

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

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

Кафедра електротехніки та електроенергетики

До захисту допущено
кафедрою електротехніки та електроенергетики протокол № ____ від ____

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

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

_____ «Проектування СЕП вузла навантаження цеху металообробки »
(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 _____ Костянтин ТОРЯНИК
(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))

Торяник Костянтин Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

Спеціальність (спеціалізація) 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи

(назва освітньої програми)

1. Тема роботи: Проектування СЕП вузла навантаження цеху
металообробки

керівник роботи Кирисов Ігор Геннадійович, PhD

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

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

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

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

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

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

2.) Електричні розрахунки.

3.) Охорона праці

5. План роботи

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

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

Здобувач вищої освіти _____ Костянтин ТОРЯНИК
(підпис) (ім'я, прізвище)

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему «Проектування системи електропостачання вузла навантаження цеху металообробки» складається з 63 сторінок, містить 2 рисунків, 4 таблиці, ___ додатків та 25 найменувань використаних джерел.

Метою роботи є розроблення системи електропостачання вузла навантаження цеху металообробки, яка забезпечує надійне, безпечне та економічно доцільне електропостачання технологічного обладнання.

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

На основі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання, визначено розрахункові значення активної, реактивної та повної потужностей. За результатами розрахунків обґрунтовано вибір схеми електропостачання, потужності силових трансформаторів, кабельних ліній та розподільчих пристроїв.

У роботі проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках електричної мережі. На підставі отриманих результатів виконано вибір комутаційної апаратури. Здійснено перевірку вибраного обладнання на відповідність умовам нормальної експлуатації та аварійних режимів роботи.

Для підвищення ефективності використання електричної енергії виконано розрахунок компенсації реактивної потужності. Запропоновані заходи дозволяють зменшити втрати електроенергії в мережі, покращити коефіцієнт потужності та підвищити загальну енергоефективність системи електропостачання.

У розділі охорони праці розглянуто питання електробезпеки, організації безпечної експлуатації електроустановок, захисту персоналу від дії небезпечних виробничих факторів, а також заходи щодо забезпечення пожежної безпеки у виробничих приміщеннях цеху.

У результаті виконання роботи розроблено систему електропостачання вузла навантаження цеху металообробки, яка забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання, відповідає вимогам чинних нормативних документів та сприяє раціональному використанню електричної енергії.

Ключові слова: СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ВУЗОЛ НАВАНТАЖЕННЯ, ЦЕХ МЕТАЛООБРОБКИ, ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.

ABSTRACT

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

The purpose of the work is to develop a power supply system of the load unit of the metalworking shop, which provides reliable, safe and economically feasible power supply of technological equipment.

The qualification work analyzes the technological process of metalworking production and determines the composition of the main electricity consumers. The features of the operation of metal-cutting machines, turning, milling, drilling, grinding equipment, lifting mechanisms, ventilation units and auxiliary electric drives are considered.

Based on the initial data, the calculation of the electrical loads of the power supply unit is performed, the calculated values of active, reactive and full powers are determined. The results of the calculations substantiate the choice of the power supply scheme, the power of power transformers, cable lines and switchgear.

The work calculates short-circuit currents at characteristic points of the electrical network. Based on the results obtained, the selection of switching equipment. The selected equipment was checked for compliance with the conditions of normal operation and emergency operation modes.

To increase the efficiency of the use of electrical energy, the calculation of reactive power compensation was performed. The proposed measures allow reducing electricity losses in the network, improving the power factor and increasing the overall energy efficiency of the power supply system.

The occupational safety section considers the issues of electrical safety, organizing the safe operation of electrical installations, protecting personnel from the effects of hazardous production factors, as well as measures to ensure fire safety in the production premises of the workshop.

As a result of the work, a power supply system for the load node of the metalworking shop was developed, which provides the necessary level of reliability of power supply, meets the requirements of current regulatory documents and promotes the rational use of electricity.

Keywords: POWER SUPPLY SYSTEM, LOAD NODE, METALWORKING SHOP, ELECTRICAL LOADS, TRANSFORMER SUBSTATION, SHORT-CIRCUIT CURRENTS, REACTIVE POWER, ELECTRICAL EQUIPMENT, ENERGY EFFICIENCY, ELECTRICAL SAFETY.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТУ.....	11
2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	15
2.1 Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ	15
2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	21
2.2.1 Визначення потужності КП за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів.....	22
2.2.2 Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	25
2.3 Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху.....	26
2.4 Вибір схеми внутріцехової мережі напругою до 1 кВ.....	29
2.5 Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань).....	31
2.6 Вибір марки і перетину струмоведучих частин.....	37
2.7 Розрахунок струмів к.з. у мережі напругою до 1 кВ.	38
2.8 Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП	48
2.9 Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження.....	51
3.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	54
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ			
Змн	Арк	П.І.Б.	Підпис	Дата				
Розроб.	Торяник				Проектування СЕП вузла навантаження цеху металообробки	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Кирисов						6	63
						група ДЕС-24пр2р		
Н. контр								
Затверд.	Чернюк							

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

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

ВСТУП

Сучасне промислове виробництво неможливе без надійного та ефективного електропостачання технологічного обладнання. Електрична енергія є основним видом енергії, що забезпечує роботу виробничих механізмів, автоматизованих систем керування, освітлення та допоміжних установок. У зв'язку зі зростанням вимог до продуктивності праці, якості продукції та енергоефективності виробництва особливої актуальності набувають питання проектування сучасних систем електропостачання промислових підприємств.

