

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 хімічної промисловості»
(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 _____ Ян ДОВГАЛЮК
(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))

Довгалюк Ян Васильович

(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: Проєктування СЕП вузла навантаження цеху хімічної промисловості

керівник роботи Кирисов Ігор Геннадійович, PhD

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

затверджені наказом по Університету від «15» грудня 2025 року, №4801-5/4400

2. Строк подання здобувачем роботи: «01» червня 2026 року
3. Вихідні дані до роботи: найменування електроспоживачів напругою до 1 кВ, мінімальна та максимальна потужність цих споживачів, кількість споживачів, їх номінальна потужність, режим роботи електроспоживачів.
4. Перелік питань, які потрібно розробити:
 - 1.) Загальна характеристика технологічного процесу проєктованого 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	25.02.26-11.03.26	
2	Електричні розрахунки	12.03.26-14.04.26	
3	Охорона праці	15.04.26-30.04.26	
4	Розробка роздаткового матеріалу	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 _____ Ян ДОВГАЛЮК
(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 хімічної промисловості» складається з 63 сторінок, містить 2 рисунків, 4 таблиці, ____ додатків та 25 найменувань використаних джерел.

Метою роботи є розроблення системи електропостачання вузла навантаження цеху хімічної промисловості, яка забезпечує надійне, безпечне та економічно ефективне електропостачання технологічного обладнання.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз технологічного процесу цеху та визначено склад основних електроспоживачів. Розглянуто особливості роботи технологічного обладнання хімічного виробництва.

В роботі виконано розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання з визначенням активної, реактивної та повної потужностей. На основі отриманих результатів обґрунтовано вибір схеми електропостачання, кількості та потужності силових трансформаторів, а також виконано вибір кабельних ліній і розподільчих пристроїв.

У роботі проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках електричної мережі. За результатами розрахунків здійснено вибір комутаційної апаратури, що забезпечують надійну роботу системи електропостачання в нормальних і аварійних режимах.

З метою підвищення енергоефективності системи електропостачання виконано розрахунок компенсації реактивної потужності, що дозволяє зменшити втрати електроенергії, підвищити коефіцієнт потужності та покращити техніко-економічні показники роботи підприємства.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці та безпеки життєдіяльності. Розглянуто заходи щодо забезпечення електробезпеки персоналу, захисту від ураження електричним струмом, а також вимоги пожежної та вибухової безпеки, характерні для підприємств хімічної промисловості.

У результаті виконання роботи розроблено систему електропостачання вузла навантаження цеху хімічної промисловості, яка відповідає вимогам чинних нормативних документів, забезпечує надійне електропостачання технологічного обладнання та сприяє підвищенню ефективності використання електричної енергії.

Практична цінність роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів під час проектування нових або модернізації існуючих систем електропостачання підприємств хімічної промисловості з метою підвищення їх надійності, безпеки та енергоефективності.

Ключові слова: СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ВУЗОЛ НАВАНТАЖЕННЯ, ХІМІЧНА ПРОМИСЛОВІСТЬ, ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА, ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.

ABSTRACT

Explanatory note to the bachelor's qualification work on the topic "Design of the power supply system of the load node of the chemical industry shop" consists of 63 pages, contains 2 figures, 4 tables, appendices and 25 names of sources used.

The purpose of the work is to develop a power supply system of the load node of the chemical industry shop, which provides reliable, safe and cost-effective power supply of technological equipment.

The qualification work analyzes the technological process of the shop and determines the composition of the main electricity consumers. The features of the operation of the technological equipment of chemical production are considered.

The work calculates the electrical loads of the power supply node with the determination of active, reactive and full powers. Based on the results obtained, the choice of the power supply scheme, the number and power of power transformers, and the selection of cable lines and switchgear are justified. The work calculates short-circuit currents at characteristic points of the electrical network. According to the results of the calculations, the switching equipment was selected to ensure reliable operation of the power supply system in normal and emergency modes.

In order to increase the energy efficiency of the power supply system, the calculation of reactive power compensation was performed, which allows reducing electricity losses, increasing the power factor and improving the technical and economic performance of the enterprise.

A separate section is devoted to the issues of labor protection and life safety. Measures to ensure electrical safety of personnel, protection against electric shock, as well as fire and explosion safety requirements typical for chemical industry enterprises were considered.

As a result of the work, a power supply system for the load node of the chemical industry workshop was developed, which meets the requirements of current regulatory documents, ensures reliable power supply of technological equipment and contributes to increasing the efficiency of the use of electrical energy.

The practical value of the work lies in the possibility of applying the results obtained when designing new or modernizing existing power supply systems of chemical industry enterprises in order to increase their reliability, safety and energy efficiency.

Keywords: POWER SUPPLY SYSTEM, LOAD NODE, CHEMICAL INDUSTRY, ELECTRICAL LOAD, TRANSFORMER SUBSTATION, SHORT CIRCUIT, REACTIVE POWER, ENERGY EFFICIENCY, ELECTRICAL SAFETY, ELECTRICAL EQUIPMENT.

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.....	23
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.....	26
2.4 Вибір схеми внутріцехової мережі напругою до 1 кВ.....	29
2.5 Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах.....	31
2.6 Вибір марки і перетину струмоведучих частин.....	37
2.7 Розрахунок струмів к.з. у мережі напругою до 1 кВ.	38
2.8 Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП	48
2.9 Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження.....	51
3.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	53
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

					ЕТ і ЕЕ 4815.023.000 ПЗ			
Змн	Арк	П.І.Б.	Підпис	Дата				
Розроб.	Довгалюк				Проектування СЕП вузла навантаження цеху хімічної промисловості	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Кирисов						6	63
						гр. ДЕС-24пр2р		
Н. контр								
Затверд.	Чернюк							

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

ЕП	-	електроприймач
РП	-	реактивна потужність
СЕП	-	система електропостачання
ТП	-	трансформаторна підстанція
НБК	-	низьковольтні батареї конденсаторів
ККУ	-	комплектна конденсаторна установка
КТП	-	комплектна трансформаторна підстанція
ПС	-	підстанція
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

					<i>ЕТ і ЕЕ 4815.023.000 ПЗ</i>	Лист
						7
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Електроенергетика є однією з ключових галузей сучасної економіки, що забезпечує надійне функціонування промислових підприємств, транспорту, комунального господарства та соціальної сфери. Рівень розвитку промислового виробництва значною мірою залежить від ефективності систем електропостачання, які повинні забезпечувати безперебійне постачання електричної енергії необхідної якості та у потрібних обсягах. Особливого значення це набуває для підприємств хімічної промисловості, де стабільність технологічних процесів безпосередньо впливає на якість продукції, безпеку виробництва та економічні показники підприємства.

Хімічна промисловість належить до найбільш енергоємних галузей виробництва. Для забезпечення технологічних процесів використовуються електродвигуни насосів, компресорів, вентиляторів, змішувальних установок, теплообмінного обладнання, систем автоматичного керування та інших електроприймачів. Багато технологічних процесів мають безперервний характер, тому навіть короткочасне припинення електропостачання може призвести до порушення виробничого циклу, значних матеріальних збитків, пошкодження обладнання та виникнення аварійних ситуацій.

Сучасні умови функціонування промислових підприємств висувають підвищені вимоги до надійності, безпеки та економічності систем електропостачання. Важливими завданнями є забезпечення нормативної якості електричної енергії, зменшення втрат електроенергії в мережах, підвищення енергоефективності виробництва та впровадження сучасних технічних рішень щодо автоматизації процесів керування електричними мережами. Значна увага приділяється питанням компенсації реактивної потужності, оптимізації режимів роботи електрообладнання та підвищенню рівня електробезпеки.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у необхідності розроблення ефективної системи електропостачання вузла навантаження цеху

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

хімічної промисловості, яка забезпечуватиме надійне електропостачання технологічного обладнання, відповідатиме вимогам нормативних документів та сприятиме раціональному використанню електричної енергії.

Одним із найважливіших етапів проєктування систем електропостачання є визначення електричних навантажень підприємства. Саме результати розрахунків навантажень є основою для вибору потужності трансформаторів, кабельних ліній, комутаційної апаратури та засобів захисту. Від правильності виконання цих розрахунків залежить надійність функціонування всієї системи електропостачання та економічність її експлуатації.

Під час проєктування систем електропостачання хімічних виробництв особливу увагу необхідно приділяти питанням пожежної та вибухової безпеки, оскільки багато виробничих процесів пов'язані з використанням легкозаймистих, вибухонебезпечних або хімічно активних речовин. Тому вибір електрообладнання, засобів захисту та схем електропостачання повинен здійснюватися з урахуванням вимог чинних нормативних документів щодо безпечної експлуатації електроустановок.

Метою кваліфікаційної роботи є проєктування системи електропостачання вузла навантаження цеху хімічної промисловості, яка забезпечує надійне, безпечне та економічно ефективне електропостачання технологічного обладнання відповідно до сучасних технічних і нормативних вимог.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати особливості технологічного процесу та склад електроспоживачів цеху;
- визначити категорії надійності електропостачання електроприймачів;
- виконати розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання;
- обґрунтувати вибір схеми електропостачання цеху;
- здійснити вибір кількості та потужності силових трансформаторів;

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- виконати вибір кабельних ліній і струмопровідних елементів;
- розрахувати струми короткого замикання в характерних точках мережі;
- здійснити вибір комутаційної апаратури та засобів релейного захисту;
- виконати розрахунок компенсації реактивної потужності;
- провести аналіз техніко-економічних показників розробленої системи;
- розробити заходи з охорони праці та електробезпеки.

Практичне значення роботи полягає у розробленні технічних рішень щодо побудови системи електропостачання вузла навантаження цеху хімічної промисловості, які можуть бути використані під час проєктування нових або модернізації існуючих промислових об'єктів. Реалізація запропонованих рішень дозволить підвищити надійність електропостачання, знизити втрати електроенергії та забезпечити ефективну роботу технологічного обладнання.

