

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 коксохімічного цеху металургійної
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 _____ Василь ОЛІНІЙЧУК
(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))

Олінійчук Василь Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

Спеціальність (спеціалізація) 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи

(назва освітньої програми)

1. Тема роботи: Проектування СЕП вузла навантаження коксохімічного
цеху металургійної 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 проектного об'єкту.

2.) Електричні розрахунки.

3.) Охорона праці

5. План роботи

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу споживачів, характеристика їх по безперебійності	25.02.26-10.03.26	
2	Електричні розрахунки	11.03.26-15.04.26	
3	Охорона праці	16.04.26-30.04.26	
4	Розробка 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 _____ Василь ОЛІНІЙЧУК
(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 коксохімічного цеху металургійної промисловості» складається з 62 сторінок, містить 2 рисунків, 4 таблиць, ___ додатків та 23 найменувань використаних джерел.

Метою роботи є проектування системи електропостачання вузла навантаження коксохімічного цеху металургійної промисловості, що забезпечує безперебійне та якісне електропостачання технологічного обладнання відповідно до вимог чинних нормативних документів.

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз технологічного процесу коксохімічного виробництва та визначено склад основних електроспоживачів.

На основі вихідних даних проведено розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання, визначено активну, реактивну та повну потужності споживачів. За результатами розрахунків обґрунтовано вибір схеми електропостачання, виконано вибір потужності та кількості силових трансформаторів, кабельних ліній і розподільчих пристроїв.

У роботі проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках мережі, здійснено вибір комутаційної апаратури. Перевірено вибране обладнання на відповідність вимогам щодо допустимих струмових навантажень, термічної та електродинамічної стійкості. З метою підвищення енергоефективності системи електропостачання виконано розрахунок компенсації реактивної потужності, що дозволяє зменшити втрати електричної енергії та покращити режим роботи електричної мережі підприємства.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці та електробезпеки. Розглянуто заходи щодо захисту персоналу від ураження електричним струмом, а також вимоги пожежної та вибухової безпеки, характерні для коксохімічного виробництва, де використовуються горючі гази та вибухонебезпечні речовини.

У результаті виконання роботи розроблено систему електропостачання вузла навантаження коксохімічного цеху, яка забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання, відповідає сучасним вимогам енергоефективності та безпеки експлуатації електроустановок. Практична цінність роботи полягає у можливості використання запропонованих технічних рішень під час проектування нових або модернізації існуючих систем електропостачання підприємств металургійної та коксохімічної промисловості.

Ключові слова: СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ВУЗОЛ НАВАНТАЖЕННЯ, КОКСОХІМІЧНИЙ ЦЕХ, МЕТАЛУРГІЙНА ПРОМИСЛОВІСТЬ, ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, СИЛОВИЙ ТРАНСФОРМАТОР, КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ, ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.

ABSTRACT

Explanatory note to the bachelor's qualification work on the topic "Design of the power supply system of the load node of the forging and stamping shop of the metalworking industry" consists of 62 pages, contains 2 figures, 4 tables, ___ appendices and 23 names of sources used.

The purpose of the work is to design a power supply system for the load node of the coke-chemical shop of the metallurgical industry, which ensures uninterrupted and high-quality power supply of technological equipment in accordance with the requirements of current regulatory documents.

In the qualification work, an analysis of the technological process of coke-chemical production was performed and the composition of the main electricity consumers was determined.

Based on the initial data, the calculation of the electrical loads of the power supply node was performed, the active, reactive and full power of consumers was determined. According to the results of the calculations, the choice of the power supply scheme was justified, the power and number of power transformers, cable lines and switchgear were selected.

The work includes the calculation of short-circuit currents at characteristic points of the network, the selection of switching equipment. The selected equipment was checked for compliance with the requirements for permissible current loads, thermal and electrodynamic stability. In order to increase the energy efficiency of the power supply system, the calculation of reactive power compensation was performed, which allows reducing electrical energy losses and improving the operation mode of the enterprise's electrical network.

A separate section is devoted to issues of labor protection and electrical safety. Measures to protect personnel from electric shock are considered, as well as fire and explosion safety requirements characteristic of coke-chemical production, where flammable gases and explosive substances are used.

As a result of the work, a power supply system for the load node of the coke-chemical plant was developed, which provides the necessary level of reliability of power supply, meets modern requirements for energy efficiency and safety of operation of electrical installations. The practical value of the work lies in the possibility of using the proposed technical solutions when designing new or modernizing existing power supply systems for enterprises of the metallurgical and coke-chemical industries.

Keywords: POWER SUPPLY SYSTEM, FORGING AND STAMPING SHOP, ELECTRICAL LOAD, POWER TRANSFORMER, REACTIVE POWER COMPENSATION, SHORT-CIRCUIT CURRENTS, ELECTRICAL EQUIPMENT, ELECTRICAL SAFETY.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТУ.....	11
2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	14
2.1 Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ	14
2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	20
2.2.1 Визначення потужності КП за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів.....	21
2.2.2 Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	24
2.3 Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху.....	25
2.4 Вибір схеми внутріцехової мережі напругою до 1 кВ.....	27
2.5 Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань).....	30
2.6 Вибір марки і перетину струмоведучих частин.....	35
2.7 Розрахунок струмів к.з. у мережі напругою до 1 кВ.	37
2.8 Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП	46
2.9 Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження.....	49
3.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	52
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61

					ЕТ і ЕЕ 4815.024.000 ПЗ			
Змн	Арк	П.І.Б.	Підпис	Дата				
Розроб.	Олінійчук				Проектування СЕП вузла навантаження коксохімічного цеху металургійної промисловості	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Кирисов						6	62
						гр. ДЕС-24пр2р		
Н. контр								
Затверд.	Чернюк							

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

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

ВСТУП

Сучасна металургійна промисловість є однією з провідних галузей економіки, яка забезпечує виробництво металопродукції для машинобудування, будівництва, транспорту та інших секторів господарства. Ефективність функціонування металургійних підприємств значною мірою залежить від надійності роботи допоміжних виробництв, серед яких важливе місце займає коксохімічне виробництво. Саме кокс є основним видом палива та відновника в доменному процесі, а тому стабільна робота коксохімічних цехів є необхідною умовою безперервного функціонування металургійного комплексу.

Коксохімічне виробництво характеризується складними безперервними технологічними процесами, значною кількістю потужного електротехнічного обладнання та високими вимогами до надійності електропостачання. У технологічному циклі використовуються компресорні установки, димососи, вентилятори, насоси, механізми транспортування сировини, системи охолодження та автоматизованого керування. Припинення електропостачання навіть на короткий час може призвести до порушення технологічного процесу, значних матеріальних збитків, пошкодження обладнання та виникнення аварійних ситуацій.

У сучасних умовах особливої актуальності набувають питання підвищення енергоефективності виробництва, зниження втрат електричної енергії та забезпечення нормативних показників її якості. Значна частина електроспоживачів коксохімічних цехів є потужними асинхронними двигунами, що обумовлює підвищене споживання реактивної потужності та необхідність застосування засобів її компенсації. Водночас розвиток сучасних технологій вимагає впровадження ефективних схем електропостачання, використання надійного електрообладнання та сучасних систем захисту й автоматизації.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи обумовлена необхідністю розроблення сучасної системи електропостачання вузла навантаження

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

коксохімічного цеху, яка забезпечуватиме безперебійне електропостачання технологічного обладнання, відповідатиме вимогам нормативних документів та сприятиме підвищенню енергоефективності виробництва.

Одним із найважливіших етапів проєктування систем електропостачання є визначення розрахункових електричних навантажень. Від точності виконання цих розрахунків залежить правильність вибору потужності трансформаторів, параметрів кабельних ліній, комутаційної апаратури та пристроїв релейного захисту. Рациональний вибір обладнання дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності електропостачання та мінімізувати капітальні й експлуатаційні витрати.

Особливу увагу під час проєктування електроустановок коксохімічних виробництв необхідно приділяти питанням пожежної та вибухової безпеки. У процесі виробництва утворюються горючі гази та вибухонебезпечні суміші, що вимагає застосування спеціального електрообладнання, дотримання вимог електробезпеки та впровадження ефективних засобів захисту від аварійних режимів роботи.

Метою кваліфікаційної роботи є проєктування системи електропостачання вузла навантаження коксохімічного цеху металургійної промисловості, яка забезпечує надійне, безпечне та економічно ефективне електропостачання технологічного обладнання відповідно до вимог чинних нормативних документів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати технологічний процес та склад електроспоживачів коксохімічного цеху;
- визначити категорії надійності електроприймачів;
- виконати розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання;
- обґрунтувати вибір схеми електропостачання цеху;

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- здійснити вибір силових трансформаторів та основного електрообладнання;
- виконати вибір кабельних ліній і струмопровідних частин;
- розрахувати струми короткого замикання в характерних точках мережі;
- здійснити вибір комутаційної апаратури
- виконати розрахунок компенсації реактивної потужності;
- оцінити техніко-економічну ефективність прийнятих проєктних рішень;
- розробити заходи щодо охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки.

Практичне значення роботи полягає у розробленні комплексу технічних рішень щодо побудови системи електропостачання вузла навантаження коксохімічного цеху. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування нових або модернізації існуючих систем електропостачання підприємств металургійної промисловості, сприяючи підвищенню надійності електропостачання, зниженню втрат електричної енергії та покращенню техніко-економічних показників виробництва.