Однією з важливих складових машинобудівної та металообробної галузей є цехи металообробки, у яких здійснюються процеси механічної обробки деталей і заготовок. Для виконання технологічних операцій використовуються токарні, фрезерні, свердлильні, шліфувальні, розточувальні верстати, автоматичні та напівавтоматичні виробничі лінії, вантажопідіймальні механізми, компресорні установки, вентиляційне обладнання та інші електроспоживачі. Безперебійна робота цього обладнання є необхідною умовою забезпечення стабільного виробничого процесу та випуску якісної продукції.

Ефективність функціонування цеху значною мірою залежить від правильно спроектованої системи електропостачання. Від її надійності, безпеки та економічності залежить не лише стабільність технологічних процесів, а й рівень експлуатаційних витрат підприємства. Недостатня пропускна здатність електричних мереж, неправильно обране обладнання або неефективна схема електропостачання можуть призвести до перевантаження мереж, збільшення витрат електроенергії, зниження якості електроенергії та виникнення аварійних ситуацій.

Важливим напрямом розвитку сучасних систем електропостачання є підвищення їх енергоефективності. Значна кількість електроприймачів цехів металообробки оснащена асинхронними електродвигунами, які споживають реактивну потужність і впливають на режим роботи електричної мережі. Тому під

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

час проєктування необхідно передбачати заходи щодо компенсації реактивної потужності, зменшення втрат електроенергії та забезпечення нормативних показників якості електричної енергії.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи обумовлена необхідністю розроблення раціональної системи електропостачання вузла навантаження цеху металообробки, яка забезпечуватиме надійне електропостачання технологічного обладнання, відповідатиме вимогам чинних нормативних документів та сприятиме підвищенню енергоефективності виробництва.

Одним із найважливіших етапів проєктування систем електропостачання є визначення електричних навантажень. Саме результати розрахунків навантажень є основою для вибору потужності силових трансформаторів, перерізів кабельних ліній, комутаційної апаратури та засобів захисту. Раціональний вибір елементів системи дозволяє забезпечити її надійну роботу як у нормальних, так і в аварійних режимах експлуатації.

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

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати технологічний процес та склад електроспоживачів цеху металообробки ;
- визначити категорії надійності електроприймачів;
- виконати розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання;
- обґрунтувати вибір схеми електропостачання цеху;
- здійснити вибір силових трансформаторів та основного електрообладнання;
- виконати вибір кабельних ліній і струмопровідних частин;

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- розрахувати струми короткого замикання в характерних точках мережі;
- здійснити вибір комутаційної апаратури
- виконати розрахунок компенсації реактивної потужності;
- розробити заходи щодо охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки.

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

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						10
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Аналіз технологічного процесу виробництва є необхідною складовою проектування систем електропостачання промислових об'єктів, оскільки дозволяє встановити вимоги до надійності електроживлення, оцінити можливі економічні та технологічні наслідки порушення електропостачання, а також визначити характер і структуру електричних навантажень підприємства. Результати такого аналізу є основою для вибору структури системи електропостачання, обґрунтування кількості незалежних джерел живлення, розроблення схем розподілу електричної енергії та визначення необхідності впровадження засобів автоматичного резервування.

Згідно з вимогами чинних нормативних документів, зокрема Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), усі споживачі електричної енергії класифікуються за ступенем надійності електропостачання на три категорії. Така класифікація враховує можливі наслідки припинення електроживлення для виробництва, технологічного обладнання, персоналу та навколишнього середовища.

До електроприймачів першої категорії належать споживачі, для яких навіть короткочасне припинення електропостачання може спричинити аварійні ситуації, загрозу життю або здоров'ю людей, значні матеріальні втрати, пошкодження основних виробничих фондів, порушення безперервних технологічних процесів або випуск великого обсягу неякісної продукції. Для таких споживачів встановлюються найвищі вимоги щодо безперебійності електроживлення.

До другої категорії відносяться електроприймачі, відключення яких не створює безпосередньої небезпеки, проте призводить до суттєвих виробничих втрат. Наслідками припинення їхнього електропостачання можуть бути зниження продуктивності підприємства, вимушений простій технологічного обладнання,

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

зупинка внутрішньоцехового транспорту та неефективне використання трудових ресурсів.

