

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 прокатного 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 _____ Андрій РОМАНЮК
(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))

Романюк Андрій Володимирович

(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 прокатного 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, №4801-5/4399

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

3. Вихідні дані до роботи: найменування електроспоживачів напругою до 1 кВ, мінімальна та максимальна потужність 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 презентації	01.05.26-14.05.26	
5	Оформлення пояснювальної записки	15.05.26-01.06.26	

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

Здобувач вищої освіти _____ Андрій РОМАНЮК
(підпис) (ім'я, прізвище)

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему «Проектування СЕП вузла навантаження прокатного цеху металургійної промисловості» складається з 64 сторінок, містить 2 рисунків, 4 таблиць, ___ додатків та 20 найменувань використаних джерел.

Мета роботи – проектування системи електропостачання вузла навантаження прокатного цеху металургійної промисловості, яка забезпечує надійне та безперебійне електропостачання технологічного обладнання відповідно до вимог чинних нормативних документів.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз технологічного процесу прокатного виробництва та визначено склад основних електроспоживачів цеху.

На основі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання. Визначено розрахункові значення активної, реактивної та повної потужностей, що дозволило обґрунтувати вибір схеми електропостачання, потужності силових трансформаторів та параметрів розподільчої мережі.

У роботі здійснено вибір основного електрообладнання системи електропостачання, зокрема силових трансформаторів, кабельних ліній, шинопроводів, розподільчих пристроїв і комутаційної апаратури. Проведено перевірку вибраного обладнання на відповідність умовам нормальної експлуатації та аварійних режимів роботи.

Виконано розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках електричної мережі. На основі отриманих результатів здійснено вибір апаратів захисту, які забезпечують своєчасне виявлення та локалізацію аварійних режимів. Для підвищення ефективності використання електричної енергії виконано розрахунок компенсації реактивної потужності.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці та електробезпеки. Розглянуто небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для прокатного виробництва, а також розроблено заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації електроустановок, захисту персоналу від ураження електричним струмом і попередження аварійних ситуацій.

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

Ключові слова: система електропостачання, вузол навантаження, прокатний цех, металургійна промисловість, електричні навантаження, силовий трансформатор, компенсація реактивної потужності, струми короткого замикання, енергоефективність.

ABSTRACT

Explanatory note to the bachelor's qualification work on the topic "Design of the SEP of the load node of the rolling shop of the metallurgical industry" consists of 64 pages, contains 2 figures, 4 tables, ___ appendices and 20 names of sources used.

The purpose of the work is to design the power supply system of the load node of the rolling shop of the metallurgical industry, which ensures reliable and uninterrupted power supply of technological equipment in accordance with the requirements of current regulatory documents.

The qualification work analyzed the technological process of rolling production and determined the composition of the main electricity consumers of the shop.

Based on the initial data, the calculation of the electrical loads of the power supply node was performed. The calculated values of active, reactive and apparent powers were determined, which allowed to justify the choice of the power supply scheme, power of power transformers and parameters of the distribution network.

The work selected the main electrical equipment of the power supply system, in particular power transformers, cable lines, busbar trunking, switchgear and switching equipment. The selected equipment was checked for compliance with the conditions of normal operation and emergency operation.

The calculation of short-circuit currents at characteristic points of the electrical network was performed. Based on the results obtained, the selection of protection devices was carried out, which ensure timely detection and localization of emergency modes. To increase the efficiency of the use of electrical energy, the calculation of reactive power compensation was performed.

A separate section is devoted to the issues of labor protection and electrical safety. Dangerous and harmful production factors characteristic of rolling production were considered, and measures were developed to ensure the safe operation of electrical installations, protect personnel from electric shock and prevent emergency situations.

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

Keywords: power supply system, load unit, rolling mill, metallurgical industry, electrical loads, power transformer, reactive power compensation, short-circuit currents, energy efficiency.

ЗМІСТ

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

					ЕТ і ЕЕ 4815.008.000 ПЗ			
Змн	Арк	П.І.Б.	Підпис	Дата				
Розроб.	Романюк				Проектування СЕП вузла навантаження прокатного цеху металургійної промисловості		Літера	Аркуш
Перевір.	Кирисов							6
Н. контр							гр. 3ЕА-Е23(2к)	
Затверд.	Чернюк							
							Аркушів	64

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

Металургійна промисловість є однією з базових галузей національної економіки, що забезпечує виробництво металопродукції для машинобудування, будівництва, транспорту, енергетики та інших сфер господарської діяльності. Ефективність роботи металургійних підприємств значною мірою залежить від надійності та безперервності функціонування основних виробничих підрозділів, серед яких важливе місце займають прокатні цехи. Саме на стадії прокатного виробництва формується кінцева продукція у вигляді листового, сортового або фасонного прокату, що висуває підвищені вимоги до технологічного обладнання та систем його енергозабезпечення.

Прокатні цехи належать до найбільш енергоємних виробництв металургійної галузі. У їх технологічному процесі використовуються потужні електроприводи прокатних станів, рольгангів, ножиць, моталок, насосних станцій, вентиляційних та компресорних установок. Робота такого обладнання супроводжується значними коливаннями навантаження, високими пусковими струмами та споживанням реактивної потужності. У зв'язку з цим система електропостачання повинна забезпечувати необхідну якість електричної енергії, високу надійність живлення та безпечну експлуатацію електроустановок.

Сучасні умови розвитку промисловості вимагають підвищення енергоефективності виробництва, скорочення втрат електричної енергії та раціонального використання енергетичних ресурсів. Одним із основних шляхів досягнення цих цілей є впровадження ефективних систем електропостачання, які забезпечують оптимальні режими роботи електрообладнання, мінімізацію втрат потужності та підвищення коефіцієнта потужності підприємства.

Особливої актуальності набувають питання проєктування систем електропостачання вузлів навантаження промислових підприємств, оскільки саме на цьому рівні здійснюється розподіл електричної енергії між окремими групами споживачів. Раціональне проєктування вузла навантаження дозволяє

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечити надійність електропостачання відповідальних електроприймачів, підвищити ефективність роботи обладнання та знизити експлуатаційні витрати.

Одним із найважливіших етапів проєктування систем електропостачання є визначення електричних навантажень. Результати розрахунків навантажень використовуються для вибору потужності силових трансформаторів, перерізів кабельних ліній, комутаційної апаратури, пристроїв релейного захисту та автоматики. Помилки на цьому етапі можуть призвести до перевантаження елементів системи, погіршення якості електроенергії та виникнення аварійних ситуацій.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у необхідності розроблення надійної, безпечної та економічно ефективною системи електропостачання вузла навантаження прокатного цеху металургійної промисловості, яка забезпечуватиме безперебійне функціонування технологічного обладнання та відповідатиме сучасним вимогам енергоефективності й нормативним вимогам у сфері електропостачання промислових підприємств.

Метою кваліфікаційної роботи є проєктування системи електропостачання вузла навантаження прокатного цеху металургійної промисловості, яка забезпечує надійне та безпечне електропостачання виробничого обладнання при мінімальних втратах електричної енергії та оптимальних техніко-економічних показниках.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати технологічний процес прокатного цеху та склад його електроспоживачів;
- визначити категорії надійності електроприймачів і вимоги до їх електропостачання;
- виконати розрахунок електричних навантажень вузла навантаження;
- обґрунтувати вибір схеми електропостачання цеху;
- здійснити вибір силових трансформаторів та розподільчих пристроїв;

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- виконати вибір кабельних ліній і струмопровідних елементів;
- провести розрахунок струмів короткого замикання;
- вибрати комутаційну апаратуру та засоби релейного захисту;
- виконати розрахунок компенсації реактивної потужності;
- провести оцінку техніко-економічної ефективності прийнятих 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 прокатного цеху. Запропоновані рішення можуть бути використані під час проєктування нових або модернізації існуючих електроенергетичних систем металургійних підприємств. Їх впровадження сприятиме підвищенню надійності електропостачання, зменшенню втрат електроенергії, покращенню якості електричної енергії та зниженню експлуатаційних витрат.

Таким чином, проєктування системи електропостачання вузла навантаження прокатного цеху металургійної промисловості є актуальним інженерним завданням, вирішення якого має важливе значення для забезпечення стабільної роботи виробництва, підвищення енергоефективності підприємства та покращення його техніко-економічних показників.

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						10
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Аналіз технологічних особливостей виробництва є необхідною складовою проектування систем електропостачання промислових підприємств, оскільки дає змогу оцінити можливі наслідки порушення електроживлення, визначити ступінь відповідальності окремих вузлів навантаження та встановити вимоги до надійності функціонування електричних мереж. Результати такого аналізу використовуються для вибору кількості незалежних джерел живлення, обґрунтування структури живильних і розподільних мереж, а також визначення необхідності впровадження засобів автоматичного резервування та інших елементів мережевої автоматики.

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

До електроприймачів першої категорії належать споживачі, припинення електроживлення яких може становити загрозу для життя та здоров'я людей, спричинити значні матеріальні збитки, пошкодження дороговартісного обладнання, масовий випуск бракованої продукції або порушення безперервності складних технологічних процесів.

Другу категорію становлять електроприймачі, відключення яких призводить до суттєвого зменшення обсягів виробництва, простою персоналу, технологічного обладнання чи внутрішньозаводського транспорту, що негативно впливає на виробничу діяльність підприємства.

До третьої категорії відносять електроспоживачів, які не підпадають під критерії першої та другої категорій. Як правило, це допоміжні виробництва, складські комплекси та інші об'єкти, відключення яких не має критичного впливу на основний технологічний процес.

Рівень надійності електропостачання безпосередньо визначає вимоги до структури системи живлення та кількості незалежних джерел електроенергії. Для

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

споживачів першої категорії передбачається живлення від двох і більше незалежних джерел, а допустима перерва в електропостачанні обмежується лише часом спрацювання систем автоматичного ввімкнення резерву. Електроприймачі другої категорії можуть отримувати живлення від одного або двох джерел залежно від виробничої значущості об'єкта та місцевих умов експлуатації. При цьому допускається короткочасна перерва, необхідна для ручного або автоматизованого підключення резервного живлення. Для електроприймачів третьої категорії зазвичай достатнім є одне джерело живлення, а допустима тривалість відключення може становити до однієї доби, що необхідно для виконання ремонтних робіт або заміни пошкоджених елементів мережі.

У структурі прокатного виробництва основними споживачами електричної енергії є приводи робочих клітей прокатних станів та електроприводи допоміжних механізмів. Головні приводи забезпечують виконання основної технологічної операції - пластичної деформації металу, тоді як допоміжні механізми здійснюють транспортування, різання, переміщення та подальшу обробку металопродукції.

Режим роботи головних приводів прокатних станів характеризується значною нерівномірністю навантаження. У процесі прокатки виникають короткочасні пікові навантаження тривалістю від кількох секунд до кількох хвилин. Значення таких навантажень можуть досягати 2–2,5-кратної номінальної потужності для двигунів постійного струму та 4–4,5-кратної — для електродвигунів змінного струму. Періоди максимального навантаження чергуються з режимами холостого ходу, а в реверсивних прокатних станах додатково спостерігається повернення електроенергії до мережі в режимі рекуперації.

Головні електроприводи безперервних гарячих широкосмугових прокатних станів належать до першої категорії електропостачання, оскільки їх аварійне відключення може спричинити суттєве порушення технологічного циклу та значні економічні втрати. Водночас реверсивні стани переважно відносять до другої категорії, оскільки для них допускається короткочасне припинення живлення,

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідне для переходу на резервне джерело. Тривала відсутність електроживлення прокатних агрегатів є неприпустимою через значні збитки, пов'язані з простоєм обладнання та порушенням виробничого процесу.

Підвищення рівня надійності електропостачання прокатних цехів забезпечується не лише резервуванням джерел живлення, а й систематичним проведенням профілактичного обслуговування електрообладнання під час планових зупинок виробництва для поточного ремонту технологічних агрегатів.

До складу допоміжного обладнання прокатних станів входять крани, рольганги, похилі столи, шлепери, натискні пристрої, кантувачі, летючі ножиці, моталки та інші механізми, потужність приводів яких може змінюватися від десятків до кількох тисяч кіловат.

Більшість допоміжних електроприводів працює у повторно-короткочасному режимі з тривалістю ввімкнення 15–40 % та великою кількістю пусків протягом робочого циклу. За інтенсивності роботи до 400 пусків на годину переважно використовують асинхронні електродвигуни. Для більш напружених режимів застосовують двигуни постійного струму, які також забезпечують можливість плавного регулювання швидкості обертання.

В умовах експлуатації, пов'язаних із впливом високих температур та гарячого металу, широкого застосування набули асинхронні короткозамкнені двигуни, які характеризуються високою механічною міцністю, простотою конструкції та підвищеною експлуатаційною надійністю. Регулювання швидкості їх обертання здійснюється за допомогою частотних перетворювачів шляхом зміни частоти живильної напруги в широкому діапазоні, зокрема від 50 до 10 Гц.

Оскільки функціонування допоміжних механізмів безпосередньо пов'язане з роботою основного технологічного обладнання, вимоги до надійності їх електропостачання є аналогічними вимогам, що висувуються до головних приводів прокатних станів. Вихід з ладу будь-якого з допоміжних механізмів може спричинити зупинку всього виробничого комплексу.

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						13
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Прокатне виробництво належить до безперервних технологічних процесів зі стаціонарним розташуванням обладнання. Подальший розвиток таких виробництв пов'язаний насамперед із впровадженням автоматизованих систем керування, удосконаленням технологічних режимів та підвищенням продуктивності праці.

Прокатні цехи є завершальною ланкою металургійного виробництва повного циклу, що охоплює всі стадії перероблення сировини - від коксохімічного та доменного виробництва до отримання готової металопродукції.

Електроприймачі інженерних систем адміністративних і допоміжних будівель, зокрема систем опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, водопостачання, водовідведення, електрохімічного захисту, а також внутрішнього й зовнішнього освітлення, переважно відносяться до третьої категорії надійності електропостачання.

Наявність значної кількості електроприймачів першої категорії обумовлює підвищені вимоги до надійності системи електропостачання металургійних підприємств. Для забезпечення необхідного рівня резервування на всіх ступенях розподілу електричної енергії передбачається секціонування збірних шин. У нормальному режимі всі елементи системи перебувають під навантаженням, а в разі аварійного відключення одного з них навантаження автоматично перерозподіляється між працездатними елементами з урахуванням допустимих перевантажень.

Вибір електротехнічного обладнання для об'єктів металургійної промисловості здійснюється з урахуванням умов навколишнього середовища, рівня пожежної та вибухової небезпеки, а також особливостей технологічного процесу. Типи силового обладнання, апаратури керування, захисту й сигналізації, а також конструктивне виконання живильних і розподільних мереж визначаються на підставі розрахункових електричних навантажень технологічних, освітлювальних та допоміжних установок.

Під час вибору обладнання враховуються його функціональне призначення, рівень експлуатаційної надійності, вимоги безпеки, ремонтпридатність, наявність

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						14
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

резерву, доступність запасних частин та економічна доцільність використання. Важливим критерієм також є позитивний досвід експлуатації аналогічних технічних рішень на споріднених промислових об'єктах.

Для електрообладнання, що встановлюється у вибухонебезпечних зонах, передбачаються відповідні рівні вибухозахисту, які визначаються класом вибухонебезпечної зони, категорією та групою вибухонебезпечних сумішей. Конструктивне виконання такого обладнання повинно забезпечувати безпечну експлуатацію в умовах потенційного утворення вибухонебезпечного середовища.

Живлення електродвигунів змінного струму на підприємствах металургійної галузі здійснюється від мереж із номінальною напругою 380 В, 6 кВ та 10 кВ залежно від встановленої потужності електроприводів, режимів їх роботи та вимог технологічного процесу.

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень у мережі напругою до 1 кВ

Визначення розрахункових електричних навантажень є одним із ключових завдань під час проєктування систем електропостачання промислових підприємств, оскільки отримані результати слугують основою для вибору параметрів силового обладнання, формування структури електричних мереж та забезпечення необхідних техніко-економічних показників системи. На підставі розрахункових навантажень здійснюється підбір номінальної потужності трансформаторів, визначення перерізів кабельних і шинних ліній, вибір комутаційно-захисної апаратури, а також інших складових електротехнічної інфраструктури підприємства.

Достовірність розрахунку електричних навантажень безпосередньо впливає на надійність, економічність та ефективність функціонування системи електропостачання. Завищення розрахункових показників зумовлює необхідність застосування обладнання із надлишковими технічними характеристиками, використання провідників збільшеного перерізу та встановлення трансформаторів більшої потужності. Наслідком такого підходу є необґрунтоване зростання капітальних витрат, збільшення вартості реалізації проєкту та зниження ефективності використання інвестиційних ресурсів.

Водночас заниження розрахункових навантажень може призвести до роботи електрообладнання в умовах перевантаження або в режимах, близьких до гранично допустимих. За таких умов зростає тепловий вплив на струмоведучі елементи мережі, прискорюються процеси старіння ізоляційних матеріалів, збільшуються втрати електричної енергії та зменшується експлуатаційний ресурс електротехнічного обладнання. Крім того, погіршуються показники надійності та безпеки функціонування системи електропостачання в цілому.

З огляду на зазначене, визначення розрахункових навантажень є одним із найвідповідальніших етапів як під час створення нових систем електропостачання,

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

так і при модернізації, реконструкції та технічному переоснащенні діючих промислових об'єктів.

У практиці сучасного електротехнічного проектування застосовується низка методів розрахунку електричних навантажень. Вибір конкретної методики залежить від комплексу вихідних умов, серед яких особливе значення мають:

- повнота та достовірність початкової інформації;
- положення розрахункового вузла в ієрархічній структурі системи електропостачання;
- кількість, тип та встановлена потужність електроприймачів;
- характер технологічного процесу і режими роботи обладнання;
- вимоги до точності розрахункових результатів.

У даній роботі для визначення розрахункових електричних навантажень використано метод упорядкованих діаграм, який належить до найбільш поширених та науково обґрунтованих методів розрахунку навантажень промислових споживачів. Зазначена методика широко застосовується під час розроблення технічної та робочої документації систем електропостачання виробничих підприємств і забезпечує достатню точність результатів для інженерних розрахунків.

Принцип методу базується на визначенні розрахункової активної потужності за допомогою середнього значення навантаження групи електроприймачів та коефіцієнта максимуму, який відображає ймовірність одночасної роботи окремих споживачів у період найбільшого електроспоживання. Урахування статистичних особливостей функціонування електрообладнання дозволяє отримати значення навантаження, максимально наближені до реальних умов експлуатації, що сприяє обґрунтованому вибору елементів системи електропостачання.

Розрахункове значення активної потужності на будь-якому рівні живильних і розподільних мереж визначається як добуток середньої потужності групи електроприймачів та коефіцієнта максимуму, який характеризує особливості режиму їх роботи в період досягнення найбільшого рівня навантаження:

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						17
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 (підйомно-транспортне встаткування, зварювальні машини) до номінальної потужності у кВт по виразу:

$$P_H = P_{псп} \sqrt{P_B} = 2000 \cdot \sqrt{0,25} = 1000 \text{ кВт}$$

$$P_H = S_H \cdot \cos \phi \sqrt{P_B} = 1750 \cdot 0,35 = 612 \text{ кВт}$$

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

На першому етапі визначаємо сумарну номінальну потужність вузла навантаження:

$$\sum P_{Hi} = 6671 \text{ кВт.}$$

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 4815.008.000 ПЗ	Лист
						18
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{cm1} = P_{n1} \cdot K_{n1} = 2400 \cdot 0,35 = 840 \text{ кВт};$$

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

$$Q_{cm1} = P_{cm1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 840 \cdot 1,17 = 982 \text{ квар.}$$

Подальший розрахунок для інших характерних груп аналогічний та зводиться до таблиці 2.1.

$$\sum P_{cmi} = 2420,3 \text{ кВт}; \sum Q_{cmi} = 3070,8 \text{ квар.}$$

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

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

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.

$$K_{в. \text{ гр.}} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{змi}}{\sum_{i=1}^m P_{ni}} = \frac{2420}{6671} = 0,36$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.1.