Таким чином, проєктування системи електропостачання вузла навантаження цеху хімічної промисловості є актуальним інженерним завданням, вирішення якого сприяє підвищенню надійності виробництва, покращенню енергетичних показників підприємства та забезпеченню безпечних умов експлуатації електроустановок.

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						10
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Аналіз технологічного процесу є одним із ключових етапів проектування систем електропостачання промислових підприємств. Його проведення дає можливість оцінити можливі наслідки аварійного припинення електропостачання, визначити вимоги до надійності живлення окремих електроприймачів та виявити особливості електричних навантажень, характерні для конкретного виробництва. Отримані результати використовуються для обґрунтування кількості незалежних джерел живлення, вибору схем електричних мереж, а також необхідності застосування пристроїв автоматичного резервування.

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

До першої категорії належать електроприймачі, відключення яких може створити загрозу життю та здоров'ю людей, спричинити значні матеріальні збитки, пошкодження дороговартісного обладнання, масовий випуск бракованої продукції або порушення складного технологічного процесу.

Друга категорія включає електроприймачі, припинення живлення яких призводить до суттєвого зниження обсягів виробництва, простою персоналу, технологічного обладнання та внутрішньозаводського транспорту.

До третьої категорії відносять електроприймачі, що не належать до перших двох категорій. Як правило, це допоміжні та другорядні виробничі об'єкти, функціонування яких не має визначального впливу на основний технологічний процес підприємства.

Вибір рівня надійності електропостачання безпосередньо пов'язаний із категорією електроприймачів, конфігурацією системи електропостачання та кількістю джерел живлення. Для споживачів першої категорії передбачається живлення від двох або більше незалежних джерел. У разі аварійного відключення

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

одного з них перерва в електропостачанні допускається лише на час спрацювання пристрою автоматичного введення резерву (АВР).

Електроприймачі другої категорії можуть отримувати живлення як від одного, так і від двох джерел залежно від виробничого значення підприємства та місцевих умов електропостачання. При цьому допустима перерва в електропостачанні обмежується часом, необхідним для підключення резервного джерела оперативним персоналом.

Для електроприймачів третьої категорії зазвичай передбачається одне джерело живлення. Водночас у разі технічної та економічної доцільності допускається організація резервного живлення. Тривалість перерви електропостачання для таких споживачів може становити до однієї доби, що пов'язано з виконанням ремонтних робіт або заміною пошкоджених елементів мережі.

На підприємствах хімічної промисловості використовується широкий спектр технологічного обладнання. Потужність мішалок, центрифуг і фільтр-пресів, як правило, знаходиться в межах від 1 до 55 кВт. Відцентрові насоси характеризуються потужністю від 6 до 1500 кВт, поршневі компресори – від 50 до 6300 кВт, а турбокомпресори – від 700 до 12000 кВт.

Для гумотехнічного виробництва характерним є використання черв'ячних пресів потужністю 110–550 кВт, вальців потужністю 80–400 кВт та каландрів потужністю 45–195 кВт. На підприємствах із переробки пластмас застосовуються пресово-ливарні машини, гідравлічні преси потужністю від 2 до 85 кВт, а також агрегати для виготовлення листових матеріалів потужністю 90–115 кВт. Крім того, значне місце займають установки для нагрівання та підготовки полімерної сировини.

У виробництві штучних волокон використовуються електроверетена потужністю 0,08–0,25 кВт, які працюють за підвищених частот 100–167 Гц та напруги 45–130 В. Також застосовуються крутильні та перемотувальні машини

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

потужністю від 1 до 50 кВт, а прядильні агрегати із сушильними установками можуть мати сумарну потужність до 400 кВт.

Для регулювання частоти обертання турбокомпресорів до 75 % від номінального значення використовуються вентильні каскадні схеми. Швидкість обертання поршневих компресорів регулюється за допомогою системи УРВС, яка забезпечує її зміну до 50 % від номінальної величини.

Електроприводи постійного струму широко застосовуються у виробництві гумотехнічних виробів, пластмас та штучних волокон. Вони використовуються для приводу каландрів, вальців, листоформувальних агрегатів, дозувальних і напірних насосів, а також механізмів транспортування нитки в прядильних машинах. Основна частина інших споживачів працює від мереж змінного струму частотою 50 Гц.

Для технологічних апаратів, експлуатація яких пов'язана з високим тиском, агресивними, токсичними або радіоактивними речовинами, застосовуються спеціальні асинхронні електродвигуни екранованого виконання. Конструкція таких двигунів передбачає наявність металевго екрана між статором і ротором, який одночасно є елементом корпусу технологічного обладнання. Це дозволяє відмовитися від складних ущільнювальних вузлів та підвищити герметичність установки. Передача енергії від статора до ротора здійснюється через металевий екран, що дещо знижує коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності двигуна, однак забезпечує високу надійність і безпечність роботи технологічної системи.

Для більшості електродвигунів характерний тривалий режим роботи. Разом із тим окремі механізми, зокрема дозувальні насоси, можуть функціонувати короткочасно протягом 10–15 хвилин за зміну. Циклічний характер навантаження спостерігається у центрифуг, мішалок та змішувачів. Для таких механізмів характерні значні пускові навантаження, які після завершення початкової стадії роботи можуть зменшуватися у два-три рази.

З метою підвищення енергоефективності приводи деяких мішалок виконують із двома електродвигунами різної потужності. На початковому етапі

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						13
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічного циклу працюють обидва двигуни, після зниження навантаження потужніший двигун відключається, а подальша робота здійснюється менш потужним приводом.

До споживачів першої категорії надійності належать технологічні установки, аварійне відключення яких може спричинити вибух, пожежу, масове отруєння персоналу або значне пошкодження обладнання. До цієї групи входять окремі виробничі мішалки, системи санітарно-технічної вентиляції, установки водопостачання та численні технологічні комплекси підвищеної небезпеки. Також до першої категорії належать системи контрольно-вимірювальних приладів і автоматики, оскільки їхня безперебійна робота забезпечує стабільне функціонування технологічних процесів.

Електроприймачі адміністративно-побутових та допоміжних будівель, включаючи системи опалення, вентиляції, кондиціювання повітря, водопостачання, каналізації, складські приміщення, установки електрохімічного захисту, а також внутрішнє та зовнішнє освітлення, як правило, належать до третьої категорії надійності електропостачання.

Наявність на підприємстві значної кількості споживачів першої категорії висуває підвищені вимоги до структури системи електропостачання та її резервування. Для забезпечення необхідного рівня надійності в усіх вузлах розподілу електроенергії передбачається секціонування шин. За нормального режиму всі елементи мережі працюють під навантаженням, а в разі виходу з ладу одного з них його функції приймають на себе інші елементи системи шляхом перерозподілу потужності з урахуванням допустимих перевантажень.

Вибір силового електрообладнання, апаратів захисту, керування та сигналізації, а також конструктивного виконання живильних і розподільних мереж здійснюється на основі розрахункових електричних навантажень технологічних, опалювальних, освітлювальних та інших споживачів.

Технічні параметри обладнання визначаються його функціональним призначенням, вимогами безпеки, показниками надійності, зручністю технічного

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						14
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

обслуговування, можливістю оперативного забезпечення запасними частинами, необхідним резервом потужності, економічною ефективністю та досвідом експлуатації аналогічних технічних рішень.

Для електрообладнання, що встановлюється у вибухонебезпечних зонах, рівень вибухозахисту обирається відповідно до класу вибухонебезпечної зони. Конкретний вид вибухозахищеного виконання визначається категорією та групою вибухонебезпечної суміші, для роботи в середовищі якої призначене обладнання.

Електродвигуни змінного струму, що використовуються на підприємствах даного типу, переважно виготовляються на номінальні напруги 380 В, 6 кВ та 10 кВ.

					ET і EE 4815.023.000 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 найважливіших етапів проектування систем електропостачання промислових підприємств, оскільки саме від його результатів залежить вибір основного електротехнічного обладнання та параметрів електричних мереж. Величини навантажень використовуються для визначення перерізів провідників, потужності трансформаторів, параметрів комутаційної апаратури, пристроїв захисту та інших елементів системи електропостачання.

Неточне визначення розрахункових навантажень може негативно вплинути як на технічні характеристики, так і на економічну ефективність системи. Завищені значення призводять до необґрунтованого збільшення перерізів кабельних і шинних ліній, вибору трансформаторів більшої потужності та встановлення обладнання з надлишковими параметрами. У результаті зростають капітальні витрати, погіршуються техніко-економічні показники проекту та знижується ефективність використання інвестиційних ресурсів.

Водночас заниження розрахункових навантажень може стати причиною перевантаження електрообладнання, погіршення режимів роботи мережі та зниження надійності електропостачання. Тривала робота струмоведучих елементів і трансформаторів в умовах перевантаження спричиняє прискорене старіння ізоляції, підвищення втрат електроенергії та скорочення терміну служби обладнання.

З огляду на це, визначення електричних навантажень є одним із вирішальних завдань під час проектування, модернізації та подальшої експлуатації систем електропостачання промислових об'єктів.

У практиці електротехнічного проектування застосовується декілька методів розрахунку електричних навантажень. Вибір конкретного підходу залежить від

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

низки факторів, серед яких:

- повнота та достовірність вихідної інформації;
- місце розрахункового вузла в структурі системи електропостачання;
- кількісний і якісний склад електроприймачів;
- режим роботи обладнання та особливості технологічного процесу;
- необхідна точність отриманих результатів.

Під час розроблення даного проєкту для визначення розрахункових навантажень використовується метод упорядкованих діаграм. Цей метод широко застосовується при створенні технічної та робочої документації систем електропостачання промислових підприємств і вважається одним із найбільш обґрунтованих для розрахунку навантажень виробничих споживачів.

Сутність методу полягає у визначенні розрахункового активного навантаження на різних рівнях системи електропостачання за допомогою середньої потужності групи електроприймачів та коефіцієнта максимуму, який враховує імовірність одночасної роботи окремих споживачів у режимі найбільшого навантаження. Такий підхід дозволяє отримати реалістичні значення розрахункової потужності та забезпечити раціональний вибір обладнання електричних мереж.

Розрахункове активне навантаження електроприймачів на всіх ступенях живильних і розподільних мереж визначається як добуток середньої потужності навантаження та коефіцієнта максимуму, що характеризує режим роботи групи електроприймачів у період найбільшого електроспоживання:

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

Тому вводимо розрахунковий коефіцієнт навантаження K_p , що визначаємо з таблиці П. 5. [1] :

$$K_p = f(n_E, K_{и гр. взв.}).$$

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

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						17
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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 (зварювальні машини шовного зварювання й транспортне-підйомно-транспортне встаткування), до номінальної потужності у кВт по вираженню:

$$P_H = P_{\text{пасп}} \sqrt{P_B} = 1250 \cdot \sqrt{0,25} = 625 \text{ кВт}$$

$$P_H = S_H \cdot \cos \phi \sqrt{P_B} = 560 \cdot 0,35 = 196 \text{ кВт}$$

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

На першому етапі визначаємо сумарну номінальну потужність вузла навантаження:

$$\sum P_{Hi} = 6687 \text{ кВт.}$$

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

$$P_{cmi} = P_{Hi} \cdot K_{Hi},$$

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

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

$$P_{cm1} = P_{H1} \cdot K_{H1} = 620 \cdot 0,35 = 217 \text{ кВт};$$

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

$$Q_{cm1} = P_{cm1} \cdot \tan \phi_1 = 217 \cdot 1,17 = 253 \text{ квар.}$$

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

$$\sum P_{cmi} = 3420 \text{ кВт}; \sum Q_{cmi} = 3298 \text{ квар.}$$

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						18
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

$$K_{в.гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{змi}}{\sum_{i=1}^m P_{нi}} = \frac{3420}{6508} = 0,52$$

Результат зводимо в таблицю 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:

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

.

Таблиця 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 p, А
	Найменування характерних груп ЕП	В шт. п	Номінальна (встан.) потужність, кВт			Коеф. викор.	cosφ	tgφ	Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , кВар						
			Одного ЕП Р _{nmin} \Р _{nmax}	Загальна Р _n	Потужність при ПВ=1											
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Центрифуги	50	5\50	620,00	620,00	0,35	0,65	1,17	217,00	253,70						
2	Мішалки, змішувачі	230	0,5\10	800,00	800,00	0,35	0,65	1,17	280,00	327,36						
3	Вентилятори	70	5\20	580,00	580,00	0,75	0,80	0,75	435,00	326,25						
4	Насоси, компресори	15	10\200	2200,00	2200,00	0,75	0,80	0,75	1650,00	1237,50						
5	Крани, тельфери, ПВ=25%	70	5\50	1250,00	625,00	0,18	0,45	1,98	112,50	223,26						
6	Крани, тельфери, ПВ=40%	50	5\50	850,00	537,59	0,18	0,45	1,98	96,77	192,03						
7	Свар. маш. шовного зварювання, S _n , кВА	45	10\40	560,00	196,00	0,30	0,35	2,68	58,80	157,37						
8	Елеватори. Конвейнры зблоковані	35	3\50	950,00	950,00	0,60	0,70	1,02	570,00	581,52						
9	Разом силові ЕП:	565	200,00	7810,00	6508,59	0,53			3420,07	3298,99	65,09	0,75	2565	2474,	3563,8	5144,04
10	Освітлювальні ЕП:				179,40		0,95	0,33					187,47	61,62	197,34	284,84
11	Усього по цеху:				6687,99								2752,	2535,8	3742,5	5401,96

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

Р _p +Р _{po}	Q _p +Q _{po}	S _p	J=S _p /F	S _{нтр}	В	N _{min}	N _{опт}	Q _t	Q _{нк1}	Q _{нк1'}	Q _{нк1} спр	Q неск	j	Q _{нк2}	Q _{нк} *N _{опт}
2752,52	2535,86	3742,59	0,33	1600,00	0,70	2,46	3,00	847,36	1688,50	562,83	600,00	735,86	0,44	1376,14	1800,00

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

Цю формулу використовують, якщо виконується умова:

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

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{н1}}{P_{н\max}} = \frac{2 \cdot 6508}{200} = 65$$

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 $n_{\text{Еф}}=65$ і $K_{и\text{ гр вЗВ}} = 0,5$

$$K_p = 0,75$$

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

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

$$P_p = 0,75 \cdot 3420 = 2565 \text{ кВт}$$

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

$$Q_p = 0,75 \cdot 3298 = 2474 \text{ квар}$$

Вважаємо повне навантаження від силових електроприймачів:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{2565^2 + 2474^2} = 3563, \text{ кВА}$$

І останній етап знаходження розрахункового струму по відомому повному навантаженню:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{3563}{1.73 \cdot 0.4} = 5144 \text{ А.}$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.023.000 ПЗ	Лист
						21
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

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

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

$$P_{\text{р.о.}} = P_{\text{н.о.}} \cdot K_{\text{с.о.}} \cdot K_{\text{ПРА}} = 179,4 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 187,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р.о.}} = P_{\text{р.о.}} \cdot \operatorname{tg} \phi = 187,4 \cdot 0,33 = 61 \text{ квар}$$

$$S_{\text{ро}} = \sqrt{P_{\text{ро}}^2 + Q_{\text{ро}}^2} = \sqrt{187^2 + 61^2} = 197 \text{ , кВА}$$

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;

$K_{\text{ПРА}} = 1,1$ для ламп типу ДРЛ (ртутно-кварцеві лампи з виправленою кольоровістю) і ДРН (металогалогенні).

З огляду на особливість освітлювальних приладів, які в основному становлять люмінесцентні лампи, що працюють із пускорегулюючими пристроями, що мають у своєму складі індуктивність і ємність, вираження для знаходження розрахункової реактивної потужності від освітлювальних електроприймачів можна записати в такий спосіб:

Отримуємо такі розрахункові активні та реактивні навантаження силових, освітлювальних ЕП. Ці значення вносяться у відповідні графи таблиці 2.1.

$$P_{\text{р.}\Sigma} = 2752 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р.}\Sigma} = 2535 \text{ квар}$$

$$S_{\text{р.}\Sigma} = 3742 \text{ кВА.}$$

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						22
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ

Сумарну розрахункову потужність конденсаторних батарей низької напруги (НБК), встановлюваних у цеховій мережі, визначають розрахунками по мінімуму наведених витрат у два етапи:

- 1) вибирають економічно оптимальне число цехових трансформаторів;
- 2) визначають додаткову потужність НБК із метою оптимального зниження витрат у трансформаторах і в мережі напругою 6 - 10 кВ підприємства.

Сумарна розрахункова потужність $Q_{\text{нк}}$ НБК складе

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

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

Правильне визначення числа й потужності цехових трансформаторів можливо тільки шляхом техніко-економічних розрахунків з урахуванням наступних факторів: категорії надійності електропостачання споживачів; компенсації реактивних навантажень на напругу до 1 кВ; перевантажувальної здатності трансформаторів у нормальному й аварійному режимах; кроку стандартних потужностей; економічних режимів роботи трансформаторів залежно від графіка навантаження.

Недоцільно встановлювати велика кількість трансформаторів на кожній підстанції незалежно від того, чи є вона цеховою або головною підстанцією всього заводу. Це завжди викликає додаткові капіталовкладення, підвищує річні витрати й, зокрема, втрати енергії, тому що ККД малих трансформаторів нижче, ніж великих. Збільшується витрата активних матеріалів у трансформаторах і апаратах, а також число самих апаратів, ускладнюється схема комутації й, отже, ускладнюється експлуатація таких підстанцій.

При виборі числа й потужності трансформаторів підстанцій рекомендується:

					ЕТ і ЕЕ 4815.023.000 ПЗ	Лист
						23
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1) трансформатори потужністю більше 1000 кВА застосовувати при наявності групи електроприймачів великої потужності (наприклад, електропечей) або значного числа однофазних електроприймачів, а також при наявності електроприймачів із частими піками навантаженнями (наприклад, електрозварювальних установок) і в цехах з високою питомою щільністю навантаження;

2) прагнути до можливо більшої однотипності трансформаторів цехових підстанцій;

3) при двохтрансформаторних підстанціях, а також при однострансформаторних підстанціях з магістральною схемою електропостачання, потужність кожного трансформатора вибирати з таким розрахунком, щоб при виході з ладу одного трансформатора, що залишився в роботі трансформатор міг нести все навантаження споживачів 1-й і 2-й категорій (з обліком припустимих нормальних і аварійних навантажень); при цьому споживачі 3-її категорії можуть тимчасово відключатися. Для цього номінальна потужність трансформаторів двохтрансформаторної підстанції приймається рівної 70% від загального розрахункового навантаження цеху. Тоді при виході з коштує одного із трансформаторів другий на час ліквідації аварії виявляється завантаженим не більше ніж на 140%, що припустимо в аварійних умовах.

Мінімальне число цехових трансформаторів $N_{\min}$ однакової потужності $S_{\text{ном.тр}}$, призначених для живлення технологічно зв'язаних навантажень, визначається по формулі

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

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.

$$N_{\text{т.мін}} = \frac{P_{\text{р.с.}} + P_{\text{р.о.}}}{\beta \cdot S_{\text{н.тр}}} + \Delta N = \frac{2752}{0,7 \cdot 1600} = 2,46 + 0,54 = 3$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.023.000 ПЗ	Лист
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$N_{\text{опт}} = N_{\text{мін}} + m$$

де m - додатково встановлені трансформатори.

При $N_{\text{мін}} = 3$ і $K_3 = 0,8$, $m = 0$, [2]:

$$N_{\text{опт}} = 3 + 0 = 3$$

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

$$Q_T = \sqrt{(\beta \cdot N_{\text{опт}} \cdot S_{\text{н.тр}})^2 - (P_p + P_{\text{р.о.}})^2} = \sqrt{(0,6 \cdot 3 \cdot 1600)^2 - 2752^2} = 847 \text{ квар}$$

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

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 2535 - 847 = 1688 \text{ квар}$$

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

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

$$Q'_{\text{нк1}} = \frac{Q_{\text{нк1}}}{N_{\text{опт}}} = \frac{1688}{3} = 562 \text{ квар}$$

Вибираємо комплектну конденсаторну установку по найближчій стандартній потужності:

Вибираємо УКН - 0,38 - 150УЗ [1]

$$Q'_{\text{нк1дов.}} = 600 \text{ квар.}$$

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ буде складати:

$$Q_{\text{неск}} = (Q_p + Q_{\text{р.о.}}) - Q'_{\text{нк1.СПР}} = 2535 - 3 \cdot 600 = 735 \text{ квар}$$

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						25
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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 $Q_{нк2}$ НБК для даної групи трансформаторів визначаємо:

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

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 $\gamma = 0,44$.

$$Q_{нк2} = Q_{неск} - \gamma \cdot N_{тэ} \cdot S_{нт} = 735 - 0,44 \cdot 3 \cdot 1600 = -1376, \text{ квар}$$

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

$$Q_{нк} = Q_{нк1} = 600 \cdot 3 = 1800 \text{ квар.}$$

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 трьох трансформаторів потужністю $S_{ном} = 1600$ кВА й установці в мережі 0,4 кВ пристроїв, що компенсують, сумарною потужністю 1800 квар.

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Вибір місця встановлення цехових трансформаторних підстанцій є важливим

					ЕТ і ЕЕ 4815.023.000 ПЗ	Лист
						26
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

етапом проєктування систем електропостачання промислових підприємств. Розташування трансформаторів визначається характером і щільністю електричних навантажень, схемою розміщення технологічного обладнання, можливістю встановлення компенсувальних пристроїв безпосередньо в межах виробничого приміщення, а також параметрами виробничого середовища, які формуються особливостями технологічного процесу.

Практичний досвід проєктування, монтажу та експлуатації цехових трансформаторних підстанцій, а також результати численних наукових досліджень свідчать про доцільність розміщення підстанцій максимально наближено до центрів електричних навантажень. Такий підхід забезпечує скорочення протяжності внутрішньоцехових електричних мереж, зменшення витрат провідникових матеріалів та зниження втрат електроенергії під час її передачі до електроприймачів.

У сучасних системах електропостачання перевага надається комплектним трансформаторним підстанціям (КТП), конструкція яких дозволяє виконувати монтаж незалежно від будівельної частини об'єкта та забезпечує високий рівень заводської готовності обладнання. Використання комплектних підстанцій сприяє скороченню термінів монтажних робіт, підвищенню надійності експлуатації та зменшенню витрат на будівництво.

Одним із основних принципів побудови систем електропостачання промислових підприємств є принцип глибокого введення електричної енергії. Його реалізація передбачає підведення електроенергії високої напруги безпосередньо до зон найбільшої концентрації навантажень із подальшим її перетворенням на необхідний рівень напруги поблизу споживачів. Застосування цього принципу дозволяє оптимізувати структуру мережі, підвищити енергоефективність системи та зменшити втрати електроенергії.

Під час вибору місця встановлення комплектної трансформаторної підстанції, кількості та потужності силових трансформаторів необхідно враховувати розрахункові електричні навантаження, категорію надійності електропостачання споживачів, умови навколишнього середовища, а також вимоги щодо безпечної та

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						27
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

безперебійної роботи електрообладнання.

Для електропостачання виробничого цеху доцільним є застосування вбудованої комплектної трансформаторної підстанції. Аналіз виробничих умов показує відсутність факторів, які могли б обмежувати використання такого рішення. Параметри мікроклімату виробничого приміщення та особливості технологічного процесу відповідають вимогам щодо встановлення підстанції безпосередньо в межах цеху.

Використання вбудованої КТП забезпечує підведення напруги понад 1 кВ безпосередньо до місць споживання електроенергії. Завдяки цьому значно скорочується довжина мереж низької напруги, зменшуються витрати на прокладання внутрішньоцехових кабельних ліній та підвищується економічна ефективність системи електропостачання. Додатковою перевагою є зниження втрат активної потужності в розподільних мережах низької напруги.

Для підвищення надійності електропостачання та забезпечення резервування частини навантаження у випадку виходу з ладу одного із силових трансформаторів передбачаються резервні перемички між секціями мережі низької напруги. Їх пропускна здатність приймається на рівні близько 70 % від номінальної потужності трансформатора, що дозволяє підтримувати живлення найбільш відповідальних електроприймачів в аварійних режимах роботи.

У цехових комплектних трансформаторних підстанціях передбачається встановлення трифазних силових трансформаторів з первинною напругою 10 кВ. Як охолоджувальне середовище використовується трансформаторне масло, що забезпечує ефективне відведення тепла та стабільний температурний режим роботи обладнання. Для даної підстанції обрано герметичні масляні трансформатори типу ТМЗ закритого виконання, які характеризуються високою надійністю, мінімальними експлуатаційними витратами та відсутністю необхідності постійного контролю рівня масла під час експлуатації.

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						28
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Вибір схеми внутріцехової мережі напругою до 1 кВ

Одним із найважливіших етапів проєктування внутрішньоцехових систем електропостачання є вибір раціональної схеми розподілу електричної енергії. Від прийнятого технічного рішення залежать надійність роботи електрообладнання, економічна ефективність системи, рівень експлуатаційної безпеки та можливість подальшого розвитку виробництва.

Цехові електричні мережі повинні забезпечувати безперебійне живлення електроприймачів відповідно до вимог їхньої категорії надійності, гарантувати безпечні умови експлуатації обладнання та обслуговування персоналом, характеризуватися високими техніко-економічними показниками й мінімальними експлуатаційними витратами. Крім того, конструктивне виконання мереж має передбачати можливість використання сучасних індустріальних технологій монтажу, що сприяє скороченню термінів будівництва та підвищенню якості монтажних робіт.

Залежно від принципу розподілу електричної енергії внутрішньоцехові мережі поділяються на магістральні та радіальні. Кожна із зазначених схем має свої особливості, переваги та сферу застосування.

Магістральна схема електропостачання є найбільш ефективною в умовах рівномірного розташування електроприймачів на виробничій площі або у випадках, коли обладнання об'єднане спільним технологічним процесом. За такої структури мережі одна живильна магістраль забезпечує передачу електроенергії до групи споживачів, що дозволяє раціонально використовувати електротехнічне обладнання та зменшити протяжність розподільних ліній.

Характерною особливістю магістральних схем є залежність великої кількості споживачів від справності однієї живильної лінії. У разі пошкодження магістралі електропостачання втрачають усі підключені до неї електроприймачі. Для зниження ризику відключення та забезпечення необхідного рівня надійності в мережах напругою 0,4 кВ передбачаються резервні зв'язки між окремими ділянками системи

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						29
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

електропостачання, які дають змогу здійснювати живлення споживачів від суміжних секцій.

Однією з головних переваг магістральної схеми є її економічність. Зменшення кількості комутаційних апаратів, скорочення довжини кабельних трас і спрощення структури мережі дозволяють знизити загальну вартість будівництва та експлуатації електроустановок. Додатковою перевагою є можливість використання комплектних шинопроводів заводського виготовлення, які забезпечують високий ступінь уніфікації та значно скорочують трудомісткість монтажних робіт.

Порівняно з радіальними мережами магістральні схеми характеризуються більшими значеннями струмів короткого замикання. Водночас вони забезпечують менші втрати напруги та активної потужності завдяки більш компактній структурі мережі та скороченню довжини розподільних ліній.

Радіальні схеми електропостачання передбачають підключення кожного електроприймача або окремої групи споживачів до розподільного пристрою низької напруги трансформаторної підстанції за допомогою індивідуальної лінії живлення. Такий принцип побудови мережі є доцільним для підприємств із зосередженими навантаженнями або нерівномірним розміщенням технологічного обладнання в межах виробничих приміщень.

Основною перевагою радіальних схем є високий рівень експлуатаційної надійності. Аварійне пошкодження окремої лінії не впливає на роботу інших електроприймачів, що дозволяє локалізувати несправність та мінімізувати наслідки аварійних ситуацій. Завдяки цьому радіальні мережі широко застосовуються для живлення відповідальних споживачів, перерва в роботі яких може призвести до значних виробничих втрат.

Разом із тим використання радіальних схем потребує більших капіталовкладень. Це обумовлено збільшенням кількості кабельних ліній, комутаційної та захисної апаратури, а також підвищенням трудомісткості монтажних робіт. Крім того, така структура мережі меншою мірою відповідає вимогам індустріалізації будівництва електротехнічних об'єктів.

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						30
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У сучасній практиці проєктування систем електропостачання промислових підприємств широкого поширення набула схема типу «блок трансформатор – магістраль» (БТМ). Особливо ефективним її застосування є у випадках, коли трансформаторні підстанції розміщуються поблизу центрів електричних навантажень.

Реалізація схеми БТМ дозволяє суттєво спростити конфігурацію внутрішньоцехової мережі. У такому випадку комплектна трансформаторна підстанція може функціонувати без окремого розподільного пристрою низької напруги. Від силового трансформатора електроенергія передається безпосередньо до магістрального шинопроводу, який здійснює живлення розподільних шинопроводів або окремих груп електроприймачів.

Використання магістральних шинопроводів забезпечує зменшення кількості електромонтажних з'єднань, підвищує надійність системи, спрощує технічне обслуговування та створює сприятливі умови для подальшої модернізації мережі. Крім того, така структура електропостачання сприяє скороченню капітальних витрат і підвищенню енергоефективності підприємства.

Прийнята схема електропостачання електроприймачів виробничого цеху наведена в графічній частині роботи та відображає взаємне розташування джерел живлення, трансформаторної підстанції, магістральних і розподільних ліній, а також основних груп споживачів електричної енергії.

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

Під час експлуатації систем електропостачання промислових підприємств можуть виникати аварійні та ненормальні режими роботи електричних мереж. Найбільш поширеними з них є перевантаження та короткі замикання, які супроводжуються значним збільшенням струму в струмоведучих елементах електроустановок. Виникнення таких режимів призводить до інтенсивного нагрівання провідників, погіршення стану ізоляції, зниження надійності роботи

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						31
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання та може стати причиною виходу електроустановок з ладу.

Для забезпечення безпечної та безаварійної роботи внутрішньоцехових електричних мереж необхідно передбачати ефективну систему захисту від струмів перевантаження та короткого замикання. Основним завданням захисних пристроїв є своєчасне виявлення пошкодженої ділянки мережі та її автоматичне відключення за мінімально можливий проміжок часу. Це дозволяє локалізувати аварію, запобігти поширенню пошкодження на суміжні елементи системи та зберегти працездатність решти електрообладнання.

Для реалізації захисту цехових електричних мереж застосовуються різні типи комутаційно-захисної апаратури. Найбільш поширеними засобами захисту є плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі та теплові реле, що входять до складу магнітних пускачів. Плавкі запобіжники забезпечують захист електричних кіл від струмів короткого замикання шляхом руйнування плавкої вставки при перевищенні допустимого значення струму. Автоматичні вимикачі виконують функції захисту від перевантажень і коротких замикань, а також можуть використовуватися для оперативних комутацій. Теплові реле призначені переважно для захисту електродвигунів від тривалих перевантажень, що супроводжуються підвищенням температури обмоток і можуть спричинити передчасне старіння ізоляції.

Комплексне застосування зазначених захисних апаратів забезпечує необхідний рівень надійності, безпеки та довговічності роботи внутрішньоцехових електричних мереж і електрообладнання підприємства.

Автомати вибираємо 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, убудованого в шафу,

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						32
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

треба враховувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85.

$$\frac{I_{\text{наб}}}{0,85} \leq I_{\text{ном расц}}$$

Вибір вступного автомата.

Ввідні автомати вибираємо по встановленій потужності цехових трансформаторів з обліком їхнього можливого перевантаження в післяаварійному режимі:

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

$$I_{\text{ном.}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3403 \text{ А}$$

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

$$\frac{I_{\text{наб}}}{0,85} \leq I_{\text{ном расц}}$$

$$4000 \leq 4000$$

Вибираємо автомат ЕО40.

Секційний автомат вибираємо на ступінь нижче ввідного автомату, тобто

Вибираємо автомат типу ЕО25, $I_n=2500 \text{ А}$.

Вибір автоматів для захисту двигунів:

- 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;

					ЕТ і ЕЕ 4815.023.000 ПЗ	Лист
						33
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

$I_{пуск\ мах}$ – 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):

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

$$I_{н.дв.} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,925 \cdot 0,9} = 19,4 \text{ А}$$

Визначаємо пусковий струм двигунів, з урахуванням кратності пускового струму $k_{п} = 6$.

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.}$$

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.} = 6 \cdot 19,4 = 116,4 \text{ А};$$

По розрахункових величинах приймаємо до установки автомат типу ВА-2004/30.

Розрахуємо номінальний струм розчеплювача з урахуванням поправочного коефіцієнта, тому що автомати монтуються в шафах, де погіршується тепловіддача.

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

$$I_{н.розч.} = \frac{19,4}{0,85} = 22,8 \text{ А}$$

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

Встановлюємо неможливість спрацьовування автомата при пуску двигуна:

$$I_{сп.ел.} = 1,25 \cdot I_{пуск}$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.023.000 ПЗ	Лист
						34
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{сн.ел.}} = 1,25 \cdot 22,83 = 145,3 \text{ А.}$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 300А.

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

Оскільки навантаження рівномірно розподілене по площі цеху і рівномірно підключена до розподільних шінопроводів, за розрахункове навантаження ШРА приймаємо розрахункове навантаження ШМА розділену на кількість ШРА (на кожний ШМА підключене 4 ШРА).

					ЕТ і ЕЕ 4815.023.000 ПЗ	Лист
						35
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 Iпik, А	Ip/0,85	Ном.струм розчепл Iном.р., А	Ном.струм автомата Iном.а., А	Тип авт.	Iспрац. расц. кА	Ідл., А ТВЧ	Марка перетин ТВЧ, мм²	Втрати напруги. В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
QF1	ШРА1-АД1	10	19,4	6	116,425	22,83	30	30	ВА-2004/30	0,3	32	АВВГ(4*8)	1,1849
QF2	ШРА1-АД2	13	25,23	6	151,352	29,68	30	30	ВА-2004/30	0,3	32	АВВГ(4*8)	1,5402
QF3	ШРА1-АД3	41	79,56	6	477,341	93,6	100	100	ВА-2004/100	1	100	АВВГ(4*35)	4,8576
QF4	ШМА-ШРА1		124		600	145	630	630	ВА-2004/630	4	630	ШРА-73	
QF5	ШМА-ШРА2		124		600	145	630	630	ВА-2004/630	4	630	ШРА-73	
QF6	ШМА-ШРА3		124		600	145	630	630	ВА-2004/630	4	630	ШРА-73	
QF7	ШМА-ШРА4		124		600	145	630	630	ВА-2004/800	4	630	ШРА-73	
QF8	Ввідний		3403			4000	4000	4000	ЕО40	25	4000	ШМА68-Н	
QF9	Секційний						2500	2500	ЕО25	16			

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.

При розрахунку мережі по нагріванню спочатку вибираємо марку провідника залежно від характеру середовища в цеху, конфігурації цеху й способу прокладки мережі.

До вибору перетинів проводів і кабелів напругою до 1 кВ приступаємо після вибору захисних апаратів, тому що обране за умовою нагрівання перетин струмоведучих частин необхідно перевірити на відповідність захистів за умовою:

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

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:

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

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

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

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{дійсн.}} &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 19,4 \cdot 0,05 \times \\ &\times (0,92 \cdot 0,6 + 0,06 \cdot 0,8) = 1,18 \text{ В} \end{aligned}$$

де I_p – розрахунковий струм;

l - довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний і індуктивний опори кабелю.

					ET і EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						37
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Зробимо розрахунку кабельної лінії для двигуна потужністю 10 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:

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

$$32 \geq 1 \leq 15 \text{ А}$$

Знаходимо, що необхідні умови виконуються. Тому приймаємо до установки кабель типу АВВГ перетином 4*8 мм², $I_{\text{дл доп}} = 32 \text{ А}$.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.3.

Аналогічно вибираємо перетин проводів до інших двигунів.

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

Перевіряємо обрані кабелі по втраті напруги:

Всі розрахунки зведені в таблицю 2.3.

2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання в електричних мережах напругою до 1 кВ є обов'язковим етапом проєктування систем електропостачання. Отримані результати використовуються для оцінки працездатності та надійності електрообладнання в аварійних режимах, а також для перевірки правильності вибору комутаційної та захисної апаратури.

Основним завданням розрахунку є визначення значень струмів короткого замикання, необхідних для перевірки автоматичних вимикачів за вимикаючою здатністю, оцінки термічної та електродинамічної стійкості шинопроводів і струмоведучих елементів мережі, а також аналізу чутливості пристроїв захисту. Коректне визначення аварійних струмів дозволяє забезпечити надійну роботу

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

системи електропостачання та своєчасне відключення пошкоджених ділянок мережі.

Для перевірки комутаційних апаратів за умовами відключення визначається найбільше можливе значення струму трифазного короткого замикання, яке відповідає найбільш важкому аварійному режиму. Оцінка ефективності та чутливості захисних пристроїв здійснюється за мінімальним струмом однофазного короткого замикання, який, як правило, виникає в найбільш віддалених від джерела живлення точках мережі та характеризується найменшим рівнем аварійного струму.

Розрахунок струмів короткого замикання в мережах низької напруги має низку особливостей, що відрізняють його від аналогічних розрахунків у мережах високої напруги. Насамперед усі параметри визначаються в іменованих одиницях, що дозволяє безпосередньо використовувати фактичні характеристики елементів електричної мережі.

Під час виконання розрахунків необхідно враховувати як активні, так і реактивні складові опору всіх елементів кола короткого замикання. До складу розрахункової схеми включаються силові трансформатори, кабельні та шинні лінії, трансформатори струму, струмові розчіплювачі автоматичних вимикачів, контактні з'єднання, комутаційна апаратура, а також перехідний опір електричної дуги, що виникає в місці пошкодження.

Вплив асинхронних електродвигунів на величину струму короткого замикання допускається не враховувати у випадках, коли сумарний номінальний струм усіх підключених двигунів не перевищує 10 % від початкового значення періодичної складової струму короткого замикання, визначеної без урахування їхнього внеску.

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

Методика розрахунку струмів короткого замикання включає декілька послідовних етапів. На першому етапі формується розрахункова схема електропостачання, на якій позначаються джерела живлення, елементи мережі та

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						39
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

точки можливого виникнення коротких замикань. На основі цієї схеми будується схема заміщення, де кожний елемент системи представлений відповідними активними та індуктивними опорами.

Наступним етапом є визначення параметрів схеми заміщення. Для цього розраховуються опори прямої послідовності, нульової послідовності та повний опір кола «фаза – нуль», які використовуються для подальшого визначення аварійних струмів.

Завершальним етапом розрахунку є визначення значень струмів трифазного та однофазного короткого замикання в контрольних точках мережі. Отримані результати використовуються для вибору та перевірки електротехнічного обладнання, забезпечення селективності захистів і оцінки надійності роботи системи електропостачання в аварійних режимах.

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						40
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

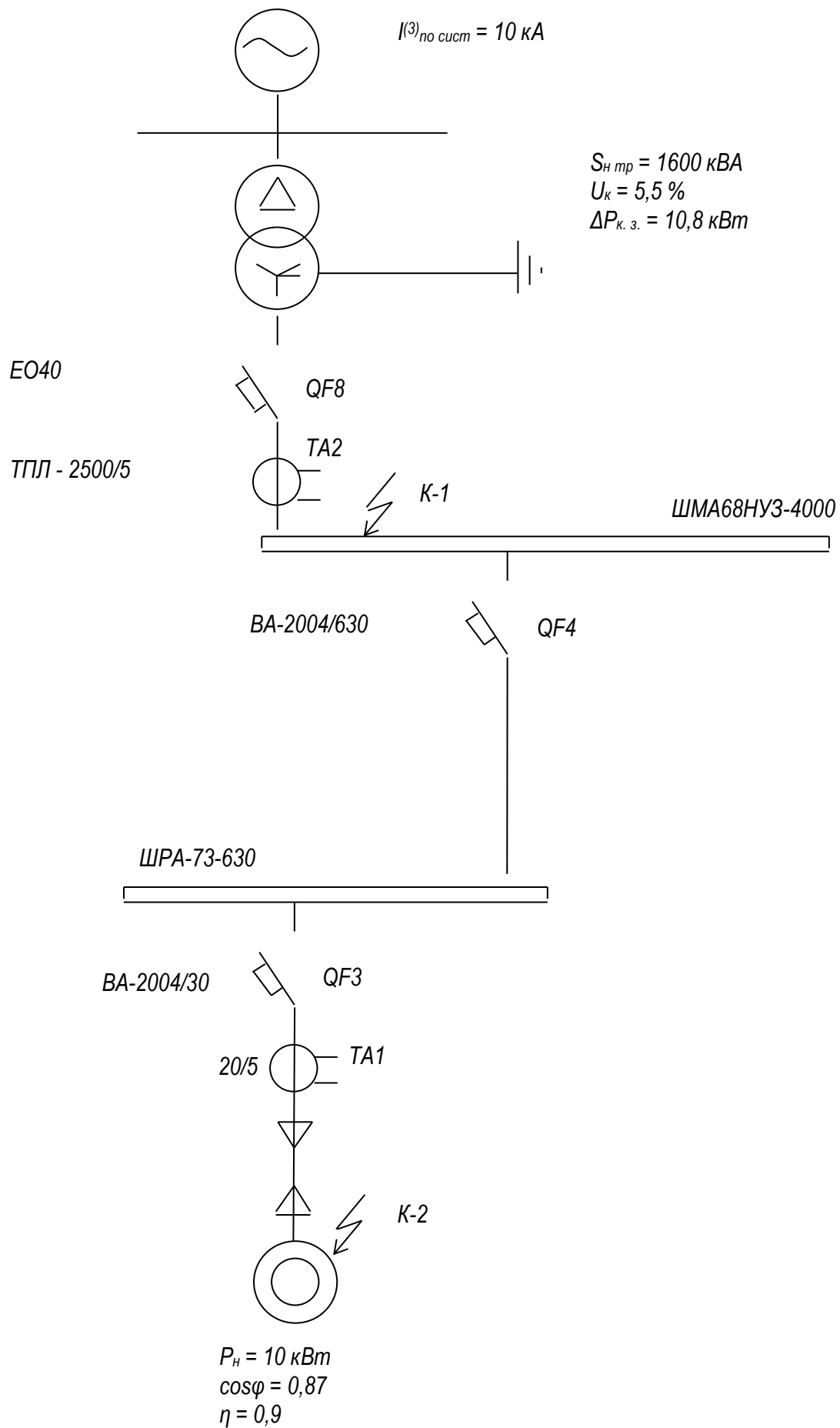


Рис. 2.1. Розрахункова схема

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ і ЕЕ 4815.023.000 ПЗ

Лист

41

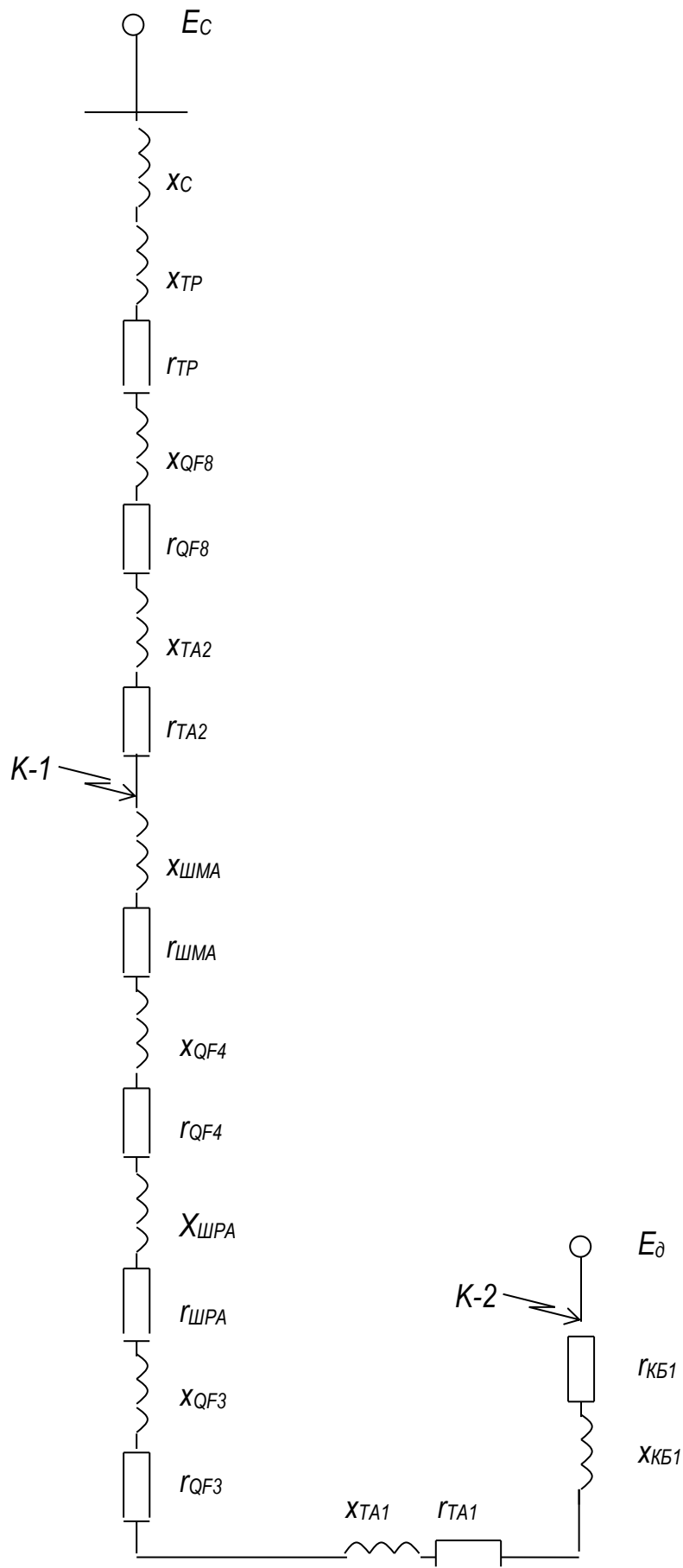


Рис.2.2. Схема заміщення

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ і ЕЕ 4815.023.000 ПЗ

Лист

42

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:

$$I_{ПО}^{(3)} = \frac{U_{cp\,nn}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}},$$

де $U_{cp\,nn}$ - 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:

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

де $U_{cp\,вн}$ - 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.

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						43
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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*8) мм ² (К6) (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	1,26	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:

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

де $\Delta P_{кз}$ - 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; $U_k = 5,5\%$, $\Delta P_{кз} = 10,8$ кВт.

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

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

$$r_{1\Sigma} = 0,7 + 0,14 + 0,05 = 0,89 \text{ МОм,}$$

$$x_{l\Sigma} = 0,8 + 5,5 + 0,08 + 0,07 = 6,45 \text{ мОм.}$$

$$I_{\text{по}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,89^2 + 6,45^2}} = 34 \text{ кА}$$

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

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

$$I_{\text{н до } \Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{\text{кз}}^{(3)} \quad 124 \leq 0,1 \cdot 34000$$

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:

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

$$\text{де } r_{1\Sigma}'' = r_{1\Sigma}' + (r_{\phi-o.Ш1} + r_{\phi-o.Ш2} + r_{\phi-o.КБ})$$

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + r_{1Ш1} + r_{A4} + r_{1Ш2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1KB}$$

$$x_{1\Sigma}'' = x_{1\Sigma}' + (x_{\phi-o.Ш1} + x_{\phi-o.Ш2} + x_{\phi-o.КБ});$$

$$x_{1\Sigma}' = x_{1\Sigma} + x_{1Ш1} + x_{A4} + x_{1Ш2} + x_{TA} + x_{1KB};$$

Опору нульової послідовності: активні та індуктивні опори нульової послідовності понижувальних трансформаторів, обмотки яких з'єднані за схемою Δ/Y при к. з. у мережі низької напруги приймаємо реальні опори прямої послідовності.

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						45
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо електропостачання електроустановки напругою до 1 кВ здійснюється від енергосистеми через понижувальні трансформатори, то значення періодичної складової струму однофазного К. З. від системи ($I_{по}^{(1)}$) у кілоамперах розраховуємо по наступній виразу:

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

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3 \cdot 400}}{\sqrt{(2 \cdot 114.7 + 59.2)^2 + (2 \cdot 27.4 + 17)^2}} = 2.32 \text{ кА}$$

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

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

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

$$r_{1\Sigma} = 0,7 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,64 + 20 \cdot 0,15 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 0,92 = 27,2 \text{ мОм}$$

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

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\phi-H.III1} + r_{\phi-H.III2} + r_{1KB}) = 27,1 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 113,5 \text{ мОм};$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + (x_{\phi-H.III1} + x_{\phi-H.III2} + x_{1KB}) = 16,6 + (0,055 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 20 \cdot 0,15) = 27,4 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} r_{0\Sigma} &= r_{0T} + r_{A12} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A8} + r_{0III2} + r_{A5} + r_{TA1} + r_{0KB} = \\ &= 0,7 + 0,14 + 0,05 + 0,036 \cdot 35 + 0,63 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 \\ &= 59,22 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{0\Sigma} &= x_{0T} + x_{A12} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A8} + x_{0III2} + x_{A5} + x_{TA1} + x_{0KB} = \\ &= 5,5 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,043 + 0,17 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,075 = \\ &= 16,3 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Перевірка автоматів по граничному струмі відключення:

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						46
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$$65 \geq 34 \text{ кА}$$

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

Перевірка автоматів на чутливість захистів:

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

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

$$2,32 \geq 1,25 \cdot 1$$

Автомат задовольняє умові перевірки на чутливість захистів.

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						47
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Однією з найважливіших умов ефективного функціонування систем електропостачання є забезпечення належної якості електричної енергії. Параметри електроенергії, що подається до електроприймачів, повинні відповідати встановленим нормативним вимогам, оскільки від цього залежить надійність роботи технологічного обладнання, рівень енергетичних втрат та економічність виробничих процесів. Відхилення показників якості електроенергії від допустимих значень може призвести до порушення режимів роботи електроустановок, зниження продуктивності обладнання та скорочення строку його служби.

Відповідно до вимог нормативних документів у сфері електроенергетики, усі елементи системи електропостачання, починаючи від шин джерела живлення і закінчуючи електроприймачами, повинні бути перевірені щодо відповідності допустимим рівням напруги. Під час проведення таких перевірок враховуються режими роботи мережі та фактичні значення напруги на шинах центру живлення. У випадках, коли розрахункові або фактичні відхилення перевищують встановлені нормативами межі, необхідно передбачати технічні засоби регулювання напруги та заходи щодо покращення якості електроенергії.

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

$$U = \frac{U_{\phi} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\%$$

Для мереж низької напруги нормативними документами встановлено допустиме відхилення напруги в межах $\pm 5\%$ від номінального значення. Гранично допустимі відхилення для мереж низької та високої напруги з номінальною напругою до 20 кВ можуть досягати $\pm 10\%$. Дотримання зазначених вимог є необхідною умовою забезпечення нормального функціонування

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						48
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

електрообладнання та підтримання стабільності технологічних процесів.

Наслідки відхилення напруги мають як енергетичний, так і виробничий характер. Енергетична складова пов'язана зі збільшенням втрат електроенергії в електричних мережах, трансформаторах та електричних машинах. Виробнича складова проявляється у погіршенні технічних характеристик обладнання, зниженні продуктивності технологічних установок і зменшенні ефективності праці персоналу.

Особливо чутливими до зміни рівня напруги є освітлювальні установки та конденсаторні батареї. Зменшення напруги навіть на незначну величину може суттєво впливати на освітленість виробничих приміщень. Наприклад, зниження напруги на 5 % призводить до зменшення світлового потоку ламп розжарювання приблизно на 20 %. Водночас підвищення напруги на 10 % викликає різке скорочення терміну служби таких ламп, який може зменшитися майже у чотири рази порівняно з номінальним режимом роботи.

Для оцінки якості електропостачання визначається величина відхилення напруги на вторинній стороні силового трансформатора. Отримане значення використовується для перевірки відповідності параметрів мережі нормативним вимогам та обґрунтування необхідності застосування засобів регулювання напруги:

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

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 4815.023.000 ПЗ	Лист
						49
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, відповідно втрати короткого замикання, кВт, і 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:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{неск}^2}}{N_{min}} = \frac{\sqrt{2752^2 + 735^2}}{3} = 949 \text{ кВА}$$

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:

$$\begin{aligned} \Delta U_m &= \beta \cdot (R_m \cdot \cos \phi + X_m \cdot \sin \phi) = \frac{S_p}{S_{нтр}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{нтр}} \cdot \cos \phi + U_{кз} \cdot \sin \phi \right) = \\ &= \frac{949}{1600} \cdot \left(\frac{10,8}{1600} \cdot 0,98 + 0,055 \cdot 0,19 \right) = 0,010 = 1 \% \end{aligned}$$

Визначаємо відхилення напруги на стороні НН трансформатора з урахуванням заданих відхилень при включенні його відгалуженням $+2,5\%$.

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 1 = 3 \text{ \%}.$$

Отримане значення перебуває в межах норми.

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

У процесі проектування системи електропостачання вузла електричних навантажень цеху хімічного виробництва передбачено використання сучасних інженерних підходів, спрямованих на підвищення надійності, енергоефективності та безпеки експлуатації електроустановок. Під час розроблення проєкту враховано можливість застосування сучасного електротехнічного обладнання вітчизняного виробництва, яке відповідає чинним нормативним вимогам та забезпечує необхідні техніко-економічні показники системи.

У роботі послідовно розглянуто основні етапи проектування внутрішньоцехової системи електропостачання, починаючи з аналізу технологічного процесу та визначення електричних навантажень і завершуючи вибором схеми електропостачання та основного силового обладнання. Результатом виконаних розрахунків і технічних обґрунтувань стала розробка однолінійної схеми електропостачання цеху, яка наведена в графічній частині роботи.

Дослідження особливостей технологічного процесу та режимів роботи виробничого обладнання показало, що переважна більшість електроприймачів належить до першої категорії за надійністю електропостачання, оскільки порушення їх електроживлення може призвести до аварійних ситуацій, пошкодження обладнання або порушення технологічного процесу. Це обумовлює необхідність застосування додаткових заходів резервування та підвищених вимог до надійності електропостачання відповідальних електроприймачів.

Для забезпечення електроенергією споживачів вузла навантаження прийнято рішення щодо встановлення комплектної трансформаторної підстанції типу 2КТП-1600/10/0,4. Обрана підстанція забезпечує покриття розрахункових навантажень підприємства та створює необхідний резерв потужності для стабільної роботи електрообладнання. У нормальному режимі експлуатації коефіцієнт завантаження силових трансформаторів становить 0,79, що відповідає рекомендованим техніко-

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						51
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

економічним показникам і забезпечує ефективне використання встановленої потужності.

Електроживлення цехової трансформаторної підстанції здійснюється від мережі середньої напруги 10 кВ. Розподіл електроенергії між внутрішньоцеховими споживачами виконується мережею низької напруги 0,4/0,23 кВ, що забезпечує необхідні параметри живлення силових та освітлювальних електроприймачів відповідно до вимог технологічного процесу й чинних нормативних документів.

У мережі 0,4 кВ передбачена установка конденсаторних установок сумарною потужністю 1800 квар (3 УКК - 0,38 – 600-150УЗ

Для живлення споживачів електроенергією вважаємо за доцільне застосувати вбудовану КТП.

Для розподілу електроенергії по території цеху запропонована схема блок трансформатор-магістраль. До магістрального шінопроводу ШМА68-НУЗ-4000 підключені чотири розподільних шінопровода ШРА-73-630.

Для захисту встаткування від перевантаження й струмів короткого замикання використовуються автоматичні вимикачі типу ЕО, ВА.

Відхилення напруги в проектованій мережі перебуває в припустимих межах.

Всі завдання поставлені в даній роботі - успішно вирішені.

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні положення з охорони праці

Охорона праці є важливою складовою під час проєктування систем електропостачання (СЕП) промислових підприємств, особливо об'єктів хімічної промисловості, де експлуатація електрообладнання відбувається в умовах підвищеної небезпеки. Під час проєктування вузла навантаження цеху хімічної промисловості необхідно враховувати вимоги нормативних документів щодо безпечної експлуатації електроустановок, запобігання виникненню аварійних ситуацій, пожеж, вибухів та ураження персоналу електричним струмом.

Основними нормативними документами, що регламентують питання охорони праці при експлуатації електроустановок, є:

- Закон України «Про охорону праці»;
- Правила улаштування електроустановок (ПУЕ);
- Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів;
- ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
- НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»;

Особливістю хімічних виробництв є наявність агресивного середовища, підвищеної вологості, вибухо- та пожежонебезпечних речовин, що значно підвищує вимоги до безпеки експлуатації електрообладнання. У таких умовах необхідно забезпечити високий рівень електробезпеки, ефективну систему заземлення, застосування вибухозахищеного обладнання, а також використання автоматичних засобів захисту.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами під час експлуатації вузла навантаження є:

- ураження електричним струмом;

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- виникнення коротких замикань;
- пожежі внаслідок перегріву електрообладнання;
- вплив електромагнітних полів;
- шум та вібрація від роботи силових трансформаторів;
- наявність токсичних та вибухонебезпечних речовин у виробничих приміщеннях.

Під час проєктування СЕП необхідно передбачити технічні та організаційні заходи, спрямовані на мінімізацію впливу зазначених факторів на персонал та навколишнє середовище.

3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

У процесі експлуатації електротехнічного обладнання вузла навантаження працівники можуть піддаватися дії різноманітних небезпечних факторів. Найбільш небезпечним фактором є електричний струм. Ураження електричним струмом може виникнути при прямому дотику до струмовідних частин, пошкодженні ізоляції або появі напруги на металевих неструмовідних частинах обладнання.

Ступінь небезпеки ураження електричним струмом залежить від величини струму, тривалості його дії, шляху проходження через тіло людини та умов навколишнього середовища. У приміщеннях хімічної промисловості небезпека підвищується через наявність вологи, струмопровідного пилу та агресивних речовин.

Іншим небезпечним фактором є можливість виникнення коротких замикань. При короткому замиканні виникають великі струми, що призводять до значного тепловиділення, руйнування ізоляції, виникнення електричної дуги та пожежі. Особливо небезпечними є короткі замикання у вибухонебезпечних зонах, де можливе займання парів легкозаймистих рідин або газів.

Під час роботи силових трансформаторів та електродвигунів виникає шум і вібрація, які негативно впливають на здоров'я працівників. Тривалий вплив шуму

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						54
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

може викликати погіршення слуху, підвищену втому та зниження працездатності персоналу.

У виробничих приміщеннях хімічної промисловості також можливе утворення токсичних випарів та газів. При аварійних ситуаціях або недостатній вентиляції концентрація шкідливих речовин може перевищувати допустимі норми, що створює небезпеку для життя та здоров'я працівників.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно виконувати:

- контроль стану ізоляції електрообладнання;
- перевірку справності захисного заземлення;
- своєчасне технічне обслуговування електроустановок;
- контроль параметрів мікроклімату;
- регулярний інструктаж та навчання персоналу.

3.3 Заходи забезпечення електробезпеки

Електробезпека є одним із головних аспектів охорони праці при експлуатації систем електропостачання. Для захисту персоналу від ураження електричним струмом у проєкті передбачено комплекс технічних та організаційних заходів.

Одним із основних заходів є застосування захисного заземлення. Усі металеві неструмовідні частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою при пошкодженні ізоляції, повинні бути приєднані до контуру заземлення. Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику до безпечного рівня та сприяє швидкому спрацюванню захисних апаратів.

Для вузла навантаження цеху хімічної промисловості рекомендується використовувати систему заземлення типу TN-S, у якій нульовий робочий та захисний провідники розділені по всій довжині мережі. Це забезпечує підвищений рівень безпеки та надійності роботи електроустановки.

З метою захисту від струмів короткого замикання та перевантаження у схемі передбачено використання автоматичних вимикачів, плавких запобіжників та

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						55
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

релейного захисту. Автоматичне відключення пошкодженої ділянки мережі дозволяє запобігти аваріям та пошкодженню обладнання.

Для захисту персоналу також використовуються:

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

Особливу увагу слід приділяти організації безпечного виконання робіт в електроустановках. Роботи повинні проводитися за нарядом-допуском або розпорядженням із дотриманням вимог безпеки. До виконання робіт допускаються лише працівники, які пройшли навчання, інструктаж та перевірку знань з електробезпеки.

Під час обслуговування електроустановок необхідно:

- відключати обладнання перед проведенням ремонту;
- вивішувати попереджувальні плакати;
- перевіряти відсутність напруги;
- встановлювати переносні заземлення;
- забезпечувати контроль з боку відповідальної особи.

Ефективним заходом підвищення безпеки є автоматизація процесів контролю та дистанційне керування комутаційними апаратами, що дозволяє мінімізувати перебування персоналу у небезпечних зонах.

3.4 Пожежна та вибухова безпека

Цехи хімічної промисловості належать до об'єктів підвищеної пожежної та вибухової небезпеки. Причинами виникнення пожеж можуть бути короткі замикання, перевантаження електричних мереж, іскріння контактів, перегрів кабельних ліній та несправність електрообладнання.

Для забезпечення пожежної безпеки в проєкті передбачено:

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						56
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- використання кабелів з негорючою ізоляцією;
- встановлення автоматичних вимикачів;
- застосування вибухозахищеного електрообладнання;
- організацію системи вентиляції;
- встановлення засобів пожежогасіння.

У приміщеннях з вибухонебезпечним середовищем необхідно використовувати електрообладнання у вибухозахищеному виконанні. Конструкція такого обладнання виключає можливість займання навколишнього середовища від електричної іскри або нагрітих поверхонь.

Для гасіння електроустановок під напругою застосовуються вуглекислотні та порошкові вогнегасники. Використання води або пінних вогнегасників для гасіння електрообладнання під напругою забороняється.

На підприємстві повинні бути розроблені:

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

Важливим заходом є забезпечення належного технічного стану електромереж та регулярний контроль температури контактних з'єднань, стану кабельних ліній і комутаційних апаратів.

Для запобігання накопиченню статичної електрики необхідно передбачити заземлення технологічного обладнання та металевих конструкцій. Статичні заряди можуть стати джерелом займання вибухонебезпечних сумішей.

3.5 Санітарно-гігієнічні умови праці

Важливим елементом охорони праці є забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов у виробничих приміщеннях. У цехах хімічної промисловості необхідно підтримувати нормативні параметри мікроклімату, освітлення, вентиляції та рівня шуму.

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						57
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура повітря у виробничих приміщеннях повинна відповідати санітарним нормам та залежить від категорії робіт. Для приміщень електротехнічного призначення рекомендується підтримувати температуру в межах 18–22 °С та відносну вологість 40–60 %.

Для забезпечення нормативного повітрообміну у приміщеннях передбачено припливно-витяжну вентиляцію. Вентиляційні системи повинні забезпечувати видалення шкідливих речовин, тепла та надлишкової вологи.

Освітлення робочих місць має відповідати вимогам ДБН та забезпечувати безпечне виконання робіт. У виробничих приміщеннях використовується загальне та аварійне освітлення. Аварійне освітлення забезпечує можливість безпечної евакуації персоналу у разі зникнення основного живлення.

Рівень шуму від роботи електрообладнання не повинен перевищувати допустимих значень. Для зниження шуму використовуються:

- звукоізоляційні конструкції;
- амортизуючі опори;
- шумопоглинальні матеріали.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до умов праці. До основних засобів індивідуального захисту належать:

- спецодяг;
- захисні каски;
- окуляри;
- респіратори;
- діелектричні засоби.

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

У результаті аналізу умов праці під час проектування системи електропостачання вузла навантаження цеху хімічної промисловості встановлено, що основними небезпечними факторами є ураження електричним струмом, виникнення пожеж та вибухів, дія шкідливих речовин, шуму та вібрації.

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						58
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення безпечної експлуатації електроустановок у проєкті передбачено комплекс заходів з охорони праці, зокрема:

- застосування захисного заземлення та автоматичного відключення;
- використання вибухозахищеного електрообладнання;
- організація пожежного захисту;
- забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних умов;
- використання засобів 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 хімічної промисловості.

					<i>ET i EE 4815.023.000 ПЗ</i>	Лист
						59
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано проектування системи електропостачання вузла навантаження цеху хімічної промисловості відповідно до вимог чинних нормативних документів, сучасних принципів енергоефективності та забезпечення надійності електропостачання промислових споживачів.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу цеху та складу електричних навантажень. Визначено основні групи електроспоживачів, їх характеристики та категорії надійності електропостачання. Встановлено, що безперервність роботи технологічного обладнання є важливою умовою стабільного функціонування виробництва, що обумовлює підвищені вимоги до системи електропостачання.

На основі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання, визначено активну, реактивну та повну потужності споживачів. Отримані результати стали основою для вибору раціональної схеми електропостачання та основного електротехнічного обладнання.

У роботі обґрунтовано вибір схеми електропостачання цеху, яка забезпечує необхідний рівень надійності, економічності та безпеки експлуатації. Виконано вибір силових трансформаторів, кабельних ліній і розподільчих пристроїв з урахуванням розрахункових навантажень та режимів роботи електрообладнання.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках системи електропостачання. За результатами розрахунків здійснено вибір комутаційної апаратури та засобів релейного захисту, що забезпечують своєчасне виявлення та локалізацію аварійних режимів роботи. Перевірено відповідність обраного обладнання вимогам щодо термічної та електродинамічної стійкості.

З метою підвищення ефективності використання електричної енергії виконано розрахунок компенсації реактивної потужності. Запропоновані заходи дозволяють підвищити коефіцієнт потужності електроустановки, зменшити втрати

					<i>ET i EE 4815.023.000 ПЗ</i>	Лист
						60
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

електроенергії в мережах та знизити навантаження на силові трансформатори й електричні мережі.

У розділі охорони праці розглянуто питання забезпечення безпечних умов експлуатації електроустановок цеху хімічної промисловості. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, розроблено комплекс організаційних і технічних заходів щодо захисту персоналу від ураження електричним струмом, а також забезпечення пожежної та вибухової безпеки виробництва.

Результати виконаної роботи підтверджують можливість створення надійної та економічно ефективної системи електропостачання вузла навантаження цеху хімічної промисловості. Запропоновані технічні рішення забезпечують безперебійне електропостачання технологічного обладнання, відповідають вимогам нормативних документів та сприяють підвищенню енергоефективності виробництва.

Таким чином, поставлену мету кваліфікаційної роботи досягнуто, а всі поставлені завдання виконано в повному обсязі. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування нових або модернізації існуючих систем електропостачання підприємств хімічної промисловості з метою підвищення їх надійності, безпеки та ефективності експлуатації.

					<i>ET i EE 4815.023.000 ПЗ</i>	Лист
						61
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. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). — Харків : Форт, 2017. — 760 с.
3. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. / Рудницький В.Г. — Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. — 280 с.
4. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. — Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. — 166 с.
5. ДСТУ EN 61936-1:2017. Силові електроустановки змінного струму напругою понад 1 кВ. Загальні вимоги.
6. ДСТУ EN 50522:2016. Заземлення електроустановок напругою понад 1 кВ змінного струму.
7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. — Київ : Міністерство енергетики України, 2023.
8. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98). — Київ, 2018.
9. Кузнєцов В.Г., Захарченко В.М. Електропостачання промислових підприємств : підручник. — Київ : Каравела, 2018. — 312 с.
10. Жежеленко І.В., Саєнко Ю.Л. Електропостачання промислових підприємств. — Київ : Вища школа, 2017. — 280 с.
11. Гук Ю.Б., Кантан В.В. Проектування систем електропостачання промислових підприємств. — Львів : Новий Світ-2000, 2020. — 384 с.
12. Болюх В.Ф., Щербак Я.В. Розрахунок струмів короткого замикання в електричних мережах : навчальний посібник. — Харків : НТУ «ХП», 2018. — 176 с.

					<i>ET i EE 4815.023.000 ПЗ</i>	Лист
						62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- 13.Биков В.Г., Назаренко Л.А. Компенсація реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств. – Харків: Основа, 2018. 215 с.
- 14.ДСТУ EN 60909-0:2016. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму.
- 15.ДСТУ ІЕС 60076-1:2019. Трансформатори силові. Частина 1. Загальні положення.
- 16.ДСТУ EN 60898-1:2017. Вимикачі автоматичні для захисту від надструмів у побутових і аналогічних установках.
- 17.Кодекс систем розподілу : затверджений постановою НКРЕКП № 310 від 14.03.2018 р.
- 18.Кодекс систем передачі : затверджений постановою НКРЕКП № 309 від 14.03.2018 р.
- 19.Березюк М.Д. Основи охорони праці : підручник. – Київ : Каравела, 2021. – 400 с.
- 20.Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями).
- 21.ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
- 22.ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення.
- 23.Михайлів М.І., Соломчак О.В., Гоголюк П.Ф. Розрахунок електричних навантажень. Навчальний посібник. Івано-Франківськ : Факел, 2003. - 150 с.
- 24.Василега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. / Василега П.О. - Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. - 415 с.
25. Методичні рекомендації по виконанню курсової роботи з дисципліни «Електропостачання промислових підприємств»- Житомир: ЖВІРЕ, 2007. 25с.

					ET i EE 4815.023.000 ПЗ	Лист
						63
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		