Таким чином, проєктування системи електропостачання вузла навантаження коксохімічного цеху є важливим інженерним завданням, вирішення якого забезпечує ефективне функціонування технологічних процесів, підвищення енергетичної ефективності підприємства та дотримання сучасних вимог щодо безпеки експлуатації електроустановок.

					ET і EE 4815.024.000 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, оскільки дозволяє оцінити можливі наслідки порушення електроживлення, визначити вимоги до надійності електропостачання окремих груп споживачів та встановити особливості електричних навантажень виробництва. На підставі отриманих результатів обґрунтовуються структура системи електропостачання, кількість незалежних джерел живлення, конфігурація живильних і розподільних мереж, а також необхідність застосування засобів автоматичного резервування та іншої мережної автоматики.

Відповідно до вимог чинних Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), електроприймачі класифікуються за ступенем надійності електропостачання на три категорії. Такий поділ базується на можливих наслідках припинення електроживлення для технологічного процесу, безпеки персоналу та економічних показників підприємства.

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

До другої категорії відносять споживачів, припинення електропостачання яких не створює безпосередньої небезпеки, проте призводить до суттєвого зниження обсягів виробництва, простою технологічного обладнання, промислового транспорту або виробничого персоналу.

Третю категорію становлять електроприймачі, які не належать до перших двох груп. До них, як правило, відносяться допоміжні та другорядні об'єкти, відмова яких не має істотного впливу на функціонування основного виробництва.

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівень надійності електропостачання безпосередньо залежить від категорії споживачів, структури електричної мережі та кількості незалежних джерел живлення. Для електроприймачів першої категорії передбачається живлення щонайменше від двох незалежних джерел. Допустима перерва в електропостачанні таких споживачів обмежується лише часом спрацювання пристроїв автоматичного введення резерву (АВР). Електроприймачі другої категорії можуть отримувати живлення як від одного, так і від двох джерел залежно від виробничої важливості об'єкта та конкретних умов експлуатації. У цьому випадку допускається короткочасне припинення електропостачання на період, необхідний для перемикання на резервне джерело живлення оперативним персоналом. Для споживачів третьої категорії зазвичай передбачається одне джерело живлення, а перерва в електропостачанні допускається на час проведення ремонтних робіт або заміни пошкоджених елементів мережі, але не більше ніж на 24 години.

Особливості технологічного процесу коксохімічного виробництва значною мірою визначають вимоги до системи електропостачання. На підприємствах цього профілю здійснюється переробка кам'яного вугілля з отриманням коксу та супутніх продуктів, що обумовлює наявність великої кількості електромеханічного обладнання різної потужності. Потужність приводів живильників і дозувальних столів зазвичай знаходиться в межах від 4 до 10 кВт, тоді як потужність дробарок, компресорних установок та газодувок може досягати 4000 кВт. Виробничий цикл коксохімічного підприємства має безперервний характер, тому більшість механізмів працює в тривалому режимі. Разом із тим окремі установки функціонують у повторно-короткочасному режимі роботи. До таких механізмів належать вугільні перевантажувачі, коксовиштовхувачі, вагоноперекидачі та інше допоміжне обладнання.

Найбільш відповідальними електроприймачами виробництва є газодувні агрегати, насоси систем охолодження, коксові машини, кантовочні та знеграфічувальні лебідки. Враховуючи можливі наслідки їх зупинки для технологічного процесу та безпеки виробництва, зазначене обладнання належить

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

до першої категорії за надійністю електропостачання. Решта виробничих споживачів, як правило, відноситься до другої категорії.

Для очищення коксового газу використовуються електростатичні фільтри, робота яких здійснюється при високих робочих напругах, що досягають 80–100 кВ. Загальна встановлена потужність коксохімічних цехів зазвичай перебуває в межах від 15 до 40 МВт. При цьому розміщення основного технологічного обладнання є стаціонарним, що дозволяє оптимізувати конфігурацію внутрішньозаводських електричних мереж та забезпечити раціональний розподіл електричних навантажень. Наявність значної кількості електроприймачів першої категорії обумовлює підвищені вимоги до надійності системи електропостачання. Для забезпечення безперервності живлення відповідальних споживачів у всіх вузлах розподілу електроенергії передбачається секціонування збірних шин. У нормальному режимі всі елементи системи працюють під навантаженням, а у випадку відмови одного з них його функції можуть бути частково або повністю компенсовані іншими елементами мережі шляхом перерозподілу навантаження з урахуванням допустимих перевантажень.

Вибір силового електрообладнання здійснюється з урахуванням його функціонального призначення, рівня експлуатаційної надійності, вимог безпеки, ремонтпридатності, доступності запасних частин, необхідного резерву потужності та економічної ефективності. Важливим фактором також є позитивний досвід використання аналогічного обладнання на підприємствах подібного профілю. Особлива увага приділяється вибору електротехнічного обладнання для вибухонебезпечних зон. Рівень і вид вибухозахисту визначаються відповідно до класу вибухонебезпечної зони, а також категорії та групи вибухонебезпечного середовища, в якому передбачається експлуатація обладнання. Такий підхід забезпечує необхідний рівень промислової безпеки та надійну роботу електроустановок в умовах підвищеної вибухопожежної небезпеки.

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						13
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень у мережі напругою до 1 кВ

Визначення розрахункових електричних навантажень належить до базових етапів проєктування систем електропостачання промислових об'єктів, оскільки результати цих розрахунків безпосередньо впливають на вибір основного силового обладнання, конфігурацію електричних мереж та техніко-економічні показники всієї системи. На основі розрахункових навантажень здійснюється вибір номінальних параметрів трансформаторів, перерізів кабельних і шинних ліній, комутаційно-захисної апаратури, а також інших елементів електропостачальної інфраструктури.

Точність визначення навантажень має суттєве значення для забезпечення ефективної та надійної роботи системи електропостачання. Завищення розрахункових параметрів спричиняє необґрунтоване збільшення встановленої потужності обладнання, використання провідників більших перерізів та застосування апаратури з надлишковими технічними характеристиками. Це, своєю чергою, призводить до зростання капітальних вкладень, підвищення вартості реалізації проєкту та зниження рівня економічної ефективності інвестицій.

Водночас недооцінка фактичних навантажень може стати причиною роботи електрообладнання в режимах, близьких до гранично допустимих або перевантажувальних. Наслідком цього є погіршення експлуатаційних характеристик мережі, збільшення теплового навантаження на струмоведучі елементи, прискорене старіння ізоляційних матеріалів, зростання втрат електричної енергії та зменшення ресурсу роботи електротехнічного обладнання.

Зважаючи на зазначене, розрахунок електричних навантажень є одним із визначальних завдань як на стадії проєктування нових систем електропостачання, так і під час реконструкції, технічного переоснащення та експлуатації діючих промислових підприємств.

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						14
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У сучасній практиці електротехнічного проектування використовується декілька методик визначення розрахункових навантажень. Вибір конкретного методу обумовлюється сукупністю технічних і виробничих факторів, до яких належать:

- ступінь повноти та достовірності вихідних даних;
- місце розташування розрахункового вузла в структурі системи електропостачання;
- кількість, потужність і тип електроприймачів;
- характер навантаження та режим функціонування технологічного обладнання;
- необхідний рівень точності розрахункових результатів.

У межах даного проєкту для визначення електричних навантажень застосовано метод упорядкованих діаграм, який належить до найбільш поширених і науково обґрунтованих методів розрахунку навантажень промислових споживачів. Його використання регламентується нормативними та методичними документами під час розроблення технічної й робочої документації систем електропостачання виробничих підприємств.

Суть методу полягає у визначенні розрахункової активної потужності на основі середнього значення навантаження групи електроприймачів та коефіцієнта максимуму, який враховує ймовірність одночасного ввімкнення окремих споживачів у період найбільшого електроспоживання. Такий підхід дозволяє максимально наблизити результати розрахунку до реальних умов експлуатації електроустановок і забезпечити обґрунтований вибір елементів системи електропостачання.

Розрахункове значення активного навантаження на будь-якому рівні живильних та розподільних мереж визначається як добуток середньої потужності групи електроприймачів на коефіцієнт максимуму, що характеризує особливості режиму роботи електроспоживачів у період досягнення максимального рівня навантаження:

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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.

2.1.1. Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів

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

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

$$P_H = P_{псп} \sqrt{P_B} = 280 \cdot \sqrt{0,25} = 140 \text{ кВт}$$

$$P_H = S_H \cdot \cos \phi \sqrt{P_B} = 950 \cdot 0,35 = 332 \text{ кВт}$$

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

На першому етапі визначаємо сумарну номінальну потужність вузла навантаження:

$$\sum P_{Hi} = 3568 \text{ кВт.}$$

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;

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{cm1} = P_{n1} \cdot k_{n1} = 820 \cdot 0,35 = 287 \text{ кВт};$$

$$Q_{cmi} = P_{cmi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i;$$

$$Q_{cm1} = P_{cm1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 287 \cdot 1,17 = 335 \text{ квар.}$$

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

$$\sum P_{cmi} = 1838 \text{ кВт}; \sum Q_{cmi} = 1895 \text{ квар.}$$

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

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

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

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

P_{ni} - номінальна потужність підгрупи електроприймачів.

$$K_{в. гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{змi}}{\sum_{i=1}^m P_{ni}} = \frac{1838}{3568} = 0,52$$

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:

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

.