Третю категорію складають електроприймачі, робота яких не має вирішального значення для забезпечення основного виробничого процесу. До цієї групи переважно належать допоміжні та господарські об'єкти, тимчасове відключення яких не спричиняє істотних економічних або технологічних наслідків для діяльності підприємства.

Категорія електроприймача визначає вимоги до побудови системи електропостачання та ступінь резервування джерел живлення. Для споживачів першої категорії обов'язковою є наявність не менше двох незалежних джерел електроенергії. У разі втрати основного джерела живлення електропостачання повинно відновлюватися автоматично, а допустима тривалість перерви обмежується лише часом спрацювання системи автоматичного введення резерву.

Електроприймачі другої категорії можуть отримувати електроенергію як від одного, так і від двох джерел живлення. Остаточне рішення приймається з урахуванням технологічної важливості виробництва, особливостей енергосистеми та економічної доцільності. У разі аварійного відключення основного джерела допускається перерва в електропостачанні на період, необхідний для виконання оперативних перемикачів і підключення резервного живлення обслуговуючим персоналом.

Для споживачів третьої категорії, як правило, передбачається живлення від одного джерела електроенергії. Проте за наявності відповідних технічних можливостей та економічного обґрунтування може застосовуватися резервування живлення. Допустима тривалість відключення таких електроприймачів визначається часом, необхідним для усунення пошкодження або виконання ремонтно-відновлювальних робіт, і зазвичай не перевищує двадцяти чотирьох годин.

Таким чином, правильне визначення категорії надійності електроприймачів є важливим етапом проєктування систем електропостачання, оскільки

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

безпосередньо впливає на вибір схеми електроживлення, рівень резервування обладнання та забезпечення безпечного й безперервного функціонування виробничих процесів.

Цех металообробки призначений для механічної обробки металевих заготовок та виготовлення деталей машин, механізмів і металоконструкцій відповідно до заданих технічних вимог. Технологічний процес включає комплекс операцій, пов'язаних із різанням, свердлінням, фрезеруванням, точінням, шліфуванням, нарізанням різьби, а також контрольними та допоміжними операціями.

Виробничий процес починається з надходження металевих заготовок на склад сировини, звідки вони за допомогою внутрішньоцехового транспорту подаються до робочих місць. Залежно від типу виробу заготовки можуть надходити у вигляді листового металу, прокату, поковок або литих деталей.

Основними технологічними агрегатами цеху є токарні, фрезерні, свердлильні, розточувальні, шліфувальні та зубообробні верстати. Значного поширення набувають верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), які забезпечують високу точність обробки та автоматизацію виробничих процесів. Потужність електроприводів металорізальних верстатів зазвичай знаходиться в межах від 2 до 75 кВт залежно від призначення та продуктивності обладнання.

Після виконання основних операцій механічної обробки деталі проходять контроль геометричних параметрів, перевірку якості поверхні та відповідності встановленим технічним вимогам. Для цього використовуються контрольно-вимірювальні прилади, координатно-вимірювальні машини та інші засоби технічного контролю.

До складу допоміжного обладнання цеху входять мостові та консольні крани, тельфери, компресорні установки, вентиляційні системи, насоси охолодження, установки подачі мастильно-охолоджувальних рідин, а також системи виробничого та аварійного освітлення. Значну частку навантаження складають асинхронні електродвигуни змінного струму напругою 380 В частотою 50 Гц.

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						13
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Характерною особливістю роботи металообробного обладнання є нерівномірність графіка навантаження, пов'язана з частими пусками, зупинками та зміною режимів роботи електроприводів. Для окремих механізмів характерні короткочасні перевантаження під час запуску або виконання операцій різання металу. У зв'язку з цим система електропостачання повинна забезпечувати достатню пропускну здатність мережі та допустимі відхилення напруги під час пускових режимів.

Більшість електроприймачів металообробного цеху належить до другої категорії за надійністю електропостачання, оскільки припинення електроживлення призводить до простою обладнання, зниження продуктивності праці та недовипуску продукції. До першої категорії можуть відноситися системи аварійного освітлення, пожежної сигналізації, вентиляції вибухо- та пожежонебезпечних ділянок, а також окремі автоматизовані виробничі комплекси, безперебійна робота яких є критичною для технологічного процесу.

Розташування технологічного обладнання в цеху є переважно стаціонарним, що дозволяє раціонально розміщувати розподільні пункти, шинопроводи та силові мережі. Це створює сприятливі умови для застосування сучасних схем електропостачання та забезпечення необхідного рівня надійності, економічності й безпеки експлуатації електроустановок.

Таким чином, особливості технологічного процесу металообробного цеху визначають вимоги до системи електропостачання щодо надійності, якості електричної енергії, резервування живлення відповідальних споживачів та забезпечення стабільної роботи електроприводів виробничого обладнання.

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						14
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень у мережі напругою до 1 кВ

Визначення електричних навантажень є одним із базових етапів проектування систем електропостачання промислових об'єктів, оскільки отримані результати безпосередньо впливають на вибір конфігурації мережі та параметрів основного електротехнічного обладнання. Саме на основі розрахункових навантажень здійснюється підбір силових трансформаторів, вибір перерізів кабельних і шинних ліній, комутаційних апаратів, пристроїв релейного захисту та інших елементів системи електропостачання.

Точність визначення навантажень має важливе значення як для технічної надійності, так і для економічної доцільності проектних рішень. Завищення розрахункових параметрів призводить до необґрунтованого збільшення потужності встановлюваного обладнання, застосування провідників більшого перерізу та використання апаратури з надлишковими характеристиками. Унаслідок цього зростають капітальні витрати на будівництво системи електропостачання та погіршуються її техніко-економічні показники.

Не менш небезпечним є заниження розрахункових навантажень. У такому випадку можливе виникнення перевантажень окремих елементів мережі, погіршення режимів роботи електрообладнання та зниження загальної надійності електропостачання. Тривала експлуатація кабельних ліній, шинопроводів і трансформаторів в умовах перевищення допустимих навантажень супроводжується підвищеним нагріванням струмоведучих частин, прискореним старінням ізоляції, збільшенням втрат електричної енергії та скороченням ресурсу обладнання.

Таким чином, обґрунтоване визначення електричних навантажень є необхідною умовою ефективного проектування, реконструкції та подальшої експлуатації систем електропостачання промислових підприємств.

У сучасній практиці електротехнічного проектування використовується

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

низка методів розрахунку навантажень, кожен із яких має певну область застосування та рівень точності. Вибір конкретного методу визначається обсягом наявних вихідних даних, структурою системи електропостачання, складом електроприймачів, режимами їх роботи та особливостями технологічного процесу. Важливим фактором також є необхідна точність результатів, яка залежить від стадії проєктування та поставлених інженерних завдань.

У даному проєкті для визначення розрахункових електричних навантажень використовується метод упорядкованих діаграм, який широко застосовується під час розроблення технічних і робочих проєктів електропостачання промислових підприємств. Зазначений метод вважається одним із найбільш достовірних для оцінювання навантажень виробничих споживачів, оскільки враховує статистичний характер роботи електроприймачів та імовірність їх одночасного ввімкнення.

Принцип методу ґрунтується на визначенні розрахункової потужності групи електроприймачів за допомогою середнього навантаження та коефіцієнта максимуму. Останній характеризує ступінь нерівномірності електроспоживання та враховує можливість одночасної роботи окремих електроприймачів у режимі найбільшого навантаження. Завдяки цьому отримані результати найбільш повно відображають реальні умови експлуатації електроустановок.

Розрахункове активне навантаження на кожному рівні живильних і розподільних мереж визначається як добуток середньої активної потужності групи електроприймачів на коефіцієнт максимуму. Такий підхід дозволяє врахувати фактичні режими роботи технологічного обладнання, забезпечити раціональний вибір елементів системи електропостачання та досягти оптимального співвідношення між надійністю роботи мережі та економічною ефективністю проєктних рішень.

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

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

$$K_p = f(n_E, K_{и гр. взв.}).$$

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

По кожній групі ЕП 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 (зварювальні машини підйомно-транспортне обладнання) до номінальної потужності у кВт по виразу:

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

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

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

На першому етапі визначаємо сумарну номінальну потужність вузла навантаження:

$$\sum P_{Hi} = 5342 \text{ кВт.}$$

Розраховуємо електричні навантаження по цеху. Розрахунок будемо робити за найбільш завантажену зміну для кожної характерної групи електроприймачів по наступних виразах:

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

де P_{Hi} - номінальна потужність груп електроприймачів;

K_{ii} - коефіцієнт використання для групи електроприймачів;

$$P_{cm1} = P_{H1} \cdot K_{i1} = 550 \cdot 0,35 = 192 \text{ кВт};$$

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

$$Q_{cm1} = P_{cm1} \cdot \tan \phi_1 = 192,5 \cdot 1,17 = 225 \text{ квар.}$$

Подальший розрахунок для інших характерних груп аналогічний та зведений

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						17
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

до таблиці 2.1.

$$\sum P_{cmi} = 2669 \text{ кВт}; \sum Q_{cmi} = 2765 \text{ квар.}$$

На наступному етапі визначаємо середньозважене значення коефіцієнта використання по вузлу навантаження з достатнім для практичних розрахунків наближенням по виразу:

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

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

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

P_{ni} - номінальна потужність підгрупи електроприймачів.

$$K_{в. гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{змi}}{\sum_{i=1}^m P_{Hi}} = \frac{2669}{5342} = 0,50$$

Результат заносимо до таблиці 2.1.

Після цього визначаємо ефективне число електроприймачів.

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

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

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

.

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						18
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 р, А
	Найменування характерних груп ЕП	В шт. п	Номінальна (встан.) потужність, кВт			Коеф. викор.	cosφ	tgφ	Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , кВар			Р _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА	
			Одного ЕП Р _{нmin} \Р _{нmax}	Загальна Р _н	Потужність при ПВ=1											
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Металоріжучі верстати дрібносерійного виробництва	30	5\50	550,00	550,00	0,35	0,65	1,17	192,50	225,06						
2	Металоріжучі верстати великосерійного виробництва	60	5\80	1200,00	1200,00	0,35	0,65	1,17	420,00	491,03						
3	Вентилятори	65	5\20	520,00	520,00	0,75	0,80	0,75	390,00	292,50						
4	Насоси, компресори	75	5\10	1000,00	1000,00	0,75	0,80	0,75	750,00	562,50						
5	Крани, тельфери, ПВ=25%	70	5\50	700,00	350,00	0,18	0,45	1,98	63,00	125,02						
6	Крани, тельфери, ПВ=40%	60	2\20	300,00	189,74	0,18	0,45	1,98	34,15	67,78						
7	Звар. машини шовного зварювання, S _н , кВА	10	45\80	950,00	332,50	0,30	0,35	2,68	99,75	266,97						
8	Елеватори, конвеєри зблоковані	30	5\50	1200,00	1200,00	0,60	0,70	1,02	720,00	734,55						
9	Разом силові ЕП:	400	80,00	6420,00	5342,24	0,50			2669,40	2765,41	134	0,75	2002,	2074,0	2882,7	4160,81
10	Освітлювальні ЕП:				124,80		0,95	0,33				0,95	130,42	42,87	137,28	198,15
11	Усього по цеху:				5467,04								2132,4	2116,9	3004,7	4337,05

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

Р _p +Р _{ро}	Q _p +Q _{ро}	S _p	J=S _p /F	S _{нтр}	В	N _{min}	N _{опт}	Q _t	Q _{нк1}	Q _{нк1'}	Q _{нк1} спр	Q неск	j	Q _{нк2}	Q _{нк} *N _{опт}
2132,47	2116,93	3004,79	0,38	1600,00	0,70	1,90	2,00	685,70	1431,23	715,61	600,00	916,93	0,44	-491,07	1200,00

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

Цю формулу викорисовують, якщо виконується умова:

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

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{н1}}{P_{н\max}} = \frac{2 \cdot 5342}{80} = 134$$

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 $n_{\text{Еф}}=134$ і $K_{и\text{ гр вЗВ}} = 0,5$

$$K_p = 0,75$$

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

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

$$P_p = 0,75 \cdot 2669 = 2002 \text{ кВт}$$

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

$$Q_p = 0,75 \cdot 2765 = 2074 \text{ квар}$$

Вважаємо повне навантаження від силових електроприймачів:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{2002^2 + 2074^2} = 2882, \text{ кВА}$$

Знаходимо розрахунковий струм по повному навантаженню:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2882}{1,73 \cdot 0,4} = 4160 \text{ А.}$$

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 4815.025.000 ПЗ	Лист
						20
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$$P_{\text{р.о.}} = P_{\text{н.о.}} \cdot K_{\text{с.о.}} \cdot K_{\text{пра}} = 124,8 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 130,42, \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р.о.}} = P_{\text{р.о.}} \cdot \tan \phi = 130,42 \cdot 0,33 = 42,87 \text{ квар}$$

$$S_{\text{р.о.}} = \sqrt{P_{\text{р.о.}}^2 + Q_{\text{р.о.}}^2} = \sqrt{130^2 + 43^2} = 137, \text{ кВА}$$

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

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

$K_{\text{пра}}$ – коефіцієнт, який враховує втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі (ПРА) газорозрядних ламп; $K_{\text{пра}} = 1,1$ для ламп типу ДРЛ.

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

$$P_{\text{р.с.}} = 2132 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р.с.}} = 2116 \text{ квар}$$

$$S_{\text{р.с.}} = 3004 \text{ кВА.}$$

2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ

Визначення необхідної встановленої потужності низьковольтних конденсаторних установок є важливим етапом проєктування системи компенсації реактивної потужності в електричних мережах промислових підприємств. Вибір параметрів конденсаторних батарей здійснюється на основі техніко-економічного аналізу, метою якого є забезпечення мінімальних приведених витрат при одночасному підвищенні енергоефективності системи електропостачання.

Розрахунок сумарної потужності конденсаторних установок, що встановлюються в цеховій мережі низької напруги, виконується поетапно. На першому етапі визначається економічно доцільна кількість силових

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						21
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

трансформаторів, яка забезпечує оптимальне співвідношення між капітальними вкладеннями та експлуатаційними витратами системи електропостачання.

Другий етап передбачає визначення необхідної додаткової потужності конденсаторних батарей, призначених для компенсації реактивної потужності. Їх встановлення забезпечує зниження втрат активної потужності в силових трансформаторах, а також у розподільних мережах напругою 6–10 кВ. Крім того, компенсація реактивної складової навантаження сприяє покращенню режимів роботи електричної мережі, підвищенню коефіцієнта потужності та збільшенню пропускної здатності електротехнічного обладнання.

У результаті виконаних розрахунків визначається сумарна розрахункова потужність низьковольтних батарей конденсаторів $Q_{\text{нк}}$, значення якої приймається для подальшого вибору типу та кількості компенсувальних установок:

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

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

Вибір кількості та номінальної потужності цехових трансформаторів є одним із найвідповідальніших етапів проектування систем електропостачання промислових підприємств. Обґрунтоване прийняття цього рішення можливе лише на основі техніко-економічного аналізу, який враховує особливості електричних навантажень, вимоги до надійності електропостачання та режими експлуатації силового обладнання. Під час розрахунків необхідно враховувати категорії надійності електроприймачів, можливість компенсації реактивної потужності в мережах напругою до 1 кВ, допустимі перевантаження трансформаторів у нормальних та аварійних режимах роботи, стандартизований ряд номінальних потужностей, а також економічні показники функціонування трансформаторного обладнання відповідно до графіка навантаження.

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						22
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Практика експлуатації систем електропостачання свідчить, що надмірне збільшення кількості трансформаторів на підстанціях є економічно невиправданим. Незалежно від типу підстанції — цехової чи головної понижувальної — встановлення великої кількості силових трансформаторів супроводжується зростанням капітальних вкладень, підвищенням експлуатаційних витрат та збільшенням втрат електричної енергії. Крім того, трансформатори меншої потужності, як правило, мають нижчий коефіцієнт корисної дії порівняно з потужнішими аналогами. Зростає потреба у струмопровідних матеріалах, комутаційній апаратурі та засобах захисту, ускладнюється структура електричної схеми, що негативно впливає на зручність технічного обслуговування та експлуатаційну надійність підстанції.

Під час вибору кількості та потужності трансформаторів доцільно дотримуватися низки технічних рекомендацій.

По-перше, трансформатори номінальною потужністю понад 1000 кВА рекомендується використовувати в електроустановках із високою концентрацією потужних електроприймачів. До таких споживачів належать електропечі, великі електроприводи, значна кількість однофазних навантажень, а також обладнання, для якого характерні різкі коливання споживаної потужності, зокрема електрозварювальні установки. Застосування потужних трансформаторів також є доцільним у цехах із високою щільністю електричного навантаження.

По-друге, під час проєктування систем електропостачання необхідно прагнути до максимальної уніфікації трансформаторного обладнання. Використання однотипних трансформаторів спрощує технічне обслуговування, забезпечення запасними частинами, проведення ремонтних робіт та підвищує загальну ефективність експлуатації електрогосподарства підприємства.

По-третє, для двотрансформаторних підстанцій, а також однострансформаторних підстанцій, що працюють у складі магістральних схем електропостачання, потужність кожного трансформатора повинна визначатися з урахуванням аварійних режимів роботи. У разі виходу з ладу одного трансформатора другий має забезпечувати живлення всіх електроприймачів першої та другої

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						23
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

категорій із врахуванням допустимих перевантажень. При цьому споживачі третьої категорії можуть бути тимчасово відключені до завершення аварійно-відновлювальних робіт.

З метою забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання номінальну потужність кожного трансформатора двотрансформаторної підстанції зазвичай приймають на рівні приблизно 70 % від сумарного розрахункового навантаження цеху. За таких умов у разі відключення одного трансформатора другий може працювати з навантаженням до 140 % від номінального значення протягом обмеженого часу, що відповідає допустимим режимам аварійної експлуатації силових трансформаторів.

Мінімально необхідна кількість цехових трансформаторів однакової номінальної потужності, призначених для живлення технологічно пов'язаних електричних навантажень, визначається розрахунковим шляхом на підставі сумарної потужності споживачів, прийнятого коефіцієнта завантаження трансформаторів та вимог до надійності електропостачання відповідно до виразу:

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

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

ΔN - добавка до найближчого цілого числа.

$$N_{\text{т. мин}} = \frac{P_{\text{р. с.}} + P_{\text{р. о.}}}{\beta \cdot S_{\text{н. тр.}}} + \Delta N = \frac{2132}{0,7 \cdot 1600} = 1,9 + 0,1 = 2$$

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

$$N_{\text{опт}} = N_{\min} + m$$

де m - додатково встановлені трансформатори.

При $N_{\min} = 2$ і $K_3 = 0,7$, $m = 0$, [2]:

$$N_{\text{опт}} = 2 + 0 = 2$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$Q_T = \sqrt{(\beta \cdot N_{\text{опт}} \cdot S_{\text{н.тр}})^2 - (P_p + P_{\text{р.о.}})^2} = \sqrt{(0,6 \cdot 2 \cdot 1600)^2 - 2132^2} = 685 \text{ квар}$$

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

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 2116 - 685 = 1431 \text{ квар}$$

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

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

$$Q'_{\text{нк1}} = \frac{Q_{\text{нк1}}}{N_{\text{опт}}} = \frac{1431}{2} = 715 \text{ квар}$$

Вибираємо комплектну конденсаторну установку по найближчій стандартній потужності:

Вибираємо УКН - 0,38 - 600УЗ [1]

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

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ буде складати:

$$Q_{\text{неск}} = (Q_p + Q_{\text{р.о.}}) - Q''_{\text{нк1.спр}} = 2116 - 2 \cdot 600 = 916,93 \text{ квар}$$

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:

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

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						25
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$k_{p1}=12 \text{ і } k_{p2}=2$$

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

$$Q_{\text{НК2}} = Q_{\text{НЕСК}} - \gamma \cdot N_{\text{ТЭ}} \cdot S_{\text{НТ}} = 916,93 - 0,44 \cdot 2 \cdot 1600 = - 491,07 \text{ квар}$$

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

$$Q_{\text{НК}} = Q_{\text{НК1}} = 600 \cdot 2 = 1200 \text{ квар.}$$

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

Проведений розрахунок показав доцільність установки двох трансформаторів потужністю $S_{\text{НОМ}} = 1600$ кВА та встановлення в мережі 0,4 кВ пристроїв, що компенсують, сумарною потужністю 1200 квар.

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Визначення оптимального місця розташування цехових трансформаторних підстанцій є одним із ключових завдань під час проєктування систем електропостачання промислових підприємств. Рациональне розміщення трансформаторного обладнання залежить від величини та просторового розподілу електричних навантажень, особливостей компоновання технологічного обладнання, можливості встановлення засобів компенсації реактивної потужності, а також умов виробничого середовища, що формуються специфікою технологічного процесу.

Багаторічний досвід проєктування та експлуатації внутрішньоцехових систем електропостачання, підтверджений результатами наукових досліджень,

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						26
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

свідчить про доцільність розміщення трансформаторних підстанцій у безпосередній близькості до центрів електричних навантажень. Такий підхід дозволяє суттєво скоротити довжину розподільних мереж, зменшити витрати кабельно-провідникової продукції та знизити втрати електричної енергії під час її транспортування до електроприймачів.

У сучасній практиці електропостачання промислових об'єктів широкого застосування набули комплектні трансформаторні підстанції, які характеризуються високим ступенем заводської готовності та можливістю швидкого монтажу незалежно від особливостей будівельної частини об'єкта. Використання таких підстанцій сприяє скороченню термінів введення електроустановок в експлуатацію, підвищенню надійності роботи обладнання та зменшенню загальних витрат на будівництво й монтаж.

Одним із базових принципів побудови сучасних систем електропостачання є принцип глибокого введення електричної енергії. Його сутність полягає у підведенні мереж середньої або високої напруги максимально близько до зон концентрації навантажень з подальшим перетворенням напруги безпосередньо біля споживачів. Реалізація такого підходу забезпечує підвищення енергоефективності системи, оптимізацію структури розподільних мереж та скорочення втрат електроенергії в процесі її передачі.

Під час вибору місця встановлення комплектної трансформаторної підстанції необхідно враховувати результати розрахунку електричних навантажень, вимоги до надійності електропостачання, умови експлуатації обладнання та вплив факторів навколишнього середовища. Важливим критерієм також є забезпечення безпечної роботи електроустановок і можливість їх подальшого технічного обслуговування.

Для електропостачання проєктованого виробничого цеху доцільним є використання вбудованої комплектної трансформаторної підстанції. Аналіз виробничих умов свідчить про відсутність обмежень щодо застосування такого технічного рішення. Температурний режим, параметри мікроклімату та особливості організації технологічного процесу відповідають вимогам, які

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						27
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

висуваються до розміщення трансформаторного обладнання безпосередньо у виробничій будівлі.

Застосування вбудованої комплектної трансформаторної підстанції забезпечує можливість підведення напруги понад 1 кВ безпосередньо до зони розташування основних електричних навантажень. У результаті скорочується протяжність мереж низької напруги, зменшуються витрати на спорудження внутрішньоцехових кабельних ліній та підвищується економічна ефективність системи електропостачання. Крім того, знижується рівень втрат активної потужності та покращуються показники якості електричної енергії в розподільній мережі.

Для забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання в аварійних режимах передбачаються резервні зв'язки між секціями мережі низької напруги. Такі перемички дозволяють частково компенсувати втрату живлення у випадку відключення одного із силових трансформаторів та підтримувати роботу найбільш відповідальних електроприймачів. Їх пропускна здатність зазвичай приймається на рівні близько 70 % від номінальної потужності трансформатора, що забезпечує допустимий режим резервування навантаження.

У складі цехової комплектної трансформаторної підстанції передбачається встановлення трифазних силових трансформаторів із первинною напругою 10 кВ. Для охолодження активної частини використовується трансформаторне масло, яке забезпечує ефективне відведення тепла та підтримання нормативного температурного режиму роботи обладнання. Для даного проєкту обрано герметизовані масляні трансформатори типу ТМЗ закритого виконання. Зазначене обладнання характеризується високою експлуатаційною надійністю, мінімальними витратами на технічне обслуговування, підвищеним ресурсом роботи та відсутністю необхідності постійного контролю рівня охолоджувального середовища під час експлуатації.

Використання вбудованої комплектної трансформаторної підстанції та її розміщення поблизу центру електричних навантажень забезпечує раціональну побудову системи електропостачання, підвищує її економічну ефективність,

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						28
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

надійність та відповідає сучасним вимогам до проектування промислових електричних мереж.

2.4. Вибір схеми внутріцехової мережі напругою до 1 кВ

Вибір структури внутрішньоцехової системи розподілу електричної енергії є одним із визначальних етапів проектування систем електропостачання промислових об'єктів. Від прийнятої схеми електропостачання значною мірою залежать показники надійності роботи технологічного обладнання, економічна доцільність функціонування електричних мереж, рівень електробезпеки персоналу та можливості подальшої модернізації виробництва.

Мережі внутрішньоцехового електропостачання повинні забезпечувати нормативний рівень надійності живлення електроприймачів відповідно до їх категорії, створювати безпечні умови експлуатації електрообладнання, характеризуватися високими техніко-економічними показниками та мінімальними витратами на обслуговування. Важливою вимогою також є застосування конструктивних рішень, які дозволяють використовувати сучасні індустріальні методи монтажу, скорочувати тривалість будівельно-монтажних робіт та підвищувати якість виконання електромонтажу.

За принципом розподілу електричної енергії цехові мережі поділяються на магістральні та радіальні. Вибір конкретного варіанта залежить від характеру навантаження, просторового розміщення електроприймачів та особливостей технологічного процесу.

Магістральна схема електропостачання є найбільш раціональною для виробничих приміщень, де електрообладнання розташоване відносно рівномірно або об'єднане в межах єдиного технологічного комплексу. У таких умовах одна живильна магістраль забезпечує передачу електричної енергії групі споживачів, що дозволяє оптимізувати структуру мережі та скоротити довжину розподільних ліній.

Особливістю магістральної схеми є залежність значної кількості електроприймачів від працездатності спільної живильної лінії. У разі пошкодження магістралі відключається вся група приєднаних споживачів. Для підвищення рівня

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						29
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

надійності електропостачання в мережах напругою 0,4 кВ передбачаються резервні міжсекційні зв'язки, які забезпечують можливість оперативного переведення навантаження на суміжні джерела живлення.

Однією з головних переваг магістральних мереж є їх економічна ефективність. Скорочення кількості комутаційних апаратів, зменшення обсягів кабельної продукції та спрощення конфігурації мережі дозволяють знизити капітальні витрати та витрати на експлуатацію. Додатковим чинником підвищення ефективності є можливість використання комплектних шинопроводів заводського виготовлення, які забезпечують високий рівень уніфікації та суттєво зменшують трудомісткість монтажних робіт.

Порівняно з радіальними схемами магістральні мережі характеризуються вищими значеннями струмів короткого замикання, однак завдяки компактній структурі та меншій довжині ліній забезпечують нижчі втрати напруги й активної потужності.

Радіальна схема передбачає живлення кожного окремого електроприймача або групи електроприймачів від розподільного пристрою низької напруги трансформаторної підстанції через самостійну лінію. Такий принцип побудови мережі доцільно використовувати у виробництвах із локалізованими навантаженнями або за умов значної нерівномірності розташування технологічного обладнання.

Основною перевагою радіальної структури є високий рівень надійності електропостачання. Пошкодження окремої лінії не впливає на роботу інших споживачів, що дозволяє локалізувати аварійну ділянку та мінімізувати наслідки порушення режиму роботи мережі. Саме тому радіальні схеми широко застосовуються для живлення відповідальних електроприймачів, від роботи яких залежить безперервність технологічного процесу.

Разом із тим реалізація радіальних мереж потребує значних матеріальних витрат, що пов'язано зі збільшенням кількості кабельних ліній, захисно-комутаційної апаратури та обсягів монтажних робіт. Крім того, така структура

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						30
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

меншою мірою відповідає сучасним вимогам індустріалізації електромонтажного виробництва.

У сучасних системах електропостачання промислових підприємств значного поширення набула схема типу «блок трансформатор – магістраль» (БТМ), особливо за умови розташування трансформаторних підстанцій поблизу центрів електричних навантажень. Її застосування дозволяє суттєво спростити конфігурацію внутрішньоцехових електричних мереж та підвищити ефективність розподілу електроенергії.

При використанні схеми БТМ комплектна трансформаторна підстанція може виконуватися без окремого розподільного пристрою низької напруги. Передