
						34
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- для одиночних двигунів:

$$I_{\text{перегр}} = I_{\text{пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном дв}},$$

де $k_{\text{пуск}}$ – кратність пускового струму двигуна;

- для режиму запуску двигунів, що самозапускаються, що не відключаються:

$$I_{\text{перегр}} = \sum_{i=1}^n I_{\text{пускі}},$$

де $\sum_{i=1}^n I_{\text{пускі}}$ - сума пускових струмів двигунів, що самозапускаються;

- для случаючи пуску найбільш потужного двигуна й режиму нормальної роботи всіх інших електроприймачів, підключених до лінії, яка захищається :

$$I_{\text{пер}} \geq k_c \cdot \sum_1^{n-1} I_{\text{н.дв}} + I_{\text{пуск.мах}},$$

де $\sum_1^{n-1} I_{\text{н.дв}}$ - сума номінальних струмів двигунів, приєднаних до лінії, що захищається, без обліку найбільш потужного двигуна;

$I_{\text{пуск мах}}$ – пусковий струм найбільш потужного двигуна на ділянці мережі, що захищається, мережі, А;

k_c – коефіцієнт попиту, $k_c < 1$.

Вибір параметрів автоматів на двигуни починаємо з визначення номінальних струмів двигунів, що захищається автоматами, ($P_n = 5$ кВт):

$$I_{\text{н.дв.}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

$$I_{\text{н.дв.}} = \frac{7,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,925 \cdot 0,9} = 14,55 \text{ А}$$

Визначаємо пусковий струм двигунів, з урахуванням кратності пускового струму $k_n = 6$.

$$I_{\text{пуск}} = k_n \cdot I_{\text{н.дв.}}$$

$$I_{\text{пуск}} = k_n \cdot I_{\text{н.дв.}} = 6 \cdot 14,55 = 87,3 \text{ А};$$

По розрахункових величинах приймаємо до установки автомат типу ВА-2004/100. Розрахуємо номінальний струм розчеплювача з урахуванням

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						35
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

поправочного коефіцієнта, тому що автомати монтуються в шафах, де погіршується тепловіддача.

$$I_{н.розч.} = \frac{I_{н.об.}}{0,85}$$

$$I_{н.розч.} = \frac{14,55}{0,85} = 17,12 \text{ А}$$

Вибираємо $I_{н.розч.} = 30 \text{ А}$.

Встановлюємо неможливість спрацьовування автомата при пуску двигуна:

$$I_{сп.ел.} = 1,25 \cdot I_{пуск}$$

$$I_{сп.ел.} = 1,25 \cdot 87,3 = 109 \text{ А}.$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 300А.

Інші двигуни розраховуємо аналогічно. Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.3.

З урахуванням рівномірного характеру розміщення електроприймачів у виробничому приміщенні цеху та рівномірного розподілу електричних навантажень між розподільними шинопроводами, розрахункове навантаження кожного шинопроводу типу ШРА визначається шляхом пропорційного поділу сумарного навантаження магістрального шинопроводу ШМА на відповідну кількість приєднаних розподільних гілок. Такий підхід забезпечує коректний перерозподіл потужності в межах внутрішньоцехової мережі за умови прийнятої рівномірності навантаження.

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						36
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3. Вибір апаратів і струмоведучих частин

№ авт.	Призначення, місце у схемі	Розрахункова навантаження Р, кВт	Розр. струм I, А	Кратність пускового струму, Кп	Піковий струм I _{пiк} , А	Ip/0,85	Ном.струм розчепл. I _{ном.р.} , А	Ном.струм автомата I _{ном.а.} , А	Тип авт.	I _{спрац.} кА	Ідл., А СВЧ	Марка перетин СВЧ, мм²	Втрати напруги, В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
QF1	ШРА1-АД1	7,5	14,55	6	87,3186	17,12	30	30	ВА-2004/30	0,3	32	АВВГ(4х8)	0,88
QF2	ШРА1-АД2	21	40,75	6	244,492	47,94	50	50	ВА-2004/50	0,5	55	АВВГ(4х16)	2,48
QF3	ШРА1-АД3	31	60,15	6	360,917	70,77	100	100	ВА-2004/100	1	105	АВВГ(4х50)	3,67
QF4	ШМА-ШРА1		383,5			451,1	600	800	ВА-2004/800	8	630	ШРА-73	
QF5	ШМА-ШРА2		383,5			451,1	600	800	ВА-2004/800	8	630	ШРА-73	
QF6	ШМА-ШРА3		383,5			451,1	600	800	ВА-2004/800	8	630	ШРА-73	
QF7	ШМА-ШРА4		383,5			451,1	600	800	ВА-2004/800	8	630	ШРА-73	
QF8	Ввідний		3403			4000	4000	4000	ЕО40	40	4000	ШМА68-НУ3	
QF9	Секційний						2500	2500	ЕО25	25			

2.6. Вибір марки й перетинів струмоведучих частин

У внутріцехових мережах напругою до 1 кВ, у невибухонебезпечних приміщеннях перетин проводів вибираємо за умовою нагрівання довгостроково припустимим струмом:

$$I_{p \max} \leq I_{\text{дл доп}},$$

де $I_{p \max}$ – розрахунковий максимальний струм лінії, А;

$I_{\text{дл доп}}$ – довгостроково припустимий струм стандартних перетинів, А.

Проектування внутрішньоцехових електричних мереж передбачає поетапний вибір перерізів провідників за критерієм допустимого нагрівання. На першій стадії виконується обґрунтування типу та марки кабельно-провідникової продукції з урахуванням специфіки виробничого середовища, архітектурно-планувальних рішень об'єкта, умов експлуатації електрообладнання, а також способу прокладання ліній електропостачання. Обрані провідникові елементи повинні забезпечувати необхідний рівень надійності функціонування, електробезпеки та відповідності чинним нормативно-технічним вимогам.

Подальше визначення перерізів кабелів і проводів у мережах напругою до 1 кВ здійснюється після встановлення параметрів комутаційно-захисної апаратури. Така послідовність розрахунків зумовлена необхідністю взаємного узгодження характеристик провідників із уставками та захисними властивостями автоматичних пристроїв. Попередньо вибраний за умовою допустимого тривалого струмового навантаження та теплового режиму переріз струмоведучих елементів надалі підлягає перевірці на відповідність вимогам захисту від перевантажень і струмів короткого замикання.

При цьому обов'язковою умовою є забезпечення селективної та стабільної взаємодії між провідниковими лініями та захисною апаратурою, що гарантує недопущення перегрівання струмопровідних частин і пошкодження ізоляції в умовах нормальної та аварійної експлуатації електричної мережі:

$$I_{\text{дл доп}} \geq k_3 \cdot I_3,$$

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де I_3 -номінальний струм розчеплювача, А;

k_3 -коефіцієнт захисту.

Для існуючих умов, при яких експлуатується встаткування (мікроклімат, технологічний процес) коефіцієнт захисту для кабелів приймаємо рівним 1 [3].

Перевіряємо обрані кабелі по втраті напруги:

$$\Delta U_{\text{дійсн.}} < 0,05 U_{\text{н}}$$

$$\Delta U_{\text{дійс.}} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi),$$

$$0,05 U_{\text{ном}} = 0,05 \cdot 380 \text{ В} = 19 \text{ В}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{дійсн}} &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 14,5 \cdot 0,05 \times \\ &\times (0,92 \cdot 0,6 + 0,06 \cdot 0,8) = 0,88 \text{ В} \end{aligned}$$

де I_p – розрахунковий струм;

l - довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний і індуктивний опори кабелю.

$$\cos \varphi = 0,6 ; \sin \varphi = 0,8$$

Зробимо розрахунок кабельної лінії для двигуна потужністю 7,5 кВт. Приймаємо до установки чотирьохжильний кабель із алюмінієвими жилами марки АВВГ перетином 8 мм², для якого довгостроково припустимий струм дорівнює 32 А. Підставляючи числові значення в співвідношення:

$$I_{\text{дл доп}} \geq k_3 \cdot I_3$$

$$32 \geq 1 \cdot 14,5 \text{ А}$$

Знаходимо, що необхідні умови виконуються. Тому приймаємо до установки кабель типу АВВГ перетином 4х8 мм², $I_{\text{дл доп}} = 32 \text{ А}$.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.3.

Аналогічно вибираємо перетин кабелів для інших двигунів.

Вибираємо перетин магістрального та розподільного шінопровода типу ШМА68-НУЗ, $I_{\text{ном}} = 4000 \text{ А}$ и ШРА – 73, $I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$, по тим же умовам, що й кабель.

					ЕТ і ЕЕ 4815.006.000 ПЗ	Лист
						39
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Всі розрахунки заносимо в таблицю 2.3.

2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Визначення величин струмів короткого замикання в електричних мережах напругою до 1 кВ є обов'язковою складовою інженерного етапу проєктування систем електропостачання промислових об'єктів. Отримані в результаті розрахунків дані використовуються як базова інформація для оцінювання працездатності електротехнічного обладнання в умовах аварійних режимів, а також для технічно обґрунтованого підбору комутаційної апаратури та засобів захисту.

Основною метою таких обчислень є встановлення розрахункових значень струмів короткого замикання, які необхідні для перевірки відключаючої здатності автоматичних вимикачів, визначення термічної та електродинамічної стійкості шинопроводів, кабельних ліній і провідникових елементів, а також для аналізу чутливості та коректності функціонування систем релейного захисту. Коректне визначення параметрів аварійних режимів забезпечує стабільну роботу системи електропостачання та створює умови для оперативної локалізації пошкоджених ділянок мережі.

Під час перевірки комутаційних апаратів за відключаальною здатністю визначається максимальне значення струму трифазного короткого замикання, що відповідає найбільш тяжкому режиму пошкодження електричної мережі. Одночасно для оцінювання чутливості та працездатності захисних пристроїв виконується розрахунок мінімального струму однофазного короткого замикання, який зазвичай реалізується у найбільш віддалених точках мережі та характеризується найменшим рівнем аварійного струму.

Розрахунки струмів короткого замикання в мережах низької напруги мають низку специфічних особливостей у порівнянні з аналогічними процедурами для мереж вищих класів напруги. Зокрема, характерною рисою є застосування іменованої системи одиниць, що дозволяє безпосередньо використовувати реальні параметри елементів електричної системи без переходу до відносних (пер.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						40
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

одиниць) значень.

При побудові розрахункової моделі необхідно враховувати як активні, так і реактивні складові опорів усіх елементів кола короткого замикання. До схеми заміщення включаються силові трансформатори, кабельні та шинопровідні лінії, трансформатори струму, розчіплювачі автоматичних вимикачів, контактні з'єднання, комутаційні апарати та інші елементи, що впливають на величину аварійного струму. Додатково враховується перехідний опір електричної дуги, яка формується в місці пошкодження електричного кола.

Вплив асинхронних електродвигунів на результати розрахунку допускається не враховувати у випадках, коли сумарний номінальний струм підключених двигунів становить не більше ніж 10 % від початкового значення періодичної складової струму короткого замикання, визначеного без урахування їх внеску.

$$0,1 \cdot I_{no} > \sum_{i=1}^n I_{н.дв.ю.}$$

Методика визначення аварійних струмів передбачає послідовне виконання взаємопов'язаних етапів. На першому етапі формується розрахункова схема системи електропостачання, на якій відображаються джерела живлення, елементи мережі та можливі точки виникнення коротких замикань. Далі на основі цієї схеми розробляється схема заміщення, у якій кожен елемент електричної системи представлений відповідними активними та індуктивними опорами.

Наступним етапом є визначення параметрів схеми заміщення, зокрема розрахунок опорів прямої та нульової послідовностей, а також повного опору контуру «фаза–нуль», що використовуються для подальшого обчислення струмів аварійних режимів у різних видах пошкоджень.

Завершальна стадія розрахунку полягає у визначенні значень трифазних та однофазних струмів короткого замикання в характерних точках мережі. Отримані результати застосовуються для обґрунтованого вибору електротехнічного обладнання, перевірки його відповідності умовам експлуатації, забезпечення селективності роботи захисних пристроїв та оцінювання надійності функціонування системи електропостачання в аварійних режимах.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						41
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Лист
42

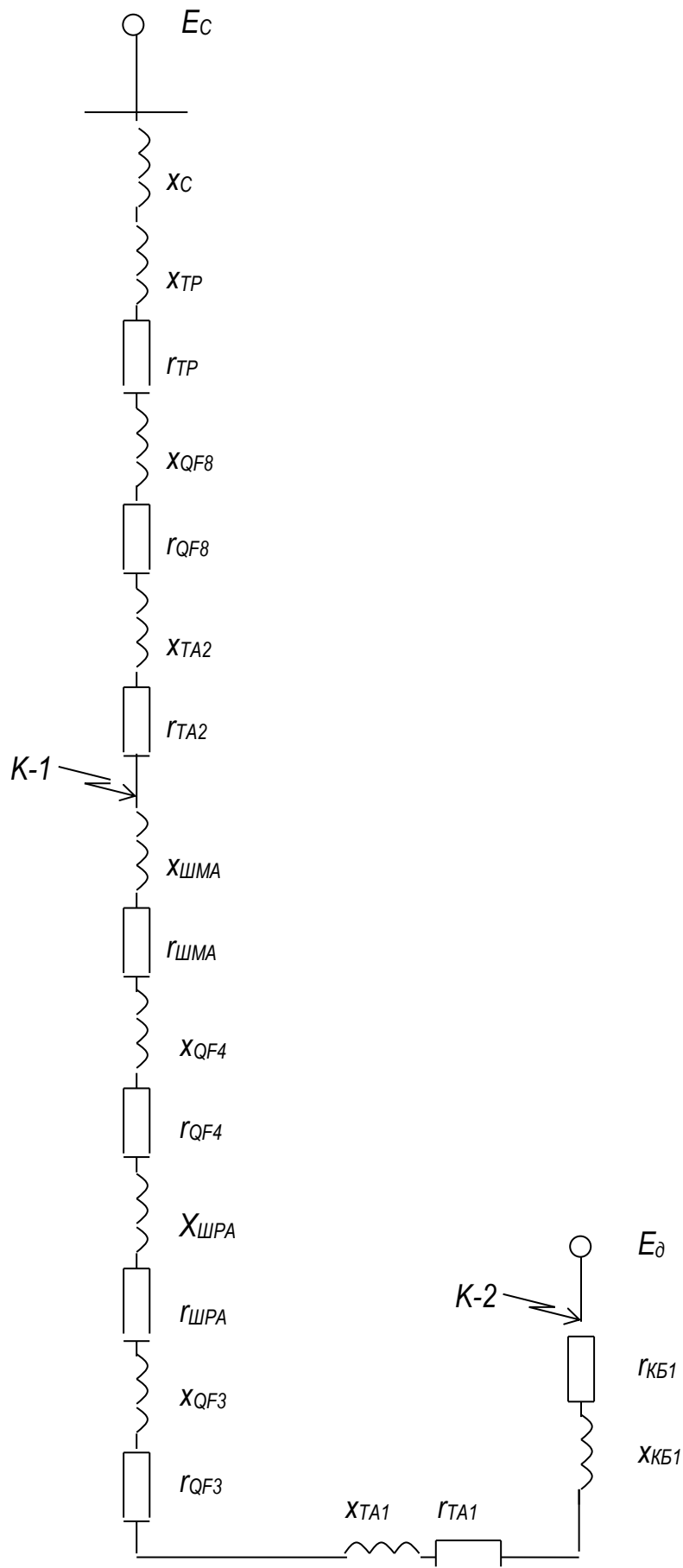


Рис.2.2. Схема заміщення

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ і ЕЕ 4815.006.000 ПЗ

Лист

43

2.7. 1. Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

При електропостачанні електроустановок від енергосистеми через понижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного к. з. визначається за виразом:

$$I_{по}^{(3)} = \frac{U_{ср\ нн}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}},$$

де $U_{ср\ нн}$ - середня номінальна напруга мережі, у якій відбулося к. з., В.

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ - сумарні активні й індуктивні опори прямої послідовності ланцюга к.з., мОм.

Ці опори для точці к.з. К - 1 визначаються:

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{1A8} + r_{TA2}$$

$$x_{1\Sigma} = x + x_{1T} + x + x_{A8} + x_{TA2}$$

де x - еквівалентний індуктивний опір системи до понижувального трансформатора, наведене до сторони нижчої напруги:

$$x_C = \frac{U_{ср\ нн}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{кз\ вн} \cdot U_{ср\ вн}},$$

де $U_{ср\ вн}$ - середня номінальна напруга мережі, до якого підключена обмотка вищої напруги трансформатора, В;

$I_{кз\ вн}$ - діюче значення періодичної складової струму при трифазному к. з. у виводів обмотки вищої напруги трансформатора, кА.

r_{1T} , r_{A8} , r_{TA2} , x_{1T} , x_{A8} , x_{TA2} - активні й індуктивні опори трансформатора, автоматів, трансформаторів струму.

Опору (питомі) елементів мережі наведені в табл. 5 і в додаток табл. П.6. - 11.

Таблиця 2.4. Опір (питомих) елементів мережі

Опору послідовнос тей	Питомі опори МОм/м	ТВЧ			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМА 4000 (Ш1) (60м)	ШРА 630 (Ш2) (80м)	Кабель АВВГ (4*35) мм ² (20м)	ТА 1 20/5	ТА 2 2500/5	QF 3	QF 4	QF 8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пряма	r ₁	0,03	0,15	1,25	3	0,05	1,1	0,65	0,14
	x ₁	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	0,5	0,17	0,08
Нульова	r ₀	0,037	0,162	2,5					
	x ₀	0,042	0,164	0,075					
Фаза-нуль	r _{Ф-0}	0,042	0,262	4					
	x _{Ф-0}	0,056	0,262	0,15					

Активні та індуктивні опори прямої послідовності понижувальних трансформаторів r_{1T} і x_{1T} визначаються по виразах:

$$r_{1T} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{нн}^2 \cdot 10^6}{S_{нт}^2}; \quad x_{1T} = \sqrt{U_{кз}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{кз}}{S_{нт}} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot U_{нн}^2}{S_{нт}},$$

де ΔP_{кз} - втрати к.з. у трансформаторі, кВт (довідкові дані трансформатора);

U_{кз} - напруга короткого замикання трансформатора, %;

U_{нн} - номінальна напруга обмоток низької напруги трансформатора, кВ;

S_{нт} - номінальна потужність трансформатора, кВА.

$$x_c = \frac{400^2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10,5} = 0,8 \text{ МОм}$$

Параметри трансформатора ТМЗ-1600-10/0,4; U_к = 5,5%, ΔP_{кз} = 10,8 кВт.

$$r_{1T} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{нн}^2 \cdot 10^6}{S_{нт}^2} = \frac{10,8 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1600^2} = 0,7 \text{ ;МОм}$$

$$x_{1T} = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 10,8}{1600} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,4^2}{1600} = 5,52 \text{ ,МОм}$$

$$r_{1\Sigma} = 0,7 + 0,14 + 0,05 = 0,9 \text{ МОм,}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 5,52 + 0,08 + 0,07 = 6,47 \text{ мОм.}$$

$$I_{\text{по}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,9^2 + 6,45^2}} = 35,52 \text{ кА}$$

Необхідність врахування впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається із співвідношення:

$$I_{\text{н до } \Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{\text{кз}}^{(3)}$$

$$I_{\text{н до } \Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{\text{кз}}^{(3)} \quad 115 \leq 0,1 \cdot 35520$$

Вивід: вплив двигунів у місці к.з. можна не враховувати.

2.7. 2.Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К - 2

Струм однофазного к. з. у точці К – 2 розраховується по формулі:

$$I_{\text{номін}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.лн}}}{\sqrt{(r_{1\Sigma}'' + r_{o\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma}'' + x_{o\Sigma})^2}},$$

$$\text{де } r_{1\Sigma}'' = r_{1\Sigma}' + (r_{\phi-o. \text{III}1} + r_{\phi-o. \text{III}2} + r_{\phi-o. \text{КБ}})$$

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + r_{\text{III}1} + r_{A4} + r_{\text{III}2} + r_{A3} + r_{\text{ТА}1} + r_{\text{КБ}1}$$

$$x_{1\Sigma}'' = x_{1\Sigma}' + (x_{\phi-o. \text{III}1} + x_{\phi-o. \text{III}2} + x_{\phi-o. \text{КБ}});$$

$$x_{1\Sigma}' = x_{1\Sigma} + x_{\text{III}1} + x_{A4} + x_{\text{III}2} + x_{\text{ТА}} + x_{\text{КБ}};$$

Для понижувальних силових трансформаторів із визначеною схемою з'єднання обмоток під час виконання розрахунків однофазних коротких замикань у мережах напругою до 1 кВ допускається прийняття активної та індуктивної складових опору нульової послідовності рівними відповідним параметрам опору прямої послідовності. Зазначене припущення базується на особливостях

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						46
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

протікання струмів нульової послідовності через трансформаторне обладнання та забезпечує достатній рівень точності інженерних розрахунків аварійних режимів у низьковольтних електричних мережах.

У випадках живлення електроустановок напругою до 1 кВ від електроенергетичної системи через понижувальні трансформатори значення періодичної складової струму однофазного короткого замикання, що надходить від джерела живлення, визначається на основі повного еквівалентного опору кола замикання. Розрахунок виконується за відповідною аналітичною залежністю, яка враховує параметри джерела електропостачання, характеристики трансформаторного обладнання, а також опори елементів мережі, включених до траєкторії протікання аварійного струму.

Отримане значення періодичної складової струму однофазного короткого замикання застосовується для перевірки чутливості пристроїв релейного захисту та автоматичних вимикачів, оцінювання коректності їх спрацювання, а також для забезпечення гарантованого відключення пошкоджених ділянок електричної мережі в умовах аварійного режиму функціонування:

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{CP.HH}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma}^1 + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma}^1 + x_{0\Sigma})^2}}, \text{ кА}$$

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 114,76 + 59,21)^2 + (2 \cdot 27,5 + 17,11)^2}} = 2,34 \text{ кА}$$

де $r_{1\Sigma}$ та $x_{1\Sigma}$ - визначаються:

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{A12} + r_{TA2} + r_{1III1} + r_{A8} + r_{1III2} + r_{A5} + r_{TA1} + r_{1KB}$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_{A12} + x_{TA2} + x_{1III1} + x_{A8} + x_{1III2} + x_{A5} + x_{TA1} + x_{1KB}$$

$$r_{1\Sigma} = 0,71 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,643 + 20 \cdot 0,15 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 0,92 = 27,21 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 5,5 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 + 20 \cdot 0,16 + 0,08 + 4,81 + 20 \cdot 0,06 = 16,52 \text{ мОм}$$

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + (r_{\Phi-H.III1} + r_{\Phi-H.III2} + r_{1KB}) = 27,2 + (0,067 \cdot 35 + 0,263 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 114,76 \text{ мОм};$$

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						47
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + (x_{\Phi-H.III1} + x_{\Phi-H.III2} + x_{1KB}) = 16,6 + (0,053 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 20 \cdot 0,15) = 27,5 \text{ МОм};$$

$$\begin{aligned} r_{0\Sigma} &= r_{0T} + r_{A12} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A8} + r_{0III2} + r_{A5} + r_{TA1} + r_{0KB} = \\ &= 0,7 + 0,131 + 0,05 + 0,036 \cdot 35 + 0,631 + 0,162 \cdot 20 + 0,141 + 3 + 20 \cdot 2,5 \\ &= 59,21 \text{ МОм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{0\Sigma} &= x_{0T} + x_{A12} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A8} + x_{0III2} + x_{A5} + x_{TA1} + x_{0KB} = \\ &= 5,5 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,043 + 0,17 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,075 = \\ &= 17,11 \text{ МОм}. \end{aligned}$$

Перевірка автоматів по граничному струмі відключення:

$$I_{\text{пред.откл}} \geq I_{\text{п.о.}}^{(3)},$$

де $I_{\text{п.о.}}^{(3)}$ - максимальний струм трифазного короткого замикання.

$$65 \geq 35,52 \text{ кА}$$

Умова виконується, граничний струм відключення автомата ЕО40 $I_{\text{роз}} = 65 \text{ кА}$

Перевірка автоматів на чутливість захистів:

$$I_{\text{п.о.}}^{(1)} \geq K \cdot I_y,$$

де $I_{\text{п.о.}}^{(1)}$ - мінімальний струм однофазного к. з. в електрично віддаленій точці ділянки мережі, що захищається,

$$2,34 \geq 1,25 \cdot 1$$

Автомат задовольняє умові перевірки на чутливість захистів.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						48
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.8. Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цеховий ТП

Ефективність роботи систем електропостачання суттєво залежить від показників якості електричної енергії, що подається до електроприймачів. Дотримання нормативно встановлених параметрів електроенергії є ключовою умовою стабільного функціонування технологічного обладнання, раціонального використання енергетичних ресурсів і забезпечення економічної ефективності виробничих процесів. Погіршення показників якості електричної енергії може призводити до порушення нормальних режимів роботи електроустановок, зниження продуктивності технологічних систем, збільшення втрат електроенергії та прискореного зносу обладнання.

Відповідно до чинних нормативно-технічних вимог, контроль рівня напруги повинен здійснюватися на всіх рівнях системи електропостачання - від шин джерела живлення до затискачів кінцевих електроспоживачів. При аналізі режимів роботи електричної мережі враховуються як розрахункові, так і фактичні значення напруги у характерних вузлових точках системи. У разі виявлення перевищення допустимих меж відхилення напруги необхідно передбачати впровадження технічних заходів, спрямованих на її стабілізацію та підвищення загального рівня якості електропостачання.

Одним із основних показників якості електроенергії є відхилення напруги, під яким розуміють різницю між фактичним значенням напруги в мережі та її номінальним значенням за умов повільної зміни режиму роботи електричної системи, коли швидкість зміни напруги не перевищує 1 % за секунду.

Для електричних мереж низької напруги нормативними документами встановлено допустимий діапазон відхилень напруги в межах $\pm 5\%$ від номінального значення. У окремих випадках для мереж з номінальною напругою до 20 кВ допустимі граничні відхилення можуть досягати $\pm 10\%$. Дотримання зазначених вимог є обов'язковою умовою забезпечення надійної роботи електрообладнання та безперервності технологічних процесів.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						49
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Негативні наслідки відхилень напруги проявляються як в енергетичному, так і у виробничому аспектах. З енергетичної точки зору це спричиняє зростання втрат електроенергії в кабельних лініях, трансформаторах та електричних машинах. У виробничому контексті відхилення напруги призводять до погіршення експлуатаційних характеристик обладнання, зниження продуктивності технологічних установок і загального зменшення ефективності виробничих процесів.

Найбільш чутливими до змін рівня напруги є освітлювальні установки та конденсаторні батареї. Навіть незначне зниження напруги може істотно впливати на рівень освітленості виробничих приміщень. Зокрема, зменшення напруги на 5 % призводить до зниження світлового потоку ламп розжарювання приблизно на 20 %. Водночас підвищення напруги на 10 % спричиняє значне скорочення ресурсу ламп, яке може досягати зменшення терміну служби майже у чотири рази порівняно з номінальними умовами експлуатації.

З метою оцінювання якості електропостачання у проєктованій системі виконується визначення відхилення напруги на стороні низької напруги силового трансформатора. Отримані результати розрахунків використовуються для перевірки відповідності параметрів електричної мережі нормативним вимогам, а також для обґрунтування необхідності застосування засобів регулювання напруги та інших технічних заходів, спрямованих на забезпечення належного рівня якості електричної енергії:

$$U_{11} = U_1 + U_{011} - U_{H1} - U_{01} - \Delta U_T,$$

де $U_{011} - U_{H1} - U_{01} = E$ – добавка напруги при регулюванні;

U_1 – відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

U_{H1} – відхилення від номінальної напруги в мережі високої напруги для основного регулювального відгалуження обмотки ВН;

U_{01} – відхилення напруги регулювального відгалуження;

U_{011} – відхилення номінальної напруги вторинної обмотки трансформатора від номінальної напруги мережі низької напруги;

ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі:

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta U_m = \beta \cdot (R_m \cdot \cos \varphi + X_m \cdot \sin \varphi) = \frac{S_p}{S_{нтр}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{нтр}} \cdot \cos \varphi + U_{кз} \cdot \sin \varphi \right)$$

$$\text{або } \Delta U_m = \frac{Q_p}{\sin \varphi} \cdot U_{кз},$$

де $\Delta P_{кз}$ і $U_{кз}$ – паспортні дані трансформатора, втрати короткого замикання, кВт, та напруга короткого замикання, %.

У застосування до даних умов маємо:

$$S_{нтр} = 1600 \text{ кВА}; U_{кз} = 5,5\%; \Delta P_{кз} = 10,8 \text{ кВт.}$$

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{нск}^2}}{N_{min}} = \frac{\sqrt{1602^2 + 690^2}}{2} = 872 \text{ кВА}$$

Трансформатор має номінальну напругу виводів $10 \pm 2(2,5\%/0,4 \text{ кВ})$.

На стороні ВН трансформатора підтримується напруга 10 кВ ($U_1 = 5\%$, $U_n = 0$)

Відхилення напруги на стороні НН трансформатора при включенні його відгалуженням $+2,5\%$ ($U_{01} = 2,5\%$, $U_{011} = 2,5\%$).

Втрати напруги в трансформаторі при розрахунковому навантаженні:

$$\begin{aligned} \Delta U_m &= \beta \cdot (R_m \cdot \cos \varphi + X_m \cdot \sin \varphi) = \frac{S_p}{S_{нтр}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{нтр}} \cdot \cos \varphi + U_{кз} \cdot \sin \varphi \right) = \\ &= \frac{872}{1600} \cdot \left(\frac{10,8}{1600} \cdot 0,98 + 0,055 \cdot 0,19 \right) = 0,011 = 1,1 \% \end{aligned}$$

Визначимо відхилення напруги на стороні низкої напруги трансформатора з врахуванням заданих відхилень при включенні його відгалуженням $+2,5\%$.

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 1,1 = 2,8 \text{ \%}.$$

Отримане значення перебуває в межах норми.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						51
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

У процесі розроблення системи електропостачання вузла електричних навантажень цеху промисловості будівельних матеріалів було застосовано сучасні методи інженерного аналізу та прогресивні технічні рішення, орієнтовані на підвищення надійності функціонування електроенергетичної інфраструктури, зменшення втрат електричної енергії та забезпечення належного рівня електробезпеки. Вибір електротехнічного обладнання здійснювався відповідно до вимог чинної нормативно-технічної документації з урахуванням актуальних тенденцій розвитку промислових систем електропостачання. Пріоритет надавався обладнанню, здатному забезпечити оптимальні техніко-економічні показники в умовах тривалої експлуатації.

У межах виконаної роботи реалізовано системний підхід до проектування внутрішньоцехової системи електропостачання. Виконано детальний аналіз технологічних особливостей виробництва будівельних матеріалів, встановлено структуру електричних навантажень, досліджено режими роботи електроприймачів та здійснено розрахунок їх основних електроенергетичних параметрів. На основі отриманих результатів обґрунтовано вибір силового трансформаторного обладнання та сформовано раціональну схему розподілу електроенергії. Підсумком розрахунково-проектних робіт стала розробка однолінійної схеми електропостачання цеху, представлена у графічній частині проекту.

Аналіз виробничого процесу показав, що переважна частина електроприймачів належить до I категорії надійності електропостачання. Перерва в живленні таких споживачів може призвести до порушення технологічного циклу, пошкодження обладнання, виникнення аварійних режимів і значних економічних втрат. У зв'язку з цим у проекті передбачено впровадження заходів резервування електроживлення та підвищення експлуатаційної надійності системи.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення живлення вузла навантажень прийнято комплектну двотрансформаторну підстанцію типу 2КТП-1600/10/0,4. Її технічні характеристики повністю відповідають розрахунковим навантаженням виробничого об'єкта та забезпечують необхідний резерв потужності як у нормальному, так і в післяаварійному режимах роботи. Розрахунковий коефіцієнт завантаження силових трансформаторів становить 0,7, що відповідає рекомендованим експлуатаційним значенням і свідчить про раціональне використання встановленої потужності.

Живлення трансформаторної підстанції здійснюється від мережі середньої напруги 10 кВ. Розподіл електроенергії між споживачами цеху виконується через мережу низької напруги 0,4/0,23 кВ, яка забезпечує необхідні параметри електроживлення силових та освітлювальних електроприймачів відповідно до технологічних вимог виробництва.

Для підвищення енергоефективності системи та зменшення передачі реактивної потужності в мережі 0,4 кВ передбачено встановлення трьох комплектних конденсаторних установок типу УКК-0,38-450-150УЗ із сумарною потужністю 900 квар. Застосування засобів компенсації реактивної потужності забезпечує зниження втрат електроенергії в елементах мережі, покращення режимів роботи трансформаторів та підвищення загальної енергетичної ефективності системи електропостачання.

З метою реалізації принципу глибокого вводу електричної енергії з урахуванням специфіки технологічного процесу для цеху промисловості будівельних матеріалів прийнято рішення щодо застосування прибудованої комплектної трансформаторної підстанції.

Для внутрішньоцехового розподілу електроенергії обрано схему типу «блок трансформатор – магістраль», що характеризується високими показниками економічності та надійності. Передача електроенергії від підстанції здійснюється через магістральний шинопровід ШМА68-НУЗ-4000, до якого приєднано чотири розподільні шинопроводи ШРА-73-630. Така структура мережі дозволяє мінімізувати кількість комутаційної апаратури, спростити експлуатацію системи та

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечити можливість подальшого розширення виробничих потужностей без суттєвої реконструкції електричних мереж.

Захист електрообладнання від перевантажень і струмів короткого замикання реалізовано із застосуванням автоматичних вимикачів серій ЕО та ВА. Параметри захисної апаратури визначено на основі розрахунків робочих та аварійних режимів, що забезпечує необхідний рівень селективності, швидкодії та надійності спрацювання захисту.

Перевірка режимів роботи спроектованої системи показала, що відхилення напруги у всіх контрольних точках мережі не перевищують значень, регламентованих чинними нормативними документами. Це підтверджує відповідність розробленої системи вимогам щодо якості електричної енергії та гарантує стабільну роботу технологічного обладнання.

В результаті виконаної роботи повністю реалізовано поставлені завдання зі створення системи електропостачання вузла електричних навантажень цеху промисловості будівельних матеріалів. Запропоновані технічні рішення забезпечують високий рівень надійності електропостачання, енергоефективності та безпеки експлуатації, а також відповідають сучасним вимогам до електроенергетичного забезпечення промислових підприємств.

					<i>ET i EE 4815.006.000 ПЗ</i>	Лист
						54
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні положення з охорони праці

Підприємства промисловості будівельних матеріалів характеризуються наявністю потужного технологічного обладнання: дробарок, млинів, транспортерів, компресорів, сушильних установок, вентиляційних систем та електроприводів. Робота такого обладнання супроводжується високим рівнем запиленості, шуму, вібрації та значними електричними навантаженнями.

Під час проєктування системи електропостачання необхідно враховувати вимоги нормативних документів щодо електробезпеки, пожежної безпеки та виробничої санітарії.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами у цеху промисловості будівельних матеріалів є:

- ураження електричним струмом;
- підвищена запиленість повітря;
- шум та вібрація;
- механічні небезпеки;
- пожежна небезпека;
- недостатнє освітлення робочих місць.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно передбачити комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на захист працівників від небезпечних факторів та забезпечення надійної роботи електрообладнання.

3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Одним із найбільш небезпечних факторів у виробничих приміщеннях є електричний струм. Ураження електричним струмом можливе внаслідок пошкодження ізоляції, дотику до струмовідних частин або виникнення напруги на

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						55
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

металевих корпусах обладнання. Наявність пилу та підвищеної вологості у виробничих приміщеннях підвищує ризик електротравматизму.

У процесі виробництва будівельних матеріалів утворюється значна кількість пилу. Найбільш небезпечним є цементний, вапняний та кварцовий пил, який негативно впливає на органи дихання працівників та може спричиняти професійні захворювання.

Під час роботи дробарок, млинів, вентиляторів та компресорів виникає підвищений рівень шуму та вібрації. Тривалий вплив шуму негативно впливає на нервову систему людини, знижує працездатність та може призвести до погіршення слуху.

Механічну небезпеку становлять рухомі частини технологічного обладнання, транспортери, приводи та обертальні механізми. Порушення правил безпеки під час роботи з таким обладнанням може призвести до травмування працівників.

Пожежна небезпека виникає через можливість коротких замикань, перевантаження електромереж, перегріву кабелів та електродвигунів, а також накопичення пилу на електрообладнанні.

Для зменшення впливу небезпечних факторів необхідно:

- забезпечити справний стан електрообладнання;
- здійснювати регулярний контроль ізоляції;
- застосовувати системи аспірації та вентиляції;
- використовувати захисні огороження;
- проводити інструктажі з охорони праці.

3.3. Заходи забезпечення електробезпеки

Під час проєктування системи електропостачання вузла навантаження необхідно забезпечити високий рівень електробезпеки. Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є захисне заземлення, автоматичне відключення пошкоджених ділянок мережі та застосування захисних засобів.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						56
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Усі металеві неструмовідні частини електрообладнання повинні бути приєднані до системи захисного заземлення. Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику та сприяє швидкому спрацюванню апаратів захисту.

Для даного об'єкта доцільно використовувати систему заземлення типу TN-S, у якій робочий та захисний нульові провідники розділені по всій довжині мережі.

Для захисту від коротких замикань та перевантаження застосовуються:

- автоматичні вимикачі;
- плавкі запобіжники;
- релейний захист;
- пристрої захисного відключення.

Кабельні лінії повинні мати достатню механічну та термічну стійкість, а ізоляція - відповідати умовам експлуатації у запиленому середовищі.

Під час експлуатації електроустановок необхідно використовувати засоби індивідуального захисту:

- діелектричні рукавички;
- діелектричне взуття;
- ізолювальні штанги;
- покажчики напруги;
- переносні заземлення.

Для безпечного проведення ремонтних робіт необхідно:

- відключати обладнання від мережі;
- перевіряти відсутність напруги;
- вивішувати попереджувальні плакати;
- встановлювати переносні заземлення;
- оформлювати наряд-допуск.

До роботи в електроустановках допускаються лише працівники, які пройшли навчання, інструктаж та перевірку знань з електробезпеки.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						57
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Пожежна безпека та захист від аварійних ситуацій

Цехи промисловості будівельних матеріалів належать до виробництв із підвищеною пожежною небезпекою через значну кількість електрообладнання, наявність пилу та використання мастильних матеріалів.

Основними причинами виникнення пожеж є:

- короткі замикання;
- перевантаження електромереж;
- перегрів електрообладнання;
- іскріння контактів;
- порушення правил експлуатації обладнання.

Для забезпечення пожежної безпеки у проєкті передбачено:

- використання кабелів з негорючою ізоляцією;
- встановлення автоматичних апаратів захисту;
- організацію вентиляції та аспірації;
- контроль температури електрообладнання;
- забезпечення приміщень засобами пожежогасіння.

У виробничих приміщеннях повинні бути встановлені порошкові та вуглекислотні вогнегасники, призначені для гасіння електрообладнання під напругою.

Для запобігання аварійним ситуаціям необхідно регулярно проводити:

- перевірку стану кабельних ліній;
- контроль контактних з'єднань;
- огляд електродвигунів та трансформаторів;
- перевірку роботи апаратів захисту.

У цеху повинні бути розроблені:

- інструкції з пожежної безпеки;
- плани евакуації;
- порядок дій у разі аварії;
- графіки проведення протипожежних тренувань.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						58
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим заходом є своєчасне очищення приміщень від пилу та підтримання належного санітарного стану виробничих зон.

3.5 Санітарно-гігієнічні умови праці

Для забезпечення безпечних умов праці у цеху необхідно підтримувати нормативні параметри мікроклімату, освітлення, вентиляції та рівня шуму.

Для видалення пилу та шкідливих речовин використовуються системи аспірації та припливно-витяжної вентиляції. Ефективна вентиляція дозволяє підтримувати допустимі концентрації пилу у повітрі робочої зони.

Температура та вологість повітря повинні відповідати санітарним нормам. Для виробничих приміщень рекомендована температура становить 18–22 °С.

Освітлення робочих місць повинно відповідати вимогам нормативних документів та забезпечувати безпечне виконання робіт. У виробничих приміщеннях застосовується:

- загальне освітлення;
- місцеве освітлення;
- аварійне освітлення.

Для зниження рівня шуму та вібрації використовуються:

- шумопоглинальні матеріали;
- амортизуючі опори;
- звукоізоляційні кожухи;
- дистанційне керування обладнанням.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту:

- спецодягом;
- захисними окулярами;
- респіраторами;
- касками;
- рукавицями;

					ET і EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						59
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- навушниками.

На підприємстві необхідно організувати проведення періодичних медичних оглядів, інструктажів з охорони праці та перевірки знань правил безпечної експлуатації обладнання.

У результаті аналізу умов праці у цеху промисловості будівельних матеріалів встановлено, що основними небезпечними факторами є електричний струм, запиленість повітря, шум, вібрація, механічні небезпеки та пожежна небезпека.

Для забезпечення безпечної експлуатації системи електропостачання вузла навантаження у проєкті передбачено комплекс заходів з охорони праці, а саме:

- застосування захисного заземлення та автоматичного захисту;
- використання надійного електрообладнання;
- забезпечення пожежної безпеки;
- створення нормативних санітарно-гігієнічних умов;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту;
- проведення навчання та інструктажів персоналу.

Запропоновані заходи дозволяють підвищити рівень електробезпеки, знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та забезпечити безпечні умови праці для персоналу цеху промисловості будівельних матеріалів.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						60
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано проектування системи електропостачання вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів відповідно до чинних нормативних вимог, сучасних підходів до забезпечення надійності та енергоефективності промислових електроустановок.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу цеху та визначено склад основних електроспоживачів. Встановлено, що характерними споживачами є дробильне та помольне обладнання, транспортні механізми (конвеєри, елеватори), змішувальні установки, вентилятори та допоміжні електроприводи. Визначено категорії по надійності електропостачання електроприймачів цеху промисловості будівельних матеріалів, що дозволило обґрунтувати вимоги до безперебійності електропостачання.

На основі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання. Визначено розрахункові значення активної, реактивної та повної потужностей, що стало основою для подальшого вибору основного електрообладнання та параметрів системи електропостачання.

Розроблено та обґрунтовано схему електропостачання цеху, яка забезпечує необхідний рівень надійності живлення споживачів відповідальних категорій. Виконано вибір силових трансформаторів, кабельних ліній та розподільчих пристроїв з урахуванням розрахункових навантажень, режимів роботи та умов експлуатації електрообладнання.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання у характерних точках електричної мережі. На основі отриманих результатів здійснено вибір комутаційної апаратури та перевірку їх на термічну та електродинамічну стійкість, що забезпечує надійну роботу системи в аварійних режимах.

З метою підвищення енергоефективності системи електропостачання виконано розрахунок компенсації реактивної потужності. Запропоновані заходи дозволяють підвищити коефіцієнт потужності, зменшити втрати електричної енергії в мережах та покращити режим роботи електрообладнання.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						61
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У розділі охорони праці розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для цехів промисловості будівельних матеріалів. Розроблено комплекс організаційних і технічних заходів для забезпечення безпечної експлуатації електроустановок і захисту персоналу.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено технічно обґрунтовану систему електропостачання вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів, яка забезпечує надійне та безперебійне живлення технологічного обладнання, відповідає сучасним вимогам енергоефективності та нормативним документам.

Отримані результати підтверджують досягнення поставленої мети роботи та повне виконання сформульованих завдань. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані при проєктуванні нових або модернізації існуючих систем електропостачання підприємств галузі будівельних матеріалів, що сприятиме підвищенню надійності, економічності та ефективності їх роботи.

					<i>ET i EE 4815.006.000 ПЗ</i>	Лист
						62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування/ Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. — Київ, 2013. 424 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. / Рудницький В.Г. — Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. — 280 с.
3. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). — Харків : Форт, 2017. — 760 с.
4. ДСТУ EN 61936-1:2017. Силкові електроустановки змінного струму напругою понад 1 кВ. Загальні вимоги.
5. ДСТУ EN 50522:2016. Заземлення електроустановок напругою понад 1 кВ змінного струму.
6. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. — Київ : Міністерство енергетики України, 2023.
7. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98). — Київ, 2018.
8. Кузнєцов В.Г., Захарченко В.М. Електропостачання промислових підприємств : підручник. — Київ : Каравела, 2018. — 312 с.
9. Жежеленко І.В., Саєнко Ю.Л. Електропостачання промислових підприємств. — Київ : Вища школа, 2017. — 280 с.
10. Гук Ю.Б., Кантан В.В. Проектування систем електропостачання промислових підприємств. — Львів : Новий Світ-2000, 2020. — 384 с.
11. Болюх В.Ф., Щербак Я.В. Розрахунок струмів короткого замикання в електричних мережах : навчальний посібник. — Харків : НТУ «ХП», 2018. — 176 с.
12. Биков В.Г., Назаренко Л.А. Компенсація реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств. — Харків: Основа, 2018. 215 с.

					<i>ET i EE 4815.006.000 ПЗ</i>	Лист
						63
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- 13.ДСТУ EN 60909-0:2016. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму.
- 14.Кодекс систем розподілу : затверджений постановою НКРЕКП № 310 від 14.03.2018 р.
- 15.Кодекс систем передачі : затверджений постановою НКРЕКП № 309 від 14.03.2018 р.
- 16.Березюк М.Д. Основи охорони праці : підручник. – Київ : Каравела, 2021. – 400 с.
- 17.Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями).
- 18.ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
- 19.Михайлів М.І., Соломчак О.В., Гоголюк П.Ф. Розрахунок електричних навантажень. Навчальний посібник. Івано-Франківськ : Факел, 2003. - 150 с.
- 20.Василега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. / Василега П.О. - Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. - 415 с.
21. Методичні рекомендації по виконанню курсової роботи з дисципліни «Електропостачання промислових підприємств»- Житомир: ЖВІРЕ, 2007. 25с.

					ET i EE 4815.006.000 ПЗ	Лист
						64
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		