Після цього визначаємо ефективне число електроприймачів.

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

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

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

.

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						19
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 I p, А
	Найменування характерних груп ЕП	В шт. п	Номінальна (встан.) потужність, кВт			Коеф. викор.	cosφ	tgφ	P _{зм} , кВт	Q _{зм} , кВар						
			Одного ЕП P _{nmin} \P _{nmax}	Загальна P _n	Потужність при ПВ=1											
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Привід рольгангів	250	8\70	2400,00	2400,00	0,35	0,65	1,17	840,00	982,07						
2	Привід хитних столів	120	1\20	750,00	750,00	0,35	0,65	1,17	262,50	306,90						
3	Вентилятори	100	1\10	550,00	550,00	0,75	0,80	0,75	412,50	309,38						
4	Насоси, компресори	40	0,5\40	300,00	300,00	0,75	0,80	0,75	225,00	168,75						
5	Крани, тельфери, ПВ=25%	80	10\300	2000,00	1000,00	0,18	0,45	1,98	180,00	357,21						
6	Крани, тельфери, ПВ=40%	50	10\80	1200,00	758,95	0,18	0,45	1,98	136,61	271,10						
7	Звар. машини шовного зварювання, S _n , кВА	100	10\40	1750,00	612,50	0,30	0,35	2,68	183,75	491,79						
8	Елеватори. Конвеєри зблоковані	30	3\20	300,00	300,00	0,60	0,70	1,02	180,00	183,64						
9	Разом силові ЕП:	770	300,00		6671,45	0,36			2420,36	3070,84	44,48	0,75	1815,2	2303,1	2932,5	4232,71
10	Освітлювальні ЕП:				143,5			0,95	0,33				149,98	49,30	157,87	227,87
11	Усього по цеху:				6814,97								1965,5	2352,2	3065,1	4424,39

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

Р _p +Р _{ро}	Q _p +Q _{ро}	S _p	S _{нтр}	В	N _{min}	N _{опт}	Q _t	Q _{нк1}	Q _{нк1'}	Q _{нк1} спр	Q _{неск}	j	Q _{нк2}	Q _{нк} *N _{опт}
1965,25	2352,42	3065,31	1600,00	0,65	1,89	2,00	681,32	1671,10	835,55	750,00	852,42	0,44	-555,58	1500,00

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

Цю формулу використовують, якщо виконується умова:

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

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{н1}}{P_{н\max}} = \frac{2 \cdot 6671}{300} = 44$$

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

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

У моєму випадку, при $n_{\text{Еф}}=44$ і $K_{и\text{ гр. вЗВ}} = 0,36$

$$K_p = 0,75$$

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

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

$$P_p = 0,75 \cdot 2420 = 1815 \text{ кВт}$$

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

$$Q_p = 0,75 \cdot 3070,8 = 2303 \text{ квар}$$

Вважаємо повне навантаження від силових електроприймачів:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1815^2 + 2303^2} = 2932, \text{ кВА}$$

Знаходимо розрахунковий струму по повному навантаженню:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2932}{1,73 \cdot 0,4} = 4232 \text{ А.}$$

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 4815.008.000 ПЗ	Лист
						21
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 $K_{\text{с.о}}$:

$$P_{\text{р.о.}} = P_{\text{н.о.}} \cdot K_{\text{с.о.}} \cdot K_{\text{ПРА}} = 143,5 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 149,9, \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р.о.}} = P_{\text{р.о.}} \cdot \tan \phi = 158,13 \cdot 0,33 = 49,3 \text{ квар}$$

$$S_{\text{ро}} = \sqrt{P_{\text{ро}}^2 + Q_{\text{ро}}^2} = \sqrt{149,9^2 + 49,3^2} = 157,8, \text{ кВА}$$

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.

$$P_{\text{р.с.}} = 1815 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р.с.}} = 2303 \text{ квар}$$

$$S_{\text{р.с.}} = 2932 \text{ кВА.}$$

2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ

Визначення необхідної сумарної потужності НКБ, що встановлюються в цеховій системі електропостачання, здійснюється на основі техніко-економічних розрахунків, критерієм яких є забезпечення мінімального рівня приведених витрат. Розрахунок виконується послідовно у два основні етапи.

На першому етапі визначається економічно доцільна кількість силових трансформаторів цехової трансформаторної підстанції з урахуванням величини електричних навантажень, режимів роботи обладнання, вимог до надійності електропостачання та показників економічної ефективності.

Другий етап передбачає розрахунок додаткової потужності конденсаторних установок низької напруги, необхідної для компенсації реактивної потужності.

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						22
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою такого розрахунку є забезпечення раціонального режиму роботи силових трансформаторів, зниження втрат активної потужності та електричної енергії в трансформаторному обладнанні, а також мінімізація втрат у розподільних мережах підприємства напругою 6–10 кВ.

У результаті виконання зазначених розрахунків визначається сумарна розрахункова потужність низьковольтних конденсаторних батарей $Q_{\text{нк}}$, яка забезпечує необхідний рівень компенсації реактивної потужності та оптимізацію техніко-економічних показників системи електропостачання:

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

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

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

Визначення оптимальної кількості та номінальної потужності силових трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій належить до найбільш відповідальних етапів проектування систем електропостачання промислових об'єктів. Прийняття обґрунтованого технічного рішення здійснюється на основі комплексного техніко-економічного аналізу, який враховує особливості режимів електроспоживання, вимоги до надійності електропостачання та умови експлуатації електрообладнання. При цьому до уваги беруться категорія надійності електроприймачів, рівень компенсації реактивної потужності в мережах низької напруги, допустимі перевантаження трансформаторів у нормальних і післяаварійних режимах роботи, стандартизований ряд номінальних потужностей трансформаторного обладнання, а також характер зміни навантаження впродовж доби та року.

Застосування надмірної кількості силових трансформаторів на підстанції здебільшого є економічно недоцільним. Незалежно від того, чи йдеться про цехову трансформаторну підстанцію, чи про підстанцію загальнопромислового

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						23
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

призначення, збільшення кількості трансформаторних агрегатів супроводжується зростанням обсягу капітальних вкладень, підвищенням експлуатаційних витрат та збільшенням витрат електричної енергії. Це пояснюється тим, що трансформатори меншої потужності зазвичай мають нижчі показники енергетичної ефективності порівняно з потужнішими аналогами. Крім того, виникає потреба у встановленні більшої кількості комутаційних апаратів, збільшується витрата провідникових матеріалів, ускладнюється схема електричних з'єднань та погіршуються умови технічного обслуговування підстанції.

Під час вибору трансформаторного обладнання доцільно керуватися низкою інженерних рекомендацій. Зокрема, трансформатори номінальною потужністю понад 1000 кВА рекомендується застосовувати за наявності значних зосереджених навантажень, таких як електротермічні установки, потужні електропечі, велика кількість однофазних споживачів або електроприймачі з різко змінними режимами роботи. До останніх належать, зокрема, електрозварювальні установки та інше обладнання, для якого характерні значні короткочасні піки навантаження. Використання трансформаторів підвищеної потужності також є доцільним у виробничих приміщеннях із високою щільністю електричного навантаження.

З метою підвищення рівня уніфікації обладнання та спрощення експлуатації рекомендується забезпечувати максимальну однотипність трансформаторів, установлених на цехових підстанціях. Використання трансформаторів одного типорозміру сприяє зменшенню номенклатури запасних частин, полегшує проведення ремонтних робіт і підвищує взаємозамінність обладнання.

У двотрансформаторних підстанціях, а також в одотрансформаторних підстанціях, що працюють у складі магістральних схем електропостачання, номінальна потужність кожного трансформатора повинна визначатися з урахуванням можливості забезпечення живлення відповідальних споживачів у разі аварійного відключення одного з джерел живлення. У післяаварійному режимі трансформатор, який залишається в роботі, повинен забезпечувати електропостачання електроприймачів I та II категорій надійності з урахуванням допустимих перевантажень. Навантаження споживачів III категорії при цьому

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

допускається тимчасово відключати до завершення аварійно-відновлювальних робіт.

Для виконання зазначеної умови номінальну потужність кожного трансформатора двотрансформаторної підстанції зазвичай приймають на рівні приблизно 70 % від сумарної розрахункової потужності цеху. За такого співвідношення у випадку виходу з експлуатації одного трансформатора другий спроможний сприйняти навантаження, що становить близько 140 % його номінальної потужності, що відповідає допустимим межам аварійного перевантаження протягом нормативно встановленого часу.

Мінімально необхідна кількість цехових трансформаторів однакової номінальної потужності, призначених для живлення технологічно взаємопов'язаних електроспоживачів, визначається за виразом:

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

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

ΔN - добавка до найближчого цілого числа.

$$N_{\min} = \frac{P_{\text{р.с.}} + P_{\text{р.о.}}}{\beta \cdot S_{\text{н.тр}}} + \Delta N = \frac{1965}{0,65 \cdot 1600} = 1,89 + 0,11 = 2$$

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

$$N_{\text{опт}} = N_{\min} + m$$

де m - додатково встановлені трансформатори.

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

$$N_{\text{опт}} = 2 + 0 = 2$$

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

					ЕТ і ЕЕ 4815.008.000 ПЗ	Лист
						25
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

кВ по виразу:

$$Q_T = \sqrt{(\beta \cdot N_{\text{опт}} \cdot S_{\text{н.тр}})^2 - (P_p + P_{\text{р.о.}})^2} = \sqrt{(0,6 \cdot 2 \cdot 1600)^2 - 1965^2} = 681 \text{ квар}$$

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

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 2352 - 681 = 1671 \text{ квар}$$

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

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

$$Q'_{\text{нк1}} = \frac{Q_{\text{нк1}}}{N_{\text{опт}}} = \frac{1671}{2} = 835 \text{ квар}$$

Вибираємо комплектну конденсаторну установку по найближчій стандартній потужності:

Вибираємо УКН - 0,38 - 750УЗ [1]

$$Q'_{\text{нк1дов.}} = 750 \text{ квар.}$$

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ буде складати:

$$Q_{\text{неск}} = (Q_p + Q_{\text{р.о.}}) - Q''_{\text{нк1.СПР}} = 2352 - 2 \cdot 750 = 852 \text{ квар}$$

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

					ЕТ і ЕЕ 4815.008.000 ПЗ	Лист
						26
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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 $\gamma = 0,44$.

$$Q_{HK2} = Q_{HECK} - \gamma \cdot N_{TЭ} \cdot S_{HT} = 852 - 0,44 \cdot 2 \cdot 1600 = -555,58 \text{ квар}$$

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

$$Q_{HK} = Q_{HK1} = 750 \cdot 2 = 1500 \text{ квар.}$$

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

Проведений розрахунок показав доцільність установки двох трансформаторів потужністю $S_{НОМ} = 1600$ кВА та установці в мережі 0,4 кВ НКБ, сумарною потужністю 1500 квар.

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Визначення раціонального місця встановлення цехових трансформаторних підстанцій належить до числа найважливіших завдань під час проєктування систем електропостачання промислових підприємств. Ефективність розташування трансформаторних пунктів значною мірою залежить від характеру просторового розподілу електричних навантажень, планувальної структури виробничих приміщень, розміщення технологічного обладнання, можливості впровадження засобів компенсації реактивної потужності, а також умов виробничого середовища, що визначаються специфікою технологічного процесу.

Практика проєктування та експлуатації систем промислового електропостачання, а також результати науково-технічних досліджень свідчать про доцільність розміщення трансформаторних підстанцій у безпосередній близькості до центрів електричних навантажень. Такий підхід забезпечує скорочення довжини

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						27
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

внутрішньоцехових електричних мереж, зменшення витрат провідникової продукції та зниження втрат електроенергії під час її передавання від джерела живлення до електроспоживачів.

У сучасних умовах розвитку промислового електропостачання переважного поширення набули комплектні трансформаторні підстанції, що характеризуються високим рівнем заводської готовності та можливістю автономного монтажу незалежно від конструктивних особливостей будівлі. Використання таких підстанцій сприяє скороченню тривалості монтажних робіт, підвищенню якості введення об'єктів в експлуатацію та зменшенню загальних капітальних витрат.

Одним із базових принципів побудови сучасних систем електропостачання є принцип глибокого введення електричної енергії. Його реалізація передбачає підведення електроенергії підвищеної напруги безпосередньо до зон концентрації навантажень з подальшим пониженням напруги в місцях, максимально наближених до електроприймачів. Застосування цього принципу забезпечує оптимізацію структури розподільних мереж, підвищення енергетичної ефективності системи та зменшення технологічних втрат електроенергії.

Під час вибору місця встановлення комплектної трансформаторної підстанції, а також визначення кількості й номінальної потужності силових трансформаторів необхідно враховувати величину розрахункових навантажень, вимоги до надійності електропостачання споживачів, вплив виробничих та кліматичних факторів, а також умови безпечної та безперервної експлуатації електротехнічного обладнання.

Для забезпечення електроживлення виробничого цеху доцільним є застосування вбудованої комплектної трансформаторної підстанції. Аналіз виробничих умов свідчить про відсутність обмежень щодо реалізації такого технічного рішення. Характеристики мікроклімату виробничого приміщення та особливості технологічного процесу відповідають вимогам нормативних документів щодо розміщення трансформаторного обладнання безпосередньо в межах цеху.

Використання вбудованої комплектної трансформаторної підстанції забезпечує підведення електроенергії напругою понад 1 кВ безпосередньо до зони

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						28
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

розташування електроприймачів. Завдяки цьому істотно скорочується довжина розподільних мереж низької напруги, зменшуються витрати на спорудження внутрішньоцехових кабельних ліній та підвищується економічна ефективність системи електропостачання. Додатковим позитивним ефектом є зниження втрат активної потужності в мережах напругою 0,4 кВ.

Для підвищення надійності електропостачання та забезпечення резервування відповідальних навантажень у разі аварійного відключення одного із силових трансформаторів у мережі низької напруги передбачаються міжсекційні резервні зв'язки. Їх пропускна здатність приймається на рівні близько 70 % від номінальної потужності трансформатора, що забезпечує можливість підтримання електроживлення найбільш важливих електроприймачів у післяаварійних режимах роботи.

У складі цехової комплектної трансформаторної підстанції передбачається встановлення трифазних силових трансформаторів із первинною напругою 10 кВ. Для відведення тепла використовується масляна система охолодження, яка забезпечує ефективний теплообмін та підтримання допустимого температурного режиму роботи обладнання. Для даного об'єкта прийнято герметичні масляні трансформатори типу ТМЗ закритого виконання. Зазначене обладнання характеризується високою експлуатаційною надійністю, мінімальними витратами на технічне обслуговування та відсутністю необхідності постійного контролю рівня трансформаторного масла протягом усього терміну служби.

2.4. Вибір схеми внутріцехової мережі напругою до 1 кВ

Проектування внутрішньоцехових систем розподілу електричної енергії передбачає вибір оптимальної структури мережі, оскільки саме від прийнятої схеми значною мірою залежать показники надійності електропостачання, економічна ефективність функціонування електроустановок, рівень експлуатаційної безпеки та перспективи подальшої модернізації виробничого комплексу.

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						29
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Електричні мережі промислових цехів повинні забезпечувати безперервне електроживлення споживачів відповідно до встановленої категорії надійності, створювати безпечні умови для роботи персоналу та експлуатації обладнання, характеризуватися високими техніко-економічними показниками й мінімальними витратами на обслуговування. Важливим аспектом також є можливість широкого використання індустріальних методів монтажу, що дозволяють скоротити строки виконання робіт та підвищити їхню якість.

За способом організації розподілу електроенергії внутрішньоцехові мережі поділяються на магістральні та радіальні. Кожен із зазначених варіантів має власні конструктивні особливості, технічні переваги та обмеження, які визначають доцільність його використання в конкретних виробничих умовах.

Магістральна схема розподілу електроенергії найбільш раціональна для виробничих об'єктів із рівномірним територіальним розміщенням електроприймачів або для груп обладнання, об'єднаних єдиним технологічним процесом. У такій системі передача електричної енергії здійснюється через спільний магістральний канал живлення, від якого отримують електроенергію окремі групи споживачів. Це сприяє зменшенню протяжності розподільних ліній, скороченню кількості електротехнічного обладнання та більш раціональному використанню матеріальних ресурсів.

Разом із тим особливістю магістральних мереж є залежність значної кількості споживачів від надійності однієї живильної магістралі. У разі її пошкодження можливе одночасне припинення електропостачання всіх підключених електроприймачів. Для підвищення рівня надійності в мережах напругою 0,4 кВ передбачаються резервні міжсекційні перемички, які забезпечують можливість подачі живлення від суміжних ділянок мережі в аварійних режимах.

Однією з ключових переваг магістральної системи є її економічна ефективність. Скорочення кількості комутаційної апаратури, зменшення довжини кабельних трас та спрощення конфігурації мережі дозволяють суттєво знизити капітальні та експлуатаційні витрати. Додаткові переваги забезпечує

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						30
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

використання комплектних шинопроводів заводського виготовлення, які характеризуються високим ступенем уніфікації та значно зменшують трудомісткість монтажних робіт.

Порівняно з радіальними мережами магістральні схеми мають вищі значення струмів короткого замикання. Водночас завдяки компактнішій структурі та меншій довжині ліній вони забезпечують зниження втрат напруги та активної потужності під час транспортування електричної енергії.

Радіальний принцип побудови мережі передбачає підключення кожного електроприймача або окремої групи споживачів до розподільного пристрою низької напруги трансформаторної підстанції за допомогою індивідуальної живильної лінії. Така схема є найбільш доцільною для підприємств із концентрованими навантаженнями або нерівномірним розташуванням технологічного обладнання.

Основною перевагою радіальних мереж є високий рівень локалізації аварійних пошкоджень. Вихід з ладу окремої лінії впливає лише на підключених до неї споживачів і не порушує роботу інших ділянок системи. Це дозволяє оперативно виявляти місце несправності та мінімізувати наслідки аварійних ситуацій. Саме тому радіальні схеми широко застосовуються для живлення особливо відповідальних електроприймачів.

Разом із перевагами радіальні системи потребують більших фінансових витрат через необхідність прокладання значної кількості кабельних ліній, встановлення додаткової комутаційної та захисної апаратури, а також збільшення обсягів монтажних робіт. Крім того, такі мережі меншою мірою відповідають сучасним тенденціям індустріалізації будівництва електротехнічних об'єктів.

У сучасній практиці проєктування промислових систем електропостачання значного поширення набула схема «блок трансформатор – магістраль» (БТМ). Найвища ефективність її використання досягається за умови розташування трансформаторних підстанцій у безпосередній близькості до центрів електричних навантажень.

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						31
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування схеми БТМ дає можливість істотно спростити структуру внутрішньоцехової мережі. У такому випадку комплектна трансформаторна підстанція може функціонувати без окремого розподільного пристрою низької напруги. Передача електроенергії від силового трансформатора здійснюється безпосередньо до магістрального шинопроводу, від якого живляться розподільні шинопроводи або окремі групи електроспоживачів.

Використання магістральних шинопроводів дозволяє зменшити кількість контактних з'єднань, підвищити експлуатаційну надійність системи, спростити технічне обслуговування та створити умови для подальшого розширення або модернізації мережі. Крім того, така структура електропостачання сприяє зниженню капітальних витрат і покращенню показників енергоефективності підприємства.

Обрана схема електропостачання виробничого цеху наведена в графічній частині проєкту. Вона відображає взаємне розташування джерел живлення, трансформаторної підстанції, магістральних і розподільних мереж, а також основних груп електроспоживачів, що дозволяє отримати цілісне уявлення про структуру та принцип функціонування розробленої системи електропостачання.

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

У процесі функціонування систем електропостачання промислових підприємств можливе виникнення аварійних і ненормованих режимів роботи електричних мереж. Найбільш поширеними та потенційно небезпечними серед них є перевантаження та короткі замикання, які супроводжуються значним збільшенням сили струму в струмоведучих частинах електроустановок. Наслідком таких режимів є інтенсивне теплове навантаження на елементи мережі, прискорене старіння ізоляційних матеріалів, зниження експлуатаційної надійності електрообладнання та підвищення ризику його пошкодження або виходу з ладу.

Для забезпечення стабільної, безпечної та безаварійної роботи

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						32
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

внутрішньоцехових електричних мереж на стадії проєктування необхідно передбачати ефективну систему захисту від надструмів, спричинених перевантаженнями та короткими замиканнями. Основним призначенням захисної апаратури є своєчасне виявлення пошкодженої ділянки мережі та її автоматичне відключення протягом мінімально можливого часу. Такий підхід дозволяє локалізувати аварійний процес у межах пошкодженої ділянки, запобігти поширенню негативного впливу на суміжні елементи системи та забезпечити подальше функціонування справних електроустановок.

Для реалізації захисту електричних мереж виробничих об'єктів застосовується комплекс комутаційно-захисних пристроїв, вибір яких здійснюється з урахуванням параметрів навантаження, особливостей технологічного процесу та умов експлуатації. До найбільш поширених засобів захисту належать плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі та теплові реле, що використовуються у складі магнітних пускачів.

Плавкі запобіжники виконують функцію захисту електричних кіл від струмів короткого замикання. Принцип їхньої дії базується на термічному руйнуванні плавкої вставки в разі перевищення допустимого значення струму, що забезпечує швидке розмикання електричного кола та припинення аварійного режиму.

Автоматичні вимикачі є універсальними апаратами, які поєднують функції захисту та комутації. Вони забезпечують автоматичне відключення електричних мереж при виникненні перевантажень або коротких замикань, а також використовуються для оперативного керування режимами роботи електрообладнання в нормальних умовах експлуатації.

Теплові реле призначені насамперед для захисту електричних двигунів від тривалих перевантажень. Їх функціонування ґрунтується на контролі теплового стану струмоведучих елементів і реагуванні на перевищення допустимих температурних режимів. Застосування теплових реле дає змогу запобігти перегріванню обмоток електродвигунів, зменшити інтенсивність старіння ізоляції та підвищити ресурс роботи електричних машин.

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						33
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Комплексне використання сучасних засобів захисту забезпечує необхідний рівень електробезпеки, підвищує надійність функціонування внутрішньоцехових електричних мереж, мінімізує ймовірність аварійних відмов та сприяє тривалій і безперебійній експлуатації електротехнічного обладнання промислового підприємства.

Вибір автоматичних вимикачів здійснюється відповідно до встановлених технічних вимог і розрахункових параметрів електричної мережі за умови дотримання таких критеріїв:

$$U_{a.ном} > U_{ном.с},$$

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

$$I_{расц.ном} \geq I_{расч.},$$

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

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

Вибір ввідного автомата.

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

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

$$I_{ном.} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3401 \text{ A}$$

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

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

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						34
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$4000 \leq 4000$$

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

Вибираємо автомат типу ЕО 25, $I_n=2500$ А.

Вибір автоматів для захисту двигунів:

- для одиночних двигунів:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

k_c – коефіцієнт попиту, $k_c < 1$.

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

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

$$I_{н.дв.} = \frac{5,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,925 \cdot 0,9} = 10,67 \text{ А}$$

Визначаємо пусковий струм двигунів, з урахуванням кратності пускового

					ЕТ і ЕЕ 4815.008.000 ПЗ	Лист
						35
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

струму $k_n = 6$.

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

$$I_{\text{пуск}} = k_n \cdot I_{\text{н.дв.}} = 6 \cdot 10,67 = 64,03 \text{ A};$$

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.

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

$$I_{\text{н.розч.}} = \frac{10,67}{0,85} = 12,56 \text{ A}$$

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

Встановлюємо неможливість спрацьовування автомата при пуску двигуна:

$$I_{\text{сп.ел.}} = 1,25 \cdot I_{\text{пуск}}$$

$$I_{\text{сп.ел.}} = 1,25 \cdot 64,03 = 80,03 \text{ A}.$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 300A.

Інші двигуни розраховуємо аналогічним чином. Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.3.

З огляду на рівномірне розташування електроприймачів у межах виробничого приміщення та однаковий розподіл електричного навантаження між розподільними шинопроводами, розрахункове навантаження окремого шинопроводу ШРА приймається пропорційно частці навантаження, що припадає на нього від магістрального шинопроводу ШМА. За таких умов величина розрахункового навантаження кожного ШРА визначається шляхом поділу сумарного розрахункового навантаження відповідного магістрального шинопроводу на кількість підключених до нього розподільних шинопроводів. Такий підхід забезпечує коректний розподіл навантаження та відповідає прийнятому припущенню щодо рівномірності електроспоживання в межах цеху.

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						36
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Змін.					
Лист					
№ докум.					
Підпис					
Дата					
ET I EE 4815.008.000 ПЗ					Лист

Таблиця 2.3. Вибір апаратів і струмоведучих частин

№ авт.	Призначення, місце у схемі	Розрахункове навантаження Р, кВт	Розр. струм I, А	Кратність пускового струму, Кп	Піковий струм I _{пik} , А	Ір/0,85	Ном.струм розчепл I _{ном.р.} , А	Ном.струм автомата I _{ном.а.} , А	Тип автомата	I _{спрац.} кА	Ідл., А	Марка перетин СВЧ, мм²	Втрати напруги, В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
QF1	ШРА1-АД1	5,5	10,67	6	64,0336	12,56	15	30	ВА-2004/30	0,3	32	АВВГ(4*8)	0,65
QF2	ШРА1-АД2	20	38,81	6	232,849	45,66	50	50	ВА-2004/50	0,5	65	АВВГ(4*25)	2,36
QF3	ШРА1-АД3	32	62,09	6	372,559	73,05	75	100	ВА-2004/100	1	105	АВВГ(4*50)	3,79
QF4	ШМА-ШРА1		529,1			622,5	700	800	ВА-2004/800	4	630	ШРА-73	
QF5	ШМА-ШРА2		529,1			622,5	700	800	ВА-2004/800	4	630	ШРА-73	
QF6	ШМА-ШРА3		529,1			622,5	700	800	ВА-2004/800	4	630	ШРА-73	
QF7	ШМА-ШРА4		529,1			622,5	700	800	ВА-2004/800	4	630	ШРА-73	
QF8	Ввідний		3403			4000	4000	4000	ЕО40	40	4000	ШМА68-НУ3	
QF9	Секційний						2500	2500	ЕО25	25			

2.6. Вибір марки й перетинів струмоведучих частин

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

$$I_{p\max} \leq I_{\text{дл доп}},$$

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

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

Під час проектування внутрішньоцехових систем електропостачання вибір перерізів провідників за критерієм допустимого нагрівання виконується у визначеній послідовності. На першому етапі здійснюється вибір типу та марки проводів або кабелів з урахуванням умов виробничого середовища, конструктивно-планувальних особливостей цеху, способу прокладання електричних мереж, а також експлуатаційних вимог до електроустановок. Обрана кабельно-провідникова продукція повинна забезпечувати необхідний рівень надійності роботи, електробезпеки та відповідати вимогам чинних нормативно-технічних документів.

Подальший розрахунок перерізів проводів і кабелів електричних мереж напругою до 1 кВ виконується після остаточного вибору комутаційно-захисної апаратури. Така послідовність розрахунків обумовлена необхідністю забезпечення узгодженості параметрів провідників із характеристиками захисних пристроїв. Переріз струмоведучих частин, попередньо визначений за умовами допустимого тривалого струмового навантаження та теплової стійкості, підлягає додатковій перевірці на відповідність вимогам захисту від перевантажень і струмів короткого замикання.

У процесі такої перевірки необхідно забезпечити коректну координацію між провідниковою продукцією та захисною апаратурою, що гарантує надійне спрацювання засобів захисту до настання небезпечних температурних режимів. Виконання цієї умови дозволяє запобігти термічному пошкодженню ізоляції, зберегти працездатність струмоведучих елементів та забезпечити безпечну експлуатацію електричної мережі в нормальних і аварійних режимах роботи. При

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

цьому має виконуватися така умова:

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

де I_3 -номінальний струм розчеплювача, А;

k_3 -коефіцієнт захисту.

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

Перевіряємо обрані кабелі по втраті напруги:

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

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

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

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{действ}} &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \phi + x_0 \cdot \sin \phi) = \sqrt{3} \cdot 10,67 \cdot 0,05 \times \\ &\times (0,92 \cdot 0,6 + 0,06 \cdot 0,8) = 0,65 \text{ В} \end{aligned}$$

де I_p – розрахунковий струм;

l - довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний і індуктивний опори кабелю.

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

Зробимо 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:

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

$$32 \geq 1 \cdot 10,67 \text{ А}$$

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

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.3.

Аналогічно вибираємо перетин кабелів для інших двигунів.

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						39
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Всі розрахунки заносимо в таблицю 2.3.

2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання в електричних мережах напругою до 1 кВ є одним із визначальних етапів проєктування систем електропостачання промислових підприємств. Результати зазначених розрахунків використовуються для оцінювання працездатності електротехнічного обладнання в умовах аварійних режимів, а також для обґрунтування вибору комутаційної, захисної та розподільної апаратури.

Основною метою визначення струмів короткого замикання є отримання розрахункових параметрів, необхідних для перевірки вимикаючої здатності автоматичних вимикачів, оцінювання термічної та електродинамічної стійкості струмоведучих елементів електричної мережі, а також аналізу ефективності функціонування пристроїв релейного захисту й автоматики.

Під час аналізу роботи комутаційних апаратів за умовами відключення визначається максимальний струм трифазного короткого замикання, який відповідає найбільш несприятливому аварійному режиму. Для оцінювання чутливості захисних пристроїв, навпаки, розраховується мінімальний струм однофазного короткого замикання, що зазвичай виникає у найбільш віддалених від джерела живлення точках мережі та характеризується найменшою величиною аварійного струму.

Методика визначення струмів короткого замикання в мережах низької напруги має низку особливостей порівняно з аналогічними розрахунками для мереж середньої та високої напруги. Однією з таких особливостей є використання абсолютних (іменованих) одиниць вимірювання, що дає змогу безпосередньо застосовувати реальні параметри елементів електричної мережі без переходу до

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						40
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

відносної системи величин.

Під час формування розрахункової моделі враховуються як активні, так і реактивні складові опорів усіх елементів кола короткого замикання. До складу схеми заміщення включаються силові трансформатори, кабельні та шинні лінії, трансформатори струму, струмові розчіплювачі автоматичних вимикачів, контактні та болтові з'єднання, комутаційні апарати й інші елементи мережі, що впливають на величину аварійного струму. Додатково враховується перехідний опір електричної дуги, яка виникає в місці пошкодження. Вплив асинхронних електродвигунів на результати розрахунку допускається не враховувати за умови, що сумарний номінальний струм усіх підключених двигунів не перевищує 10 % початкового значення періодичної складової струму короткого замикання, визначеної без урахування їхнього внеску.

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

Процедура розрахунку струмів короткого замикання включає декілька послідовних етапів. На першому етапі формується розрахункова схема електропостачання із зазначенням джерел живлення, елементів мережі та характерних точок можливого виникнення коротких замикань. На основі цієї схеми будується схема заміщення, в якій кожен елемент системи подається відповідними активними та індуктивними опорами.

Наступним етапом є визначення параметрів схеми заміщення. Для цього обчислюються опори прямої та нульової послідовностей, а також повний опір контуру «фаза – нуль», які надалі використовуються для визначення величин аварійних струмів.

Завершальна стадія розрахунку передбачає визначення струмів трифазних і однофазних коротких замикань у контрольних точках електричної мережі. Отримані результати використовуються для вибору та перевірки електротехнічного обладнання, забезпечення селективності дії захисних пристроїв, оцінювання стійкості елементів мережі до аварійних впливів і підтвердження надійності функціонування системи електропостачання в аварійних режимах.

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						41
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

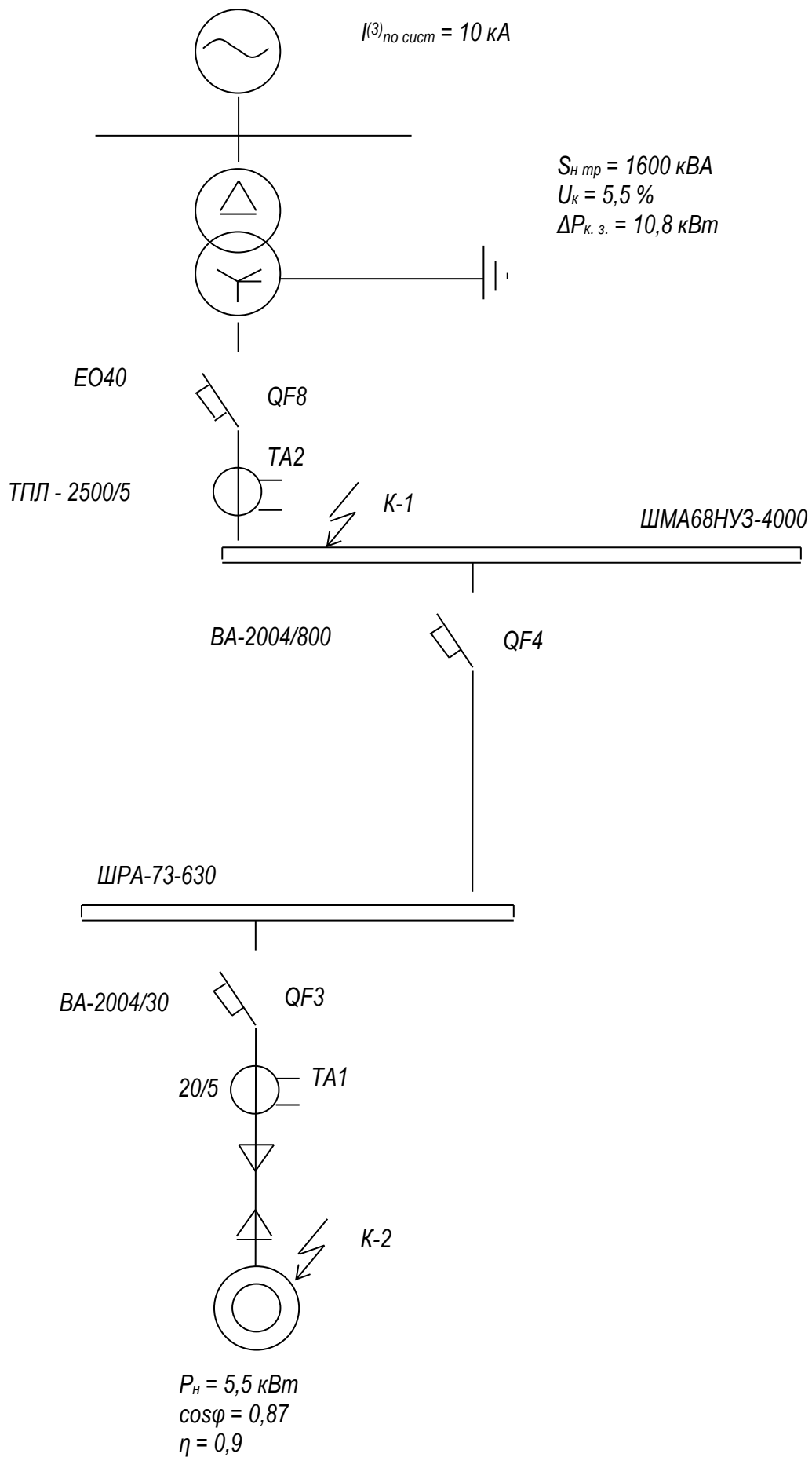


Рис. 2.1. Розрахункова схема

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ і ЕЕ 4815.008.000 ПЗ

Лист

42

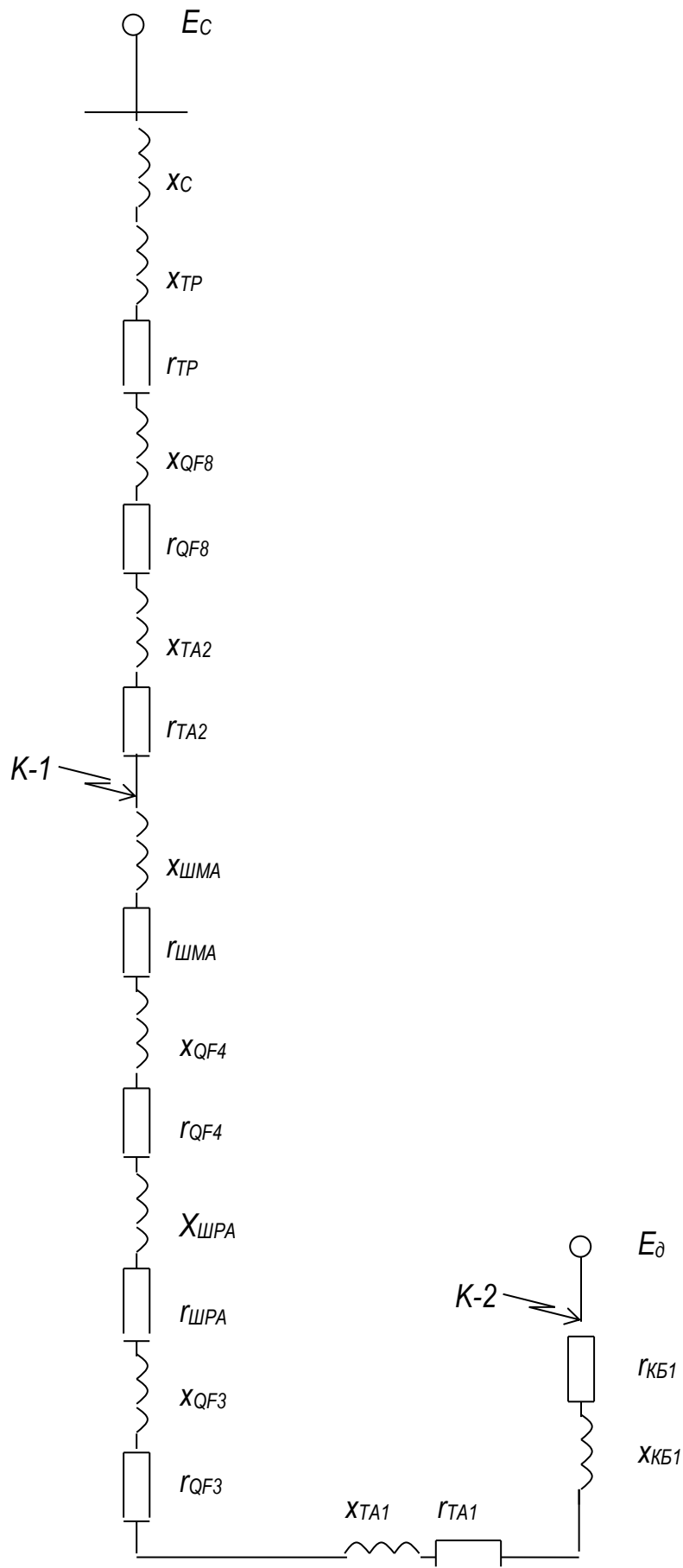


Рис.2.2. Схема заміщення

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ і ЕЕ 4815.008.000 ПЗ

Лист

43

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

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

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

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

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

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

$$r_{1\Sigma} = r_{1Т} + r_{1А8} + r_{ТА2}$$

$$x_{1\Sigma} = x + x_{1Т} + x + x_{А8} + x_{ТА2}$$

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.

$r_{1Т}$, $r_{А8}$, $r_{ТА2}$, $x_{1Т}$, $x_{А8}$, $x_{ТА2}$ - активні й індуктивні опори трансформатора, автоматів, трансформаторів струму.

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

Таблиця 2.4. Опір (питомих) елементів мережі

Опору послідовнос тей	Питомі опори мОм/м	ТВЧ			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМА 4000 (Ш1) (60м)	ШРА 630 (Ш2) (80м)	Кабель АВВГ (4*35) мм ² (20м)	ТА 1 20/5	ТА 2 2500/5	QF 3	QF 4	QF 8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пряма	r ₁	0,03	0,15	1,25	3	0,05	1,1	0,65	0,14
	x ₁	0,014	0,17	0,06	4,8	0,071	0,5	0,17	0,08
Нульова	r ₀	0,037	0,162	2,5					
	x ₀	0,042	0,164	0,075					
Фаза-нуль	r _{Ф-0}	0,042	0,262	4					
	x _{Ф-0}	0,056	0,262	0,15					

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

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

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

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

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

S_{нт} - номінальна потужність трансформатора, кВА.

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

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

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

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

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

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 5,51 + 0,08 + 0,071 = 6,47 \text{ мОм.}$$

$$I_{\text{по}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,89^2 + 6,47^2}} = 35,40 \text{ кА}$$

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

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

$$I_{\text{н до } \Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{\text{кз}}^{(3)} \quad 112 \leq 0,1 \cdot 35400$$

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 4815.008.000 ПЗ	Лист
						46
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 разі електроживлення електроустановок напругою до 1 кВ від централізованої енергосистеми через понижувальні силові трансформатори значення періодичної складової струму однофазного короткого замикання визначається на підставі сумарного опору аварійного контуру. Розрахунок виконується за відповідною методикою, яка враховує електричні параметри джерела живлення, характеристики трансформаторного обладнання, а також активні та реактивні опори елементів мережі, що входять до кола протікання струму короткого замикання.

Визначена величина періодичної складової струму однофазного короткого замикання є важливим розрахунковим параметром для оцінювання працездатності та чутливості засобів релейного захисту й автоматичних вимикачів. Крім того, отримані результати використовуються для перевірки надійності спрацювання захисної апаратури, аналізу умов автоматичного відключення пошкоджених ділянок мережі та підтвердження відповідності системи електропостачання вимогам безпечної експлуатації в аварійних режимах. Розрахунок виконується за такою залежністю:

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

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 114,76 + 59,21)^2 + (2 \cdot 27,5 + 17,11)^2}} = 2,328 \text{ кА}$$

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

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

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

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

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						47
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 5,5 + 0,08 + 0,071 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 + 20 \cdot 0,16 + 0,08 + 4,81 + 20 \cdot 0,06 = 16,52 \text{ мОм}$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\Phi-H.III1} + r_{\Phi-H.III2} + r_{1KB}) = 27,2 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 114,76 \text{ мОм};$$

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

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

$$\begin{aligned} x_{0\Sigma} &= x_{0T} + x_{A12} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A8} + x_{0III2} + x_{A5} + x_{TA1} + x_{0KB} = \\ &= 5,5 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,043 + 0,171 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,075 = \\ &= 17,11 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Перевірка автоматів по граничному струмі відключення:

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

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

$$65 \geq 35,40 \text{ кА}$$

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,

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

Автомат задовольняє умові перевірки на чутливість захистів.

					ЕТ і ЕЕ 4815.008.000 ПЗ	Лист
						48
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Якість електричної енергії є одним із визначальних чинників ефективного функціонування систем електропостачання промислових і цивільних об'єктів. Забезпечення нормативних параметрів електроенергії на затискачах електроприймачів безпосередньо впливає на надійність роботи технологічного обладнання, рівень енергетичних втрат, довговічність електротехнічних пристроїв та загальну економічну ефективність виробництва. Відхилення характеристик електричної енергії від установлених стандартами значень може призводити до порушення штатних режимів роботи електроустановок, погіршення технічних показників обладнання, зростання споживання електроенергії та прискореного зносу окремих елементів системи.

Відповідно до чинних нормативно-технічних документів у галузі електропостачання, контроль параметрів напруги повинен здійснюватися на всіх рівнях електричної мережі — від шин джерела живлення до точок приєднання кінцевих споживачів. Під час оцінювання режимів роботи системи враховуються як розрахункові характеристики мережі, так і фактичні значення напруги в контрольних вузлах. У випадках, коли розраховані або виміряні відхилення виходять за межі нормативно допустимих значень, необхідно передбачати впровадження технічних засобів регулювання напруги, а також заходів, спрямованих на покращення показників якості електроенергії.

Одним із ключових критеріїв оцінювання якості електропостачання є величина відхилення напруги. Цей показник характеризує різницю між фактичним рівнем напруги в мережі та її номінальним значенням за умов повільної зміни режиму роботи електроенергетичної системи, коли швидкість зміни напруги не перевищує 1 % за секунду.

Для електричних мереж низької напруги нормативними документами встановлено допустимий діапазон відхилення напруги в межах ± 5 % від номінального значення. Водночас для мереж із номінальною напругою до 20 кВ у

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						49
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

певних режимах допускаються граничні відхилення до $\pm 10\%$. Дотримання зазначених вимог є необхідною умовою забезпечення стабільної та безпечної роботи електротехнічного обладнання, а також підтримання безперервності виробничих процесів.

Негативні наслідки відхилень напруги проявляються як у сфері енергоспоживання, так і у виробничій діяльності підприємств. З енергетичної точки зору зміна рівня напруги призводить до збільшення втрат електроенергії в лініях електропередачі, трансформаторах та електричних машинах. З виробничого погляду це може викликати погіршення технічних характеристик обладнання, зниження продуктивності технологічних установок, погіршення якості продукції та зменшення загальної ефективності виробничого процесу.

Особливо чутливими до змін напруги є освітлювальні системи та установки компенсації реактивної потужності. Навіть незначне зниження напруги суттєво впливає на ефективність роботи освітлювального обладнання. Зокрема, зменшення напруги на 5% викликає зниження світлового потоку ламп розжарювання приблизно на 20% . Водночас підвищення напруги на 10% порівняно з номінальним значенням спричиняє різке скорочення ресурсу таких ламп, який може зменшуватися майже у чотири рази.

Для оцінювання якості електропостачання в проєктованій системі визначається величина відхилення напруги на стороні низької напруги силового трансформатора. Отримані результати використовуються для перевірки відповідності параметрів мережі встановленим нормативним вимогам, а також для обґрунтування необхідності застосування технічних засобів регулювання напруги та реалізації додаткових заходів щодо забезпечення нормативного рівня якості електричної енергії:

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

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

U_1 – відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

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

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

U_{01} – відхилення напруги регульовального відгалуження;

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

ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі:

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

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

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:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{неск}^2}}{N_{min}} = \frac{\sqrt{1965^2 + 852^2}}{2} = 1070 \text{ кВА}$$

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

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

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

Втрати напруги в трансформаторі при розрахунковому навантаженні:

$$\begin{aligned} \Delta U_m &= \beta \cdot (R_m \cdot \cos \phi + X_m \cdot \sin \phi) = \frac{S_p}{S_{нтр}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{нтр}} \cdot \cos \phi + U_{кз} \cdot \sin \phi \right) = \\ &= \frac{1070}{1600} \cdot \left(\frac{10,8}{1600} \cdot 0,98 + 0,055 \cdot 0,19 \right) = 0,011 = 1,1 \% \end{aligned}$$

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

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 1,1 = 3,9 \%$$

Отримане значення перебуває в межах норми.

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						51
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

У процесі розроблення проєкту системи електропостачання вузла електричних навантажень прокатного цеху використано сучасні підходи до інженерного проєктування, спрямовані на підвищення експлуатаційної надійності електричних мереж, оптимізацію режимів електроспоживання, зниження втрат електричної енергії та забезпечення нормативного рівня електробезпеки. Вибір технічних засобів і електротехнічного обладнання здійснювався з урахуванням вимог чинних нормативно-правових документів, особливостей металургійного виробництва та актуальних тенденцій розвитку промислових систем електропостачання. При цьому пріоритет надавався обладнанню, здатному забезпечити високі техніко-економічні показники та ефективну роботу протягом тривалого терміну експлуатації.

У межах виконаної роботи реалізовано комплексне опрацювання всіх основних етапів проєктування внутрішньоцехової системи електропостачання. Проведено дослідження технологічного процесу прокатного виробництва, виконано аналіз структури електроспоживання, визначено режими роботи електроприймачів і розраховано їхні електричні навантаження. На основі отриманих результатів обґрунтовано вибір трансформаторного обладнання та сформовано раціональну схему розподілу електричної енергії. Підсумком проведених розрахунків і технічних обґрунтувань стала розробка однолінійної схеми електропостачання прокатного цеху, наведеної в графічній частині проєкту.

Результати аналізу виробничого процесу показали, що основна частина електроприймачів належить до першої категорії надійності електропостачання. Припинення подачі електричної енергії до таких споживачів може спричинити порушення безперервності технологічного циклу, вихід з ладу виробничого обладнання, виникнення аварійних ситуацій та значні економічні втрати. З урахуванням зазначених факторів у проєкті передбачено комплекс заходів щодо

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

резервування джерел живлення та підвищення загальної надійності функціонування системи електропостачання.

Для забезпечення електроживлення вузла навантаження прийнято до встановлення комплектну двотрансформаторну підстанцію типу 2КТП-1600/10/0,4. Обрана підстанція повністю покриває розрахункові потреби виробництва в електричній потужності та створює необхідний резерв для роботи електрообладнання як у нормальних, так і в післяаварійних режимах експлуатації. Розрахунковий коефіцієнт завантаження силових трансформаторів становить 0,7, що відповідає рекомендованим техніко-економічним показникам та свідчить про ефективне використання встановленої потужності.

Електроживлення трансформаторної підстанції передбачено від мережі середньої напруги 10 кВ. Розподіл електричної енергії між споживачами прокатного цеху здійснюється мережею низької напруги 0,4/0,23 кВ, яка забезпечує необхідні параметри живлення силових, допоміжних та освітлювальних електроприймачів відповідно до вимог технологічного процесу.

Для зниження перетоків реактивної потужності та покращення енергетичних характеристик мережі 0,4 кВ передбачено встановлення двох комплектних конденсаторних установок типу УКК-0,38-750-150У3 сумарною реактивною потужністю 1500 квар. Застосування систем компенсації реактивної потужності забезпечує підвищення коефіцієнта потужності, зменшення втрат електроенергії в елементах мережі, покращення режимів роботи трансформаторного обладнання та підвищення загальної енергоефективності системи електропостачання.

З метою реалізації принципу глибокого вводу електричної енергії прийнято рішення щодо використання прибудованої комплектної трансформаторної підстанції, розташованої безпосередньо біля виробничого корпусу. Таке технічне рішення дозволяє суттєво скоротити довжину внутрішньоцехових мереж низької напруги, знизити втрати активної потужності під час передавання електроенергії та мінімізувати витрати на спорудження кабельних ліній.

Для організації внутрішньоцехового електропостачання використано схему типу «блок трансформатор – магістраль», яка поєднує високий рівень надійності з

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

економічною доцільністю. Передача електричної енергії від трансформаторної підстанції здійснюється через магістральний шинопровід ШМА68-НУЗ-4000, до якого підключено чотири розподільні шинопроводи ШРА-73-630. Застосування такої структури мережі забезпечує скорочення кількості комутаційних пристроїв, спрощення експлуатаційного обслуговування та створює умови для подальшого розвитку виробничих потужностей без суттєвої модернізації системи електропостачання.

Захист електротехнічного обладнання від перевантажень і струмів короткого замикання реалізовано із застосуванням автоматичних вимикачів серій ЕО та ВА. Вибір параметрів захисної апаратури виконано на основі результатів розрахунку робочих і аварійних режимів електричної мережі, що забезпечує необхідний рівень селективності, швидкодії та надійності функціонування системи захисту.

Результати перевірки режимів роботи проєктованої системи електропостачання підтвердили, що значення відхилень напруги в усіх контрольних вузлах мережі не перевищують нормативно встановлених меж. Це свідчить про правильність прийнятих проєктних рішень та відповідність системи вимогам щодо забезпечення належної якості електричної енергії.

Таким чином, у результаті виконання роботи повністю реалізовано поставлені завдання щодо розроблення системи електропостачання вузла електричних навантажень прокатного цеху. Запропоновані технічні рішення забезпечують високий рівень надійності електрозабезпечення, енергетичної ефективності, експлуатаційної безпеки та відповідають сучасним вимогам, що висуваються до систем електропостачання підприємств металургійної галузі.

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						54
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні положення з охорони праці

Прокатні цехи належать до виробництв підвищеної небезпеки. У технологічному процесі використовуються прокатні стани, електродвигуни великої потужності, транспортери, підйимально-транспортне обладнання, компресори, вентиляційні системи та інші електроприймачі. Порушення норм безпечної експлуатації електроустановок може призвести до аварійних ситуацій, пожеж, травмування персоналу та зупинки виробництва.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами у прокатному цеху є:

- ураження електричним струмом;
- висока температура та теплове випромінювання;
- механічні небезпеки;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- запиленість та загазованість повітря;
- пожежна небезпека.

Для забезпечення безпечних умов праці під час проєктування системи електропостачання необхідно передбачити комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на захист працівників та забезпечення надійної роботи електрообладнання.

3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Одним із найбільш небезпечних факторів у прокатному цеху є електричний струм. Ураження електричним струмом можливе при випадковому дотику до струмовідних частин, пошкодженні ізоляції або появі напруги на металевих корпусах обладнання. Підвищена температура та запиленість виробничих приміщень негативно впливають на стан ізоляції електрообладнання.

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						55
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі прокатки металу працівники піддаються впливу високих температур та теплового випромінювання. Нагріті заготовки, печі та гарячі поверхні обладнання створюють несприятливі умови праці та можуть спричинити перегрів організму.

Механічну небезпеку становлять рухомі частини прокатних станів, транспортерів, редукторів та підйально-транспортного обладнання. Порухення правил експлуатації може призвести до травмування працівників.

У роботі прокатного обладнання значний рівень шуму створюють електродвигуни, редуктори, вентилятори та механізми прокатних станів. Тривалий вплив шуму негативно впливає на слух та нервову систему працівників.

Запиленість та загазованість виробничих приміщень виникають унаслідок роботи нагрівальних печей, термічних установок та систем охолодження металу. Пил і шкідливі гази негативно впливають на органи дихання працівників.

Для зменшення впливу небезпечних факторів необхідно:

- забезпечити справний стан електрообладнання;
- проводити регулярний контроль ізоляції;
- використовувати ефективні вентиляційні системи;
- застосовувати захисні огороження;
- проводити інструктажі з охорони праці.

3.3 Заходи забезпечення електробезпеки

Під час проєктування системи електропостачання вузла навантаження прокатного цеху необхідно забезпечити високий рівень електробезпеки. Для цього передбачаються технічні та організаційні заходи захисту персоналу від ураження електричним струмом.

Основним заходом захисту є застосування захисного заземлення. Усі металеві неструмовідні частини електрообладнання повинні бути приєднані до контуру заземлення. Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику до безпечного рівня та створює умови для швидкого спрацювання апаратів захисту.

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						56
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для системи електропостачання прокатного цеху доцільно використовувати систему заземлення типу TN-S, у якій захисний та робочий нульові провідники розділені по всій довжині мережі.

Для захисту від коротких замикань і перевантажень використовуються:

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

Кабельні лінії повинні мати достатню механічну та термічну стійкість, а ізоляція повинна відповідати умовам експлуатації при підвищених температурах.

Під час експлуатації електроустановок необхідно використовувати засоби індивідуального захисту:

- діелектричні рукавички;
- діелектричне взуття;
- захисні каски;
- ізолювальні штанги;
- покажчики напруги.

Під час проведення ремонтних робіт необхідно:

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

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

3.4 Пожежна безпека та захист від аварійних ситуацій

Прокатні цехи металургійної промисловості належать до виробництв із підвищеною пожежною небезпекою. Основними причинами виникнення пожеж є

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						57
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

короткі замикання, перевантаження електромереж, перегрів електрообладнання та порушення правил експлуатації технологічного обладнання.

Для забезпечення пожежної безпеки у проєкті передбачено:

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

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

Для запобігання аварійним ситуаціям необхідно регулярно проводити:

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

У виробничих приміщеннях повинні бути розроблені:

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

Важливим заходом є своєчасне очищення приміщень від пилу, мастильних матеріалів та металевої окалини.

3.5 Санітарно-гігієнічні умови праці

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

					ET і EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						58
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Підвищена температура у виробничих приміщеннях потребує застосування ефективних систем вентиляції та охолодження. Припливно-витяжна вентиляція забезпечує видалення надлишкового тепла, пилу та шкідливих газів.

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

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

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

Для зниження рівня шуму та вібрації використовуються:

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

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту:

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

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

У результаті аналізу умов праці у прокатному цеху металургійної промисловості встановлено, що основними небезпечними факторами є електричний струм, висока температура, механічні небезпеки, шум, запиленість та пожежна небезпека.

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						59
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						60
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано проєктування системи електропостачання вузла навантаження прокатного цеху металургійної промисловості з урахуванням сучасних вимог до надійності, безпеки, енергоефективності та економічної доцільності експлуатації промислових електроустановок.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу прокатного виробництва та складу основних електроспоживачів цеху. Встановлено, що найбільшу частку електричного навантаження створюють електроприводи прокатних станів, рольгангів, ножиць, насосних і вентиляційних установок, а також допоміжне технологічне обладнання. Визначено категорії надійності електроприймачів та обґрунтовано вимоги до безперервності їх електропостачання.

На основі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання. Визначено розрахункові значення активної, реактивної та повної потужностей, що дозволило обґрунтовано вибрати параметри основного електротехнічного обладнання та забезпечити необхідний резерв потужності для стабільної роботи виробничого комплексу.

У роботі розроблено та обґрунтовано схему електропостачання прокатного цеху, яка забезпечує необхідний рівень надійності живлення відповідальних споживачів. Виконано вибір силових трансформаторів, кабельних ліній, шинопроводів та розподільчих пристроїв з урахуванням розрахункових навантажень, режимів роботи та перспектив розвитку виробництва.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках системи електропостачання. За результатами розрахунків здійснено вибір комутаційної апаратури. Перевірено відповідність вибраного обладнання вимогам термічної та електродинамічної стійкості, що гарантує його надійну роботу в аварійних режимах.

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						61
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

З метою підвищення енергоефективності системи електропостачання виконано розрахунок компенсації реактивної потужності. Запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення коефіцієнта потужності, зменшення втрат електричної енергії в мережах, зниження навантаження на трансформатори та покращення показників якості електроенергії.

Особливу увагу приділено питанням охорони праці та електробезпеки. Розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для прокатного виробництва, зокрема підвищені температури, рухомі механізми, високі струмові навантаження та ризик ураження електричним струмом. Розроблено комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації електроустановок і захисту персоналу.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено технічно обґрунтовану систему електропостачання вузла навантаження прокатного цеху металургійної промисловості, яка забезпечує безперебійне живлення технологічного обладнання, відповідає вимогам чинних нормативних документів та сучасним вимогам до енергоефективності й надійності електропостачання.

Прийняті проєктні рішення дозволяють забезпечити стабільне функціонування виробничих процесів, підвищити ефективність використання електричної енергії, зменшити експлуатаційні витрати та створити безпечні умови праці для обслуговуючого персоналу.

Таким чином, поставлену мету кваліфікаційної роботи досягнуто повністю. Усі завдання, визначені на початковому етапі дослідження, виконано. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування нових або модернізації існуючих систем електропостачання прокатних цехів металургійних підприємств, що сприятиме підвищенню їх надійності, економічності та ефективності експлуатації.

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування/ Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. — Київ, 2013. 424 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. / Рудницький В.Г. — Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. — 280 с.
3. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). — Харків : Форт, 2017. — 760 с.
4. 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. Биков В.Г., Назаренко Л.А. Компенсація реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств. — Харків: Основа, 2018. 215 с.
13. ДСТУ EN 60909-0:2016. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму.

					<i>ET i EE 4815.008.000 ПЗ</i>	Лист
						63
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Кодекс систем розподілу : затверджений постановою НКРЕКП № 310 від 14.03.2018 р.
15. Кодекс систем передачі : затверджений постановою НКРЕКП № 309 від 14.03.2018 р.
16. Березюк М.Д. Основи охорони праці : підручник. – Київ : Каравела, 2021. – 400 с.
17. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями).
18. Михайлів М.І., Соломчак О.В., Гоголюк П.Ф. Розрахунок електричних навантажень. Навчальний посібник. Івано-Франківськ : Факел, 2003. - 150 с.
19. Василега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. / Василега П.О. - Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. - 415 с.
20. Методичні рекомендації по виконанню курсової роботи з дисципліни «Електропостачання промислових підприємств»- Житомир: ЖВІРЕ, 2007. 25с.

					ET i EE 4815.008.000 ПЗ	Лист
						64
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		