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						17
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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 І р, А
	Найменування характерних груп ЕП	В шт. п	Номінальна (встан.) потужність, кВт			Коеф. викор.	cosφ	tgφ	Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , кВар			Р _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА	
			Одного ЕП Р _{нmin} \Р _{нmax}	Загальна Р _н	Потужність при ПВ=1											
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Живильні столи	35	3\80	820,00	820,00	0,35	0,65	1,17	287,00	335,54						
2	Дозуючі столи	45	1\20	350,00	350,00	0,35	0,65	1,17	122,50	143,22						
3	Вентилятори	65	5\20	550,00	550,00	0,75	0,80	0,75	412,50	309,38						
4	Насоси, компресори	45	10\50	650,00	650,00	0,75	0,80	0,75	487,50	365,63						
5	Крани, тельфери, ПВ=25%	35	5\40	280,00	140,00	0,18	0,45	1,98	25,20	50,01						
6	Крани, тельфери, ПВ=40%	5	10\30	120,00	75,89	0,18	0,45	1,98	13,66	27,11						
7	Свар. маш. шовного зварювання, S _н , кВА	70	10\40	950,00	332,50	0,30	0,35	2,68	99,75	266,97						
8	Елеватори. Конвейнры зблоковані	60	3\20	650,00	650,00	0,60	0,70	1,02	390,00	397,88						
9	Разом силові ЕП:	70	80,00		3568,39	0,52			1838,11	1895,73	89,21	0,75	1378,	1421,8	1980,4	2858,47
10	Освітлювальні ЕП:				151,32	151,32		0,95	0,33				158,13	51,97	166,45	240,25
11	Усього по цеху:				3719,71								1536,	1473,7	2129,2	3073,24

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

Pp+Ppo	Qp+Qpo	Sp	J=Sp/F	Sнтр	B	Nmin	Нопт	Qt	Qнк1	Qнк1'	Qнк1 спр	Q неск	j	Qнк2	Qнк*Нопт
1536,71	1473,77	2129,20	0,22	1600,00	0,60	1,60	2,00	1151,05	322,72	161,36	300,00	873,77	0,44	-534,23	600,00

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

Цю формулу використовують, якщо виконується умова:

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

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{н1}}{P_{н\max}} = \frac{2 \cdot 3568}{80} = 89$$

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

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

У моєму випадку, при $n_{\text{Еф}}=65$ і $\kappa_{и\text{ гр. вЗВ}} = 0,5$

$$\kappa_p = 0,75$$

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

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

$$P_p = 0,75 \cdot 1838 = 1378 \text{ кВт}$$

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

$$Q_p = 0,75 \cdot 1895 = 1421 \text{ квар}$$

Вважаємо повне навантаження від силових електроприймачів:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1378^2 + 1421^2} = 1980, \text{ кВА}$$

Знаходимо розрахунковий струму по повному навантаженню:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1980}{1,73 \cdot 0,4} = 2858 \text{ А.}$$

2.1.2. Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів

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

					ЕТ і ЕЕ 4815.024.000 ПЗ	Лист
						19
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$$P_{\text{р.о.}} = P_{\text{н.о.}} \cdot K_{\text{с.о.}} \cdot K_{\text{пра}} = 151,32 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 158,13, \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р.о.}} = P_{\text{р.о.}} \cdot \operatorname{tg} \phi = 158,13 \cdot 0,33 = 51,97 \text{ квар}$$

$$S_{\text{ро}} = \sqrt{P_{\text{ро}}^2 + Q_{\text{ро}}^2} = \sqrt{158,13^2 + 52^2} = 166,45, \text{ кВА}$$

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

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

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

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

$$P_{\text{р.с.}} = 1536 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р.с.}} = 1473 \text{ квар}$$

$$S_{\text{р.с.}} = 2129 \text{ кВА.}$$

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.

					ЕТ і ЕЕ 4815.024.000 ПЗ	Лист
						20
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Вибір кількості та номінальної потужності силових трансформаторів цехових підстанцій є одним із ключових завдань під час проєктування систем електропостачання промислових підприємств. Обґрунтоване прийняття цього рішення здійснюється на основі техніко-економічного аналізу, який враховує низку технічних та експлуатаційних чинників. До основних із них належать категорія надійності електропостачання споживачів, рівень компенсації реактивної потужності в мережах напругою до 1 кВ, допустима перевантажувальна здатність трансформаторів у штатних та аварійних режимах роботи, номенклатура стандартних потужностей трансформаторного обладнання, а також характер добового та сезонного графіка електричних навантажень.

Збільшення кількості трансформаторів на підстанції не завжди є технічно та економічно виправданим рішенням. Незалежно від функціонального призначення підстанції — цехового чи загальнозаводського — надмірна кількість трансформаторних агрегатів призводить до зростання капітальних витрат, підвищення експлуатаційних витрат і збільшення втрат електричної енергії. Це пояснюється тим, що трансформатори меншої потужності, як правило, характеризуються нижчим коефіцієнтом корисної дії порівняно з потужнішими аналогами. Крім того, зростає потреба в активних матеріалах, збільшується кількість комутаційної та захисної апаратури, ускладнюється схема електричних з'єднань, що негативно впливає на зручність експлуатації та технічного обслуговування підстанції.

Під час вибору кількості та потужності трансформаторів доцільно дотримуватись таких рекомендацій:

Використання трансформаторів номінальною потужністю понад 1000 кВА є доцільним у випадках наявності значних зосереджених навантажень, зокрема потужних електропечей, великої кількості однофазних електроприймачів, а також

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						21
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

споживачів із різко змінним характером навантаження, таких як електрозварювальні установки. Також застосування трансформаторів підвищеної потужності виправдане в цехах із високою питомою щільністю електричного навантаження.

Для спрощення експлуатації, ремонту та забезпечення взаємозамінності обладнання рекомендується максимально уніфікувати трансформаторний парк цехових підстанцій шляхом використання трансформаторів однакових типів і номінальних потужностей.

У разі застосування двотрансформаторних підстанцій, а також однострансформаторних підстанцій, що працюють у складі магістральних схем електропостачання, потужність кожного трансформатора необхідно визначати з урахуванням можливості забезпечення електроживлення відповідальних споживачів у післяаварійному режимі. У випадку відключення одного трансформатора другий повинен забезпечувати живлення електроприймачів I та II категорій надійності з урахуванням допустимих аварійних перевантажень. Електроприймачі III категорії при цьому можуть бути тимчасово відключені.

З метою реалізації зазначених вимог номінальну потужність кожного трансформатора двотрансформаторної підстанції зазвичай приймають на рівні близько 70 % від сумарного розрахункового навантаження цеху. За таких умов у разі виходу з експлуатації одного трансформатора другий працюватиме з навантаженням, що не перевищує приблизно 140 % від номінального значення, що відповідає допустимим режимам аварійного перевантаження протягом обмеженого часу.

Мінімально необхідна кількість цехових трансформаторів однакової номінальної потужності, призначених для живлення технологічно взаємопов'язаних електричних навантажень, визначається за відповідною розрахунковою залежністю:

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

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

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						22
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ΔN - добавка до найближчого цілого числа.

$$N_{min} = \frac{P_{p.c.} + P_{p.o.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N = \frac{1536}{0,6 \cdot 1600} = 1,6 + 0,4 = 2$$

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

$$N_{опт} = N_{min} + m$$

де m - додатково встановлені трансформатори.

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

$$N_{опт} = 2 + 0 = 2$$

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

$$Q_T = \sqrt{(\beta \cdot N_{опт} \cdot S_{н.тр.})^2 - (P_p + P_{p.o.})^2} = \sqrt{(0,6 \cdot 2 \cdot 1600)^2 - 1536^2} = 1151 \text{ квар}$$

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

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 1473 - 1151 = 322,72 \text{ квар}$$

$Q_{нк1}$ забезпечує оптимальне число трансформаторів.

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

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк1}}{N_{опт}} = \frac{322,72}{2} = 161 \text{ квар}$$

Вибираємо комплектну конденсаторну установку по найближчій стандартній потужності:

Вибираємо УКН - 0,38 - 300УЗ [1]

					ЕТ і ЕЕ 4815.024.000 ПЗ	Лист
						23
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q'_{\text{НК1ДОВ.}} = 300 \text{ квар.}$$

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ буде складати:

$$Q_{\text{неск}} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{\text{НК1.СПР}} = 1473 - 2 \cdot 300 = 873 \text{ квар}$$

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

Визначаємо потужність НБК для зниження втрат потужності в трансформаторах. Додаткова потужність $Q_{\text{НК2}}$ НБК для даної групи трансформаторів визначаємо:

$$Q_{\text{НК2}} = Q_{\text{неск}} - \gamma \cdot N_{\text{опт}} \cdot S_{\text{н.тр}}$$

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

$$k_{p1}=12 \text{ і } k_{p2}=2$$

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

$$Q_{\text{НК2}} = Q_{\text{неск}} - \gamma \cdot N_{\text{ТЭ}} \cdot S_{\text{НТ}} = 873 - 0,44 \cdot 2 \cdot 1600 = -534,23 \text{ квар}$$

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

$$Q_{\text{НК}} = Q_{\text{НК1}} = 300 \cdot 2 = 600 \text{ квар.}$$

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

Проведений розрахунок показав доцільність установки двох трансформаторів потужністю $S_{\text{НОМ}} = 1600$ кВА та установці в мережі 0,4 кВ батареї конденсаторів, сумарною потужністю 600 квар.

					ЕТ і ЕЕ 4815.024.000 ПЗ	Лист
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Визначення оптимального місця розташування цехових трансформаторних підстанцій є одним із відповідальних завдань під час проєктування систем електропостачання промислових об'єктів. Раціональне розміщення трансформаторного обладнання залежить від просторового розподілу електричних навантажень, конфігурації виробничих ділянок, особливостей розташування технологічного устаткування, можливості інтеграції засобів компенсації реактивної потужності, а також від умов виробничого середовища, сформованих специфікою технологічних процесів.

Результати багаторічної практики проєктування та експлуатації трансформаторних підстанцій, підтверджені теоретичними дослідженнями у сфері електропостачання промислових підприємств, свідчать про доцільність розміщення підстанцій у безпосередній близькості до центрів електричних навантажень. Реалізація такого підходу дозволяє мінімізувати довжину розподільних мереж, зменшити витрати провідникових матеріалів і суттєво скоротити втрати електричної енергії під час її транспортування до електроприймачів.

У сучасних системах промислового електропостачання широкого застосування набули комплектні трансформаторні підстанції, які характеризуються високим ступенем заводської готовності та автономністю монтажу відносно будівельних конструкцій об'єкта. Використання КТП забезпечує скорочення термінів введення електроустановок в експлуатацію, підвищення якості монтажних робіт і зменшення загальних витрат на реалізацію проєкту.

Важливим принципом побудови сучасних систем електропостачання є принцип глибокого введення електроенергії. Його сутність полягає у підведенні електричної енергії середньої або високої напруги максимально близько до зон концентрації навантажень з подальшим перетворенням напруги безпосередньо біля споживачів. Застосування такого підходу сприяє раціоналізації структури мережі, підвищенню енергетичної ефективності та зменшенню експлуатаційних втрат.

Під час вибору місця встановлення комплектної трансформаторної

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						25
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

підстанції, а також визначення кількості та номінальної потужності силових трансформаторів необхідно враховувати величину розрахункових навантажень, категорію надійності електропостачання електроспоживачів, вплив зовнішніх факторів навколишнього середовища та вимоги до безпечної й безперервної роботи електротехнічного обладнання.

Для забезпечення електроживлення виробничого цеху доцільним є використання вбудованої комплектної трансформаторної підстанції. Аналіз умов експлуатації свідчить про відсутність обмежень щодо реалізації такого рішення. Параметри виробничого мікроклімату та особливості технологічного процесу відповідають нормативним вимогам до розміщення трансформаторної підстанції безпосередньо в межах виробничого приміщення.

Застосування вбудованої КТП забезпечує реалізацію принципу глибокого введення електричної енергії шляхом підведення напруги понад 1 кВ безпосередньо до зони розташування електроприймачів. У результаті суттєво зменшується протяжність мереж низької напруги, скорочуються витрати на спорудження внутрішньоцехових електричних комунікацій та підвищується економічна ефективність системи електропостачання. Крім того, досягається зниження втрат активної потужності в розподільних мережах напругою 0,4 кВ.

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

У складі цехової комплектної трансформаторної підстанції передбачається встановлення трифазних силових трансформаторів з первинною напругою 10 кВ. Для відведення тепла використовується масляна система охолодження, яка забезпечує ефективний теплообмін і підтримання допустимого температурного режиму роботи обладнання. Для даної роботи обрано герметизовані силові трансформатори типу ТМЗ закритого виконання. Такі трансформатори

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						26
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

відзначаються підвищеною експлуатаційною надійністю, низькими витратами на технічне обслуговування та відсутністю потреби у постійному контролі рівня трансформаторного масла протягом усього періоду експлуатації.

2.4. Вибір схеми внутріцехової мережі напругою до 1 кВ

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

Електричні мережі виробничих цехів повинні гарантувати безперервне живлення електроприймачів відповідно до вимог їх категорії надійності, забезпечувати належний рівень електробезпеки для обслуговчого персоналу, характеризуватися раціональними техніко-економічними показниками та мінімальними витратами на експлуатацію. Важливою вимогою також є можливість застосування індустріальних методів монтажу, які сприяють скороченню термінів виконання електромонтажних робіт і підвищенню якості їх реалізації.

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

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

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						27
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						28
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Застосування схеми БТМ дозволяє суттєво спростити структуру внутрішньоцехової мережі. За такого підходу комплектна трансформаторна підстанція може працювати без окремого розподільного пристрою низької напруги. Передача електроенергії від силового трансформатора здійснюється безпосередньо на магістральний шинопровід, від якого живляться розподільні шинопроводи або окремі групи електроприймачів.

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

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

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						29
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

У процесі експлуатації систем електропостачання промислових підприємств можливе виникнення аварійних і позаштатних режимів функціонування електричних мереж. Найбільш характерними та небезпечними серед них є режими перевантаження і короткого замикання, які супроводжуються різким зростанням струму в струмопровідних частинах електроустановок. Такі явища спричиняють підвищене тепловиділення в елементах мережі, прискорене старіння ізоляційних матеріалів, погіршення експлуатаційних характеристик електрообладнання та можуть призвести до його пошкодження або повного виходу з експлуатації.

З метою забезпечення надійного та безпечного функціонування внутрішньоцехових електричних мереж під час проєктування необхідно передбачати комплекс ефективних заходів захисту від надструмів, що виникають унаслідок перевантажень і коротких замикань. Основною функцією захисних пристроїв є оперативне виявлення аварійної ділянки та її автоматичне відключення за мінімально можливий проміжок часу. Реалізація такого принципу дає змогу обмежити масштаби аварії, запобігти поширенню пошкодження на суміжні елементи системи та забезпечити подальшу роботу непошкодженого обладнання.

Для захисту електричних мереж виробничих цехів застосовується широкий спектр комутаційно-захисних апаратів, вибір яких визначається характеристиками навантаження та умовами експлуатації. Найбільш поширеними засобами захисту є плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі та теплові реле, що використовуються спільно з магнітними пускачами.

Плавкі запобіжники призначені переважно для захисту електричних кіл від струмів короткого замикання. Їхня дія ґрунтується на розплавленні струмопровідної вставки при перевищенні допустимого значення струму, внаслідок чого відбувається розрив електричного кола та припинення аварійного режиму.

Автоматичні вимикачі поєднують функції захисту та комутації. Вони

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						30
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечують автоматичне відключення електричних кіл у разі виникнення перевантажень або коротких замикань, а також використовуються для оперативного вмикання та вимикання електрообладнання в нормальних режимах роботи.

Теплові реле застосовуються переважно для захисту електродвигунів від тривалих перевантажень. Їх робота базується на контролі теплового стану струмопровідних елементів, що дозволяє своєчасно реагувати на перевищення допустимого навантаження та запобігати перегріванню обмоток. Це сприяє збереженню ізоляції та збільшенню терміну служби електричних машин.

Комплексне використання сучасних засобів релейного та апаратного захисту забезпечує необхідний рівень електробезпеки, підвищує надійність функціонування внутрішньоцехових мереж і сприяє довготривалій та безвідмовній роботі електротехнічного обладнання промислового підприємства.

Автомати обираємо із дотриманням наступних умов:

$$U_{a.ном} > U_{ном.с},$$

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

$$I_{расц.ном} \geq I_{расч.},$$

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

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

Вибір ввідного автомата.

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

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

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						31
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

$$4000 \leq 4000$$

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

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

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;

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

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

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

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

k_c – коефіцієнт попиту, $k_c < 1$.

Вибір параметрів автоматів на двигуни починаємо з визначення

					ЕТ і ЕЕ 4815.024.000 ПЗ	Лист
						32
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

номінальних струмів двигунів, що захищається автоматами, ($P_n = 5 \text{ кВт}$):

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

$$I_{н.дв.} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,925 \cdot 0,9} = 58,21 \text{ А}$$

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

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.}$$

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.} = 6 \cdot 58,21 = 349,274 \text{ А};$$

По розрахункових величинах приймаємо до установки автомат типу ВА-2004/100. Розрахуємо номінальний струм розчеплювача з урахуванням поправочного коефіцієнта, тому що автомати монтуються в шафах, де погіршується тепловіддача.

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

$$I_{н.розч.} = \frac{58,21}{0,85} = 68,49 \text{ А}$$

Вибираємо $I_{н.розч.} = 100 \text{ А}$.

Встановлюємо неможливість спрацьовування автомата при пуску двигуна:

$$I_{сп.ел.} = 1,25 \cdot I_{пуск}$$

$$I_{сп.ел.} = 1,25 \cdot 68,49 = 85,6 \text{ А}.$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 100А.

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

Враховуючи рівномірний характер розміщення електроприймачів у цеху та однаковий розподіл навантаження між розподільними шинопроводами, розрахункове навантаження кожного шинопроводу ШРА визначається методом рівномірного розподілу навантаження магістрального шинопроводу ШМА.

					ЕТ і ЕЕ 4815.024.000 ПЗ	Лист
						33
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3. Вибір апаратів і струмоведучих частин

№ авт.	Призначення, місце у схемі	Розрахунков а навантажен ня Р, кВт	Розр. струм I, А	Кратність пускового струму, Кп	Пікови й струм Iпik, А	Ip/0,85	Ном.стру м розчепл Iном.р., А	Ном.стру м автомата Iном.а., А	Тип авт.	Iспрац. кА	Ідл., А ТВЧ	Марка перетин ТВЧ, мм²	Втрати напруг и. В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
QF1	ШРА1-АД4	30	58,21	6	349,274	68,49	100	100	ВА-2004/100	1	75	АВВГ(4*35)	3,56
QF2	ШРА1-АД5	17	32,99	6	197,922	38,1	50	50	ВА-2004/50	0,5	38	АВВГ(4*10)	2,02
QF3	ШРА1-АД6	22	42,69	6	256,134	50,22	60	60	ВА-2004/60	0,6	55	АВВГ(4*16)	2,61
QF4	ШМА-ШРА1		357		420,4		630	630	ВА-2004/630	4	630	ШРА-73	
QF5	ШМА-ШРА2		357		420,4		630	630	ВА-2004/630	4	630	ШРА-73	
QF6	ШМА-ШРА3		357		420,4		630	630	ВА-2004/630	4	630	ШРА-73	
QF7	ШМА-ШРА4		357		420,4		630	630	ВА-2004/630	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.

Під час проєктування внутрішньоцехових електричних мереж вибір перерізів провідників за умовою допустимого нагрівання здійснюється поетапно. На початковому етапі визначається тип і марка проводу або кабелю з урахуванням особливостей виробничого середовища, архітектурно-планувальних характеристик приміщення, умов експлуатації електрообладнання, а також способу прокладання електричних ліній. Вибір провідникової продукції повинен забезпечувати необхідний рівень надійності, електробезпеки та відповідність вимогам чинних нормативних документів.

Безпосередній розрахунок перерізів проводів і кабелів мереж напругою до 1 кВ виконується після визначення параметрів комутаційно-захисної апаратури. Така послідовність обумовлена необхідністю узгодження характеристик провідників із параметрами пристроїв захисту. Переріз струмоведучих елементів, попередньо обраний за допустимим тривалим струмовим навантаженням і тепловим режимом роботи, підлягає подальшій перевірці на відповідність вимогам захисту від перевантажень і коротких замикань. При цьому має виконуватися умова селективної та надійної взаємодії провідників із захисними апаратами, яка гарантує недопущення термічного пошкодження ізоляції та струмоведучих частин у процесі експлуатації електричної мережі:

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

де I_3 -номінальний струм розчеплювача, А;

k_3 -коефіцієнт захисту.

Для існуючих умов, при яких експлуатується встаткування (мікроклімат,

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						35
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічний процес) коефіцієнт захисту для кабелів приймаємо рівним 1 [3].

Перевіряємо обрані кабелі по втраті напруги:

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

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

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

$$\Delta U_{\text{действ}} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 68,49 \cdot 0,05 \times \\ \times (0,92 \cdot 0,6 + 0,06 \cdot 0,8) = 3,56 \text{ В}$$

де I_p – розрахунковий струм;

l – довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний і індуктивний опори кабелю.

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

Зробимо розрахунку кабельної лінії для двигуна потужністю 30 кВт. Приймаємо до установки чотирьохжильний кабель із алюмінієвими жилами марки АВВГ перетином 35 мм², для якого довгостроково припустимий струм дорівнює 75 А. Підставляючи числові значення в співвідношення:

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

$$75 \geq 75 \text{ А}$$

Знаходимо, що необхідні умови виконуються. Тому приймаємо до установки кабель типу АВВГ перетином 4*35 мм², $I_{\text{дл доп}} = 75 \text{ А}$.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.3.

Аналогічно вибираємо перетин кабелів до інших двигунів.

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

Перевіряємо обрані кабелі по втраті напруги:

Всі розрахунки заносимо в таблицю 2.3.

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						36
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Визначення струмів короткого замикання в електричних мережах напругою до 1 кВ є невід'ємною складовою процесу проєктування систем електропостачання промислових об'єктів. Результати таких розрахунків слугують основою для оцінювання працездатності електротехнічного обладнання в аварійних режимах, а також для обґрунтованого вибору комутаційних і захисних пристроїв.

Головною метою розрахунку є встановлення розрахункових значень струмів короткого замикання, необхідних для перевірки вимикаючої здатності автоматичних вимикачів, оцінювання термічної та електродинамічної стійкості шинопроводів, кабельних ліній і струмоведучих елементів, а також аналізу ефективності та чутливості систем релейного захисту. Достовірне визначення аварійних струмів забезпечує надійне функціонування системи електропостачання та створює умови для швидкої локалізації пошкоджених ділянок мережі.

Під час перевірки комутаційної апаратури за умовами вимкнення визначається максимальне значення струму трифазного короткого замикання, яке відповідає найважчому аварійному режиму роботи мережі. Водночас для оцінювання чутливості та працездатності захисних пристроїв розраховується мінімальний струм однофазного короткого замикання. Як правило, він виникає в найбільш віддалених від джерела живлення точках мережі та характеризується найменшою величиною аварійного струму.

Розрахунок струмів короткого замикання в низьковольтних мережах має низку специфічних особливостей порівняно з аналогічними розрахунками для мереж високої напруги. Однією з таких особливостей є використання іменованих одиниць вимірювання, що дає можливість безпосередньо застосовувати фактичні параметри елементів системи електропостачання без переходу до відносних величин.

Під час побудови розрахункової моделі необхідно враховувати як активні, так і реактивні складові опорів усіх елементів кола короткого замикання. До складу схеми заміщення включаються силові трансформатори, кабельні та шинні мережі,

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						37
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

трансформатори струму, розчіплювачі автоматичних вимикачів, контактні з'єднання, комутаційні апарати та інші елементи, що впливають на величину аварійного струму. Крім того, враховується перехідний опір електричної дуги, яка утворюється в місці пошкодження електричного кола.

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

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

Методика розрахунку аварійних струмів передбачає виконання кількох взаємопов'язаних етапів. На початковому етапі формується розрахункова схема системи електропостачання, на якій відображаються джерела живлення, елементи мережі та можливі точки виникнення коротких замикань. На основі цієї схеми складається схема заміщення, де кожен елемент електричної мережі представляється відповідними активними та індуктивними опорами.

Наступним кроком є визначення параметрів схеми заміщення. Для цього обчислюються опори прямої та нульової послідовностей, а також повний опір контуру «фаза – нуль», які використовуються для подальшого визначення значень аварійних струмів у різних режимах пошкодження.

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

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

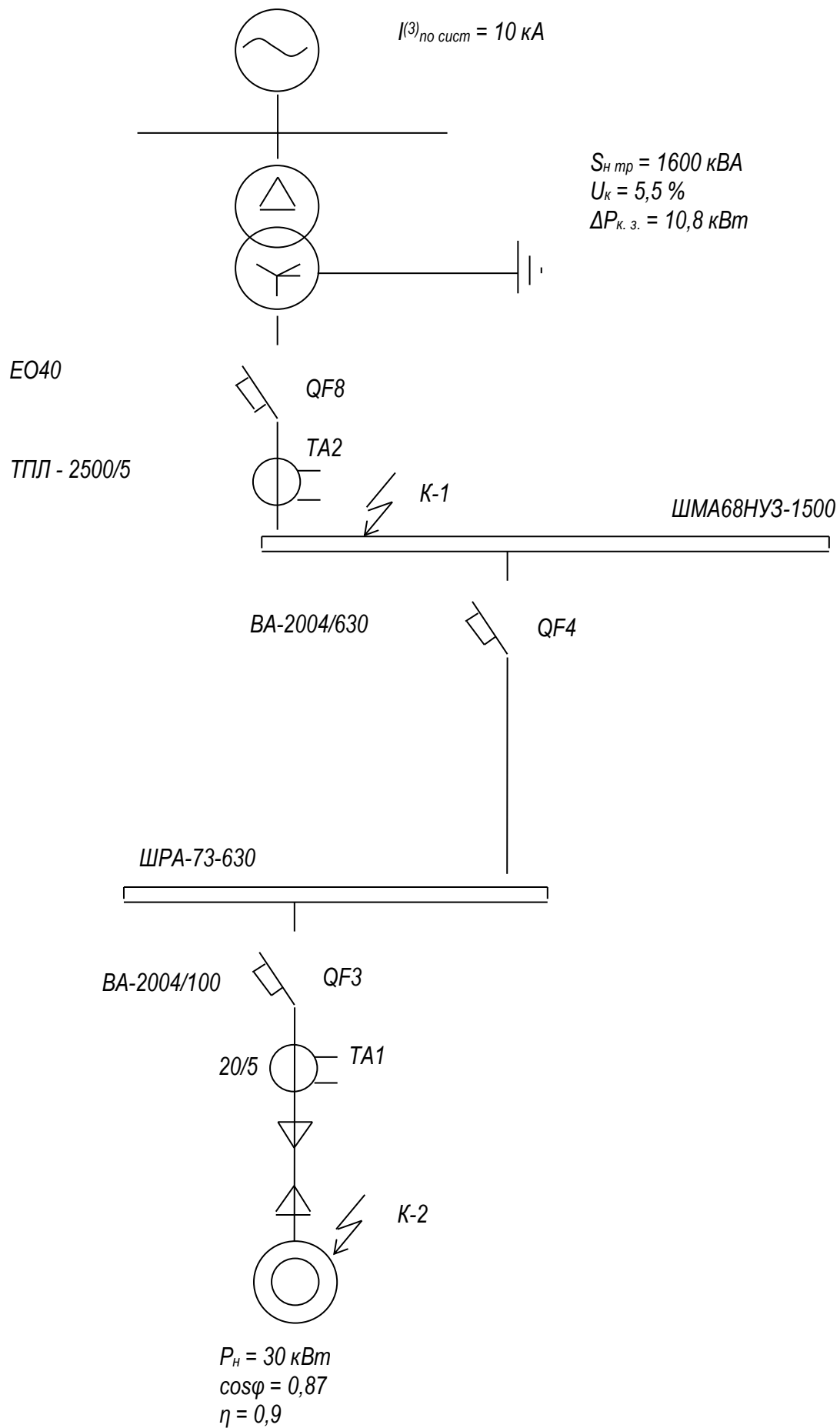


Рис. 2.1. Розрахункова схема

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ і ЕЕ 4815.024.000 ПЗ

Лист

39

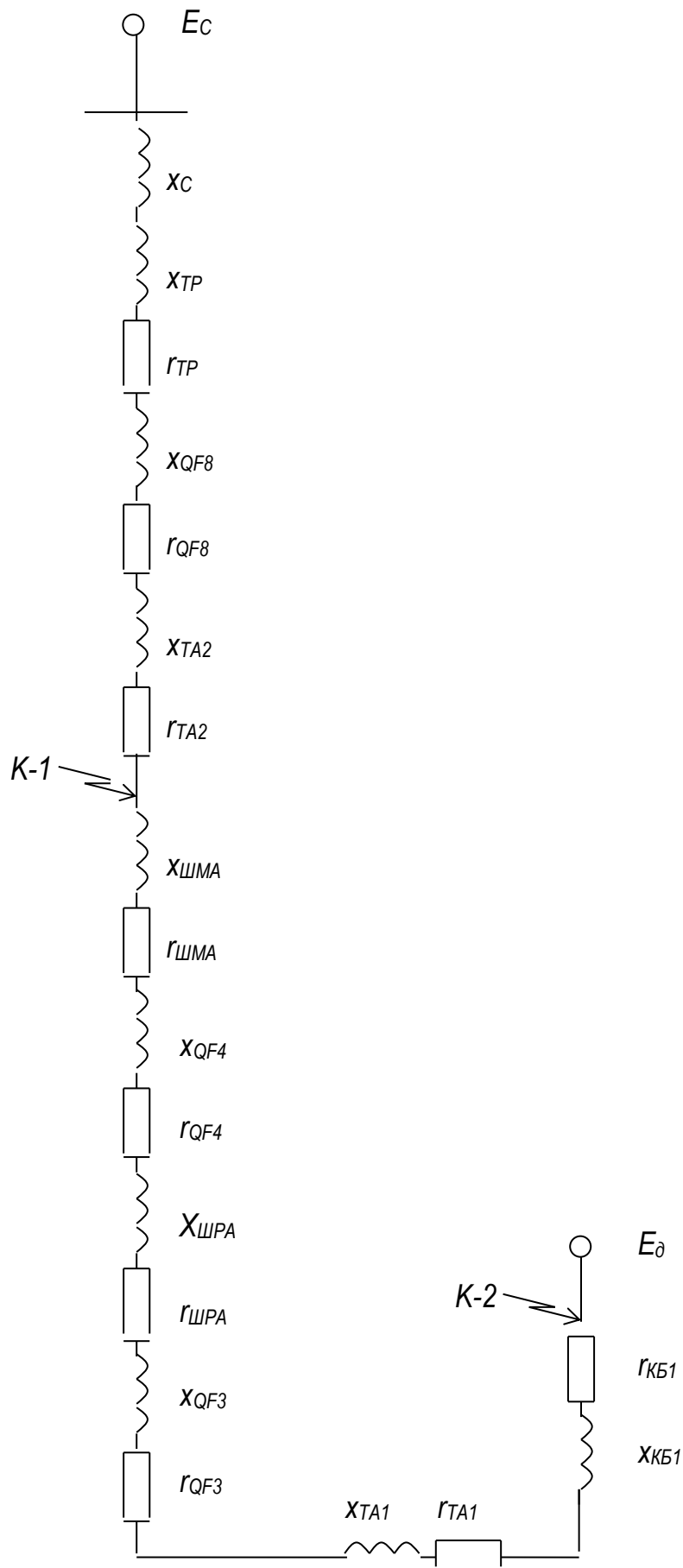


Рис.2.2. Схема заміщення

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ і ЕЕ 4815.024.000 ПЗ

Лист

40

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						41
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*35) мм ² (20м)	ТА 1 20/5	ТА 2 2500/5	QF 3	QF 4	QF 8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пряма	r ₁	0,03	0,15	1,25	3	0,05	1,1	0,65	0,14
	x ₁	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	0,5	0,17	0,08
Нульова	r ₀	0,037	0,162	2,5					
	x ₀	0,042	0,164	0,075					
Фаза-нуль	r _{Ф-0}	0,042	0,262	4					
	x _{Ф-0}	0,056	0,262	0,15					

Активні та індуктивні опори прямої послідовності понижувальних трансформаторів r_{1Т} і x_{1Т} 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 ΔРк. з. - втрати к.з. у трансформаторі, кВт (довідкові дані трансформатора);

U_{к.з.} – напруга короткого замикання трансформатора, %;

U_{ннн} – номінальна напруга обмоток низької напруги трансформатора, кВ;

S_{нтр} – номінальна потужність трансформатора, кВА.

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

Параметри трансформатора ТМЗ-1600-10/0,4; U_к = 5,5%, ΔРк. з. = 10,8 кВт.

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

$$x_{1T} = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 10,8}{1600} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,4^2}{1600} = 5,51 \text{ ,МОм}$$

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

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						42
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 5,51 + 0,08 + 0,07 = 6,46 \text{ мОм.}$$

$$I_{\text{по}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,9^2 + 6,46^2}} = 35,65 \text{ кА}$$

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

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

$$I_{\text{н до } \Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{\text{кз}}^{(3)} \quad 357 \leq 0,1 \cdot 35000$$

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:

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

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

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

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

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

Для понижувальних силових трансформаторів із відповідною схемою з'єднання обмоток під час розрахунку однофазних коротких замикань у мережах напругою до 1 кВ активну та індуктивну складові опору нульової послідовності допускається приймати рівними відповідним складовим опору прямої

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						43
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

послідовності. Такий підхід ґрунтується на особливостях проходження струмів нульової послідовності через трансформатор та забезпечує достатню точність інженерних розрахунків аварійних режимів у мережах низької напруги.

У випадку живлення електроустановок напругою до 1 кВ від електроенергетичної системи через понижувальні трансформатори величину періодичної складової струму однофазного короткого замикання, що надходить від джерела живлення, визначають на основі повного опору кола замикання. Розрахунок виконується за відповідним аналітичним співвідношенням, яке враховує параметри джерела живлення, трансформаторного обладнання та елементів мережі, що входять до контуру проходження аварійного струму.

Отримане значення періодичної складової струму однофазного короткого замикання використовується під час перевірки чутливості пристроїв релейного захисту й автоматичних вимикачів, оцінювання ефективності спрацювання захисних апаратів, а також для забезпечення надійного відключення пошкоджених ділянок мережі в умовах аварійного режиму роботи:

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

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3 \cdot 400}}{\sqrt{(2 \cdot 114.7 + 59.22)^2 + (2 \cdot 27.5 + 17.1)^2}} = 2,33 \text{ кА}$$

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

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

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

$$r_{1\Sigma} = 0,71 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,641 + 20 \cdot 0,15 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 0,92 = 27,21 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 5,5 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 + 20 \cdot 0,16 + 0,08 + 4,81 + 20 \cdot 0,06 = 16,51 \text{ мОм}$$

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + (r_{\Phi-H.III1} + r_{\Phi-H.III2} + r_{1KB}) = 27,2 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 114,75 \text{ мОм};$$

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						44
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$\begin{aligned} r_{0\Sigma} &= r_{0T} + r_{A12} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A8} + r_{0III2} + r_{A5} + r_{TA1} + r_{0KB} = \\ &= 0,7 + 0,131 + 0,05 + 0,036 \cdot 35 + 0,631 + 0,162 \cdot 20 + 0,141 + 3 + 20 \cdot 2,5 \\ &= 59,23 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{0\Sigma} &= x_{0T} + x_{A12} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A8} + x_{0III2} + x_{A5} + x_{TA1} + x_{0KB} = \\ &= 5,5 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,043 + 0,17 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,075 = \\ &= 17,1 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Перевірка автоматів по граничному струмі відключення:

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

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

$$65 \geq 35,65 \text{ кА}$$

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

Перевірка автоматів на чутливість захистів:

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

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

$$2,33 \geq 1,25 \cdot 1$$

Автомат задовольняє умові перевірки на чутливість захистів.

					ЕТ і ЕЕ 4815.024.000 ПЗ	Лист
						45
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Ефективність функціонування систем електропостачання значною мірою визначається рівнем якості електричної енергії, що надходить до електроприймачів. Відповідність параметрів електроенергії встановленим нормативним показникам є необхідною умовою надійної роботи технологічного обладнання, раціонального використання енергетичних ресурсів та забезпечення економічної доцільності виробничих процесів. Погіршення показників якості електроенергії може спричинити порушення нормальних режимів роботи електроустановок, зниження продуктивності технологічних комплексів, збільшення енергетичних втрат і передчасне зношування обладнання.

Згідно з чинними нормативно-технічними вимогами, контроль рівня напруги повинен здійснюватися на всіх ділянках системи електропостачання - від шин джерела живлення до затискачів кінцевих споживачів електричної енергії. Під час аналізу режимів роботи мережі враховуються як розрахункові параметри, так і фактичні значення напруги в характерних вузлах системи. Якщо результати розрахунків свідчать про перевищення допустимих меж відхилення напруги, необхідно передбачити впровадження технічних заходів щодо її стабілізації та покращення показників якості електроенергії.

Одним із базових критеріїв оцінювання якості електропостачання є відхилення напруги. Під цим показником розуміють різницю між фактичним значенням напруги в мережі та її номінальним значенням за умов повільної зміни режиму роботи електричної системи, коли швидкість зміни напруги не перевищує 1 % за секунду.

Для електричних мереж низької напруги нормативними документами встановлено допустимий діапазон зміни напруги в межах $\pm 5\%$ від номінального значення. В окремих випадках для мереж з номінальною напругою до 20 кВ допускаються граничні відхилення до $\pm 10\%$. Дотримання зазначених вимог є обов'язковою умовою забезпечення стабільної роботи електрообладнання та

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						46
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

безперервності технологічних процесів.

Негативний вплив відхилень напруги проявляється як в енергетичній, так і у виробничій сферах. З енергетичної точки зору це призводить до збільшення втрат електроенергії в лініях електропередачі, трансформаторах та електричних машинах. Виробничі наслідки полягають у погіршенні експлуатаційних характеристик обладнання, зниженні продуктивності технологічних установок і погіршенні загальної ефективності виробничого процесу.

Найбільш чутливими до зміни рівня напруги є освітлювальні установки та конденсаторні батареї. Навіть незначне зниження напруги може суттєво вплинути на рівень освітленості виробничих приміщень. Зокрема, зменшення напруги на 5 % спричиняє скорочення світлового потоку ламп розжарювання приблизно на 20 %. Водночас перевищення номінальної напруги на 10 % призводить до різкого скорочення ресурсу роботи ламп, який може зменшитися майже в чотири рази порівняно з номінальними умовами експлуатації.

З метою оцінювання якості електропостачання в проєктованій системі визначається величина відхилення напруги на стороні низької напруги силового трансформатора. Результати розрахунку використовуються для перевірки відповідності параметрів мережі нормативним вимогам, а також для обґрунтування необхідності застосування технічних засобів регулювання напруги та інших заходів щодо забезпечення належної якості електричної енергії:

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

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

U_1 – відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

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

U_{01} – відхилення напруги регулювального відгалуження;

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

ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі:

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						47
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

У застосування до даних умов маємо:

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

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{неск}^2}}{N_{min}} = \frac{\sqrt{1536^2 + 873^2}}{2} = 883 \text{ кВА}$$

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

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

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:

$$\begin{aligned} \Delta U_m &= \beta \cdot (R_m \cdot \cos \phi + X_m \cdot \sin \phi) = \frac{S_p}{S_{нтр}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{нтр}} \cdot \cos \phi + U_{кз} \cdot \sin \phi \right) = \\ &= \frac{883}{1600} \cdot \left(\frac{10,8}{1600} \cdot 0,98 + 0,055 \cdot 0,19 \right) = 0,010 = 1 \% \end{aligned}$$

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

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

Отримане значення перебуває в межах норми.

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						48
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

У ході проектування системи електропостачання вузла електричних навантажень металообробного цеху застосовано сучасні методи інженерного аналізу та технічні рішення, спрямовані на підвищення надійності функціонування електроенергетичної інфраструктури, зменшення енергетичних втрат і забезпечення належного рівня електробезпеки. Підбір електротехнічного обладнання здійснювався з урахуванням вимог чинної нормативно-технічної документації, а також сучасних тенденцій розвитку промислових систем електропостачання. Особлива увага приділялася вибору обладнання, здатного забезпечити оптимальні техніко-економічні показники в умовах тривалої експлуатації.

У межах виконаної роботи реалізовано комплексний підхід до проектування внутрішньоцехової системи електропостачання. Проведено детальний аналіз технологічних особливостей металообробного виробництва, визначено структуру електричних навантажень, досліджено режими роботи електроприймачів та виконано розрахунок їхніх електроенергетичних параметрів. На підставі отриманих результатів обґрунтовано вибір силового трансформаторного обладнання та сформовано ефективну схему розподілу електроенергії. Підсумком виконаних розрахунків стала розробка однолінійної схеми електропостачання цеху, яка відображена в графічній частині проєкту.

Проведене дослідження виробничого процесу засвідчило, що переважна частина встановлених електроприймачів належить до першої категорії за надійністю електропостачання. Втрата живлення таких споживачів може спричинити порушення технологічного циклу, пошкодження виробничого обладнання, виникнення аварійних ситуацій та суттєві економічні збитки. З огляду на це проєктом передбачено впровадження заходів резервування електроживлення та підвищення експлуатаційної надійності системи.

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						49
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для живлення споживачів вузла навантаження обрано комплектну двотрансформаторну підстанцію типу 2КТП-1600/10/0,4. Її технічні характеристики повністю відповідають розрахунковим потребам виробничого об'єкта та забезпечують необхідний резерв потужності для роботи як у штатних, так і в післяаварійних режимах. Розрахункове значення коефіцієнта завантаження силових трансформаторів становить 0,7, що відповідає рекомендованим експлуатаційним показникам і свідчить про раціональне використання встановленої потужності обладнання.

Електропостачання трансформаторної підстанції здійснюється від мережі середньої напруги 10 кВ. Розподіл електричної енергії між споживачами цеху реалізується через мережу низької напруги 0,4/0,23 кВ, яка забезпечує необхідні параметри живлення як силових, так і освітлювальних електроприймачів відповідно до технологічних вимог виробництва.

Для покращення енергетичних показників системи та зниження обсягів передачі реактивної потужності мережею 0,4 кВ передбачено встановлення трьох комплектних конденсаторних установок типу УКК-0,38-300-150УЗ сумарною потужністю 600 квар. Застосування засобів компенсації реактивної потужності сприяє зменшенню втрат електроенергії в елементах мережі, покращенню режимів роботи трансформаторів та підвищенню загальної енергоефективності системи електропостачання.

З метою реалізації принципу глибокого введення електричної енергії для даного об'єкта прийнято рішення щодо використання вбудованої комплектної трансформаторної підстанції, розміщеної безпосередньо у виробничому приміщенні. Таке конструктивне рішення забезпечує скорочення протяжності мереж низької напруги, зменшення втрат потужності під час передачі електроенергії та зниження витрат на монтаж кабельних ліній.

Для внутрішньоцехового розподілу електроенергії обрано схему типу «блок трансформатор – магістраль», яка характеризується високою економічністю та надійністю. Передача електроенергії від підстанції здійснюється через магістральний шинопровід ШМА68-НУЗ-4000, до якого приєднано чотири

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

розподільні шинопроводи ШРА-73-630. Використання такої структури мережі дозволяє мінімізувати кількість комутаційних елементів, спростити експлуатацію системи та створити умови для подальшого розширення виробничих потужностей без суттєвої реконструкції мережі.

Захист електрообладнання від перевантажень і струмів короткого замикання реалізовано шляхом застосування автоматичних вимикачів серій ЕО та ВА. Вибір параметрів захисної апаратури виконано на підставі результатів розрахунків робочих і аварійних режимів, що забезпечує необхідний рівень селективності, швидкодії та надійності захисту.

Перевірка режимів роботи проєктованої системи показала, що відхилення напруги в усіх контрольних точках мережі перебувають у межах, регламентованих нормативними документами. Це підтверджує відповідність розробленої системи вимогам щодо якості електричної енергії та гарантує стабільне функціонування технологічного обладнання.

Отже, у результаті виконаного проєктування повністю реалізовано поставлені завдання щодо створення системи електропостачання вузла електричних навантажень металообробного цеху. Запропоновані технічні рішення забезпечують високий рівень надійності електропостачання, енергетичної ефективності, безпеки експлуатації та відповідають сучасним вимогам до електроенергетичного забезпечення промислових підприємств.

					ЕТ і ЕЕ 4815.024.000 ПЗ	Лист
						51
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні положення з охорони праці

Охорона праці є невід’ємною складовою під час проєктування систем електропостачання промислових підприємств, особливо об’єктів металургійної та коксохімічної промисловості. Коксохімічні цехи належать до виробництв із підвищеним рівнем небезпеки через наявність високих температур, токсичних та вибухонебезпечних газів, агресивного середовища, а також великої кількості потужного електротехнічного обладнання.

Під час проєктування системи електропостачання вузла навантаження коксохімічного цеху необхідно враховувати вимоги нормативних документів щодо електробезпеки, пожежної безпеки, виробничої санітарії та безпечної експлуатації електроустановок.

Основними нормативними документами, які регламентують питання охорони праці, є:

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

Коксохімічне виробництво характеризується безперервністю технологічного процесу та використанням значної кількості електрообладнання: електродвигунів, трансформаторів, компресорів, насосів, вентиляторів, систем автоматизації та освітлення. Порух роботи системи електропостачання може призвести до аварійних ситуацій, зупинки технологічного процесу, пожежі або вибуху.

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами у коксохімічному цеху є:

- ураження електричним струмом;
- загазованість виробничих приміщень;
- вибухонебезпечне середовище;
- підвищена температура та теплове випромінювання;
- шум та вібрація;
- пожежна безпека;
- токсичний вплив продуктів коксування.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно передбачити комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на мінімізацію впливу небезпечних факторів на персонал.

3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Одним із найбільш небезпечних факторів під час експлуатації електрообладнання є електричний струм. Ураження електричним струмом може виникнути внаслідок пошкодження ізоляції, дотику до струмовідних частин або появи напруги на металевих корпусах обладнання. Умови коксохімічного виробництва, зокрема висока вологість та наявність агресивних речовин, підвищують ризик виникнення електротравм.

Особливу небезпеку становлять вибухонебезпечні гази, які утворюються в процесі коксування. До них належать водень, метан, оксид вуглецю та інші горючі гази. У разі виникнення іскри або перегріву електрообладнання можливе займання або вибух газоповітряної суміші.

Підвищена температура у виробничих приміщеннях негативно впливає на умови праці персоналу та роботу електрообладнання. Перегрів електродвигунів, трансформаторів та кабельних ліній може призвести до пошкодження ізоляції та виникнення аварійних ситуацій.

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У коксохімічних цехах також присутній високий рівень шуму, який створюють компресори, димососи, насоси та інше технологічне обладнання. Тривалий вплив шуму може викликати професійні захворювання, зниження концентрації уваги та підвищення ризику травматизму.

Шкідливим фактором є також загазованість виробничих приміщень токсичними речовинами. Витоки коксового газу та інших хімічних сполук можуть становити загрозу для життя і здоров'я працівників.

Для зменшення впливу небезпечних факторів необхідно:

- забезпечити герметичність технологічного обладнання;
- використовувати вибухозахищене електрообладнання;
- проводити контроль концентрації газів;
- забезпечити ефективну вентиляцію;
- здійснювати періодичний контроль стану ізоляції та заземлення.

3.3 Заходи забезпечення електробезпеки

Під час проєктування системи електропостачання вузла навантаження коксохімічного цеху особлива увага приділяється електробезпеці. Для захисту персоналу від ураження електричним струмом у проєкті передбачено використання комплексу технічних та організаційних заходів.

Одним із основних заходів є захисне заземлення електрообладнання. Усі металеві неструмовідні частини, які можуть опинитися під напругою у разі пошкодження ізоляції, повинні бути приєднані до контуру заземлення.

Для даного об'єкта рекомендується застосування системи заземлення типу TN-S, у якій нульовий робочий та захисний провідники розділені по всій довжині мережі. Це забезпечує високий рівень безпеки та надійності електропостачання.

Для захисту від струмів короткого замикання та перевантаження використовуються:

- автоматичні вимикачі;
- плавкі запобіжники;

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						54
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- релейний захист;
- пристрої автоматичного відключення.

У вибухонебезпечних зонах необхідно застосовувати електрообладнання у вибухозахищеному виконанні. Таке обладнання виключає можливість займання газоповітряної суміші внаслідок виникнення електричної дуги або нагріву поверхонь.

Для безпечного виконання робіт в електроустановках необхідно:

- виконувати роботи за нарядом-допуском;
- перевіряти відсутність напруги;
- встановлювати переносні заземлення;
- використовувати попереджувальні плакати;
- забезпечувати контроль відповідальної особи.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту:

- діелектричними рукавичками;
- діелектричним взуттям;
- захисними касками;
- ізолювальними штангами;
- показчиками напруги.

До обслуговування електроустановок допускаються лише працівники, які пройшли навчання, інструктаж та перевірку знань з електробезпеки.

3.4 Пожежна та вибухова безпека

Коксохімічні цехи належать до категорії особливо небезпечних виробництв з точки зору пожежної та вибухової безпеки. Основними причинами виникнення пожеж є короткі замикання, перевантаження електромереж, несправність електрообладнання, іскріння контактів та витоки горючих газів.

Для забезпечення пожежної безпеки у роботі передбачено:

- використання кабелів з негорючою ізоляцією;
- встановлення автоматичних систем захисту;

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						55
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- застосування вибухозахищеного обладнання;
- обладнання приміщень системами вентиляції;
- встановлення автоматичної пожежної сигналізації.

Для гасіння електроустановок під напругою використовуються порошкові та вуглекислотні вогнегасники. Використання води для гасіння електрообладнання під напругою забороняється.

Важливим заходом є контроль концентрації горючих газів у повітрі. Для цього використовуються газоаналізатори та автоматичні системи контролю загазованості.

У виробничих приміщеннях повинні бути розроблені:

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

Для запобігання накопиченню статичної електрики необхідно передбачити заземлення металевих конструкцій, трубопроводів та технологічного обладнання.

Регулярне технічне обслуговування електрообладнання та контроль стану контактних з'єднань дозволяють своєчасно виявляти несправності та запобігати аварійним ситуаціям.

3.5 Санітарно-гігієнічні умови праці

Важливою складовою охорони праці є забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних умов у виробничих приміщеннях коксохімічного цеху. Основними параметрами, які необхідно контролювати, є температура, вологість, рівень шуму, концентрація шкідливих речовин та освітленість.

Для підтримання допустимого мікроклімату у виробничих приміщеннях використовуються припливно-витяжні вентиляційні системи. Вони забезпечують видалення токсичних газів, пилу та надлишкового тепла.

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						56
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура повітря у виробничих приміщеннях повинна відповідати вимогам санітарних норм. Для приміщень електротехнічного призначення рекомендована температура становить 18–22 °С.

Виробниче освітлення повинно забезпечувати безпечне виконання робіт та відповідати вимогам нормативних документів. У цеху передбачаються:

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

Рівень шуму у виробничих приміщеннях не повинен перевищувати допустимі значення. Для зниження шуму використовуються:

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

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту:

- спецодягом;
- респіраторами;
- захисними окулярами;
- касками.

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

У результаті аналізу умов праці у коксохімічному цеху встановлено, що основними небезпечними факторами є електричний струм, вибухонебезпечні та токсичні гази, підвищена температура, шум, вібрація та пожежна небезпека.

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

- застосування захисного заземлення та автоматичного захисту;
- використання засобів індивідуального захисту;
- використання вибухозахищеного електрообладнання;

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						57
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- організація пожежного та газового контролю;
- забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних умов;
- проведення навчання та інструктажів персоналу.

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

					ET і EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						58
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано проєктування СЕП вузла навантаження коксохімічного цеху металургійної промисловості з урахуванням сучасних вимог до надійності, безпеки та енергоефективності промислових електроустановок.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу коксохімічного виробництва та визначено склад основних електроспоживачів цеху. Встановлено, що особливістю коксохімічного виробництва є безперервність технологічних процесів, наявність потужного електромеханічного обладнання та підвищені вимоги до надійності електропостачання через можливість виникнення значних матеріальних втрат у разі аварійного відключення електроенергії.

На підставі аналізу вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання. Визначено розрахункові значення активної, реактивної та повної потужностей, що дозволило обґрунтовано підійти до вибору основних елементів системи електропостачання та забезпечити необхідний резерв потужності для стабільної роботи технологічного обладнання.

У роботі розроблено та обґрунтовано схему електропостачання коксохімічного цеху, яка відповідає вимогам щодо надійності електропостачання споживачів відповідальних категорій. Виконано вибір силових трансформаторів, кабельних ліній і розподільчих пристроїв з урахуванням розрахункових навантажень, режимів роботи та умов експлуатації обладнання.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках електричної мережі. На основі отриманих результатів здійснено вибір комутаційної апаратури, засобів релейного захисту та автоматики. Вибране обладнання забезпечує надійне відключення аварійних режимів та відповідає вимогам щодо термічної й електродинамічної стійкості.

Для підвищення енергоефективності системи електропостачання виконано розрахунок компенсації реактивної потужності. Запропоновані заходи дозволяють знизити втрати електричної енергії в мережах, підвищити коефіцієнт потужності,

					<i>ET i EE 4815.024.000 ПЗ</i>	Лист
						59
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

покращити показники якості електричної енергії та зменшити навантаження на елементи системи електропостачання.

У розділі охорони праці розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для коксохімічного виробництва. Особливу увагу приділено питанням електробезпеки, пожежної та вибухової безпеки, оскільки технологічні процеси пов'язані з використанням та транспортуванням горючих газів і вибухонебезпечних речовин. Розроблено комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації електроустановок та захисту персоналу.

У результаті виконання роботи розроблено технічно обґрунтовану систему електропостачання вузла навантаження коксохімічного цеху, яка забезпечує безперебійне живлення технологічного обладнання, відповідає вимогам чинних нормативних документів та сприяє ефективному використанню електричної енергії.

Отримані в роботі результати можуть бути використані під час проєктування нових або модернізації існуючих систем електропостачання підприємств металургійної та коксохімічної промисловості, що сприятиме підвищенню надійності електропостачання, зменшенню енергетичних втрат та покращенню техніко-економічних показників виробництва.

					<i>ET і EE 4815.024.000 ПЗ</i>	Лист
						60
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування/ Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. — Київ, 2013. 424 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. / Рудницький В.Г. — Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. — 280 с.
3. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). — Харків : Форт, 2017. — 760 с.
4. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. — Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. — 166 с.
5. ДСТУ EN 61936-1:2017. Силкові 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 «ХПІ», 2018. — 176 с.

					<i>ET i EE 4815.024.000 ПЗ</i>	Лист
						61
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.Кодекс систем розподілу : затверджений постановою НКРЕКП № 310 від 14.03.2018 р.
- 17.Кодекс систем передачі : затверджений постановою НКРЕКП № 309 від 14.03.2018 р.
- 18.Березюк М.Д. Основи охорони праці : підручник. – Київ : Каравела, 2021. – 400 с.
- 19.Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями).
- 20.ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
- 21.Михайлів М.І., Соломчак О.В., Гоголюк П.Ф. Розрахунок електричних навантажень. Навчальний посібник. Івано-Франківськ : Факел, 2003. - 150 с.
- 22.Василега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. / Василега П.О. - Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. - 415 с.
23. Методичні рекомендації по виконанню курсової роботи з дисципліни «Електропостачання промислових підприємств»- Житомир: ЖВІРЕ, 2007. 25с.

					ET i EE 4815.024.000 ПЗ	Лист
						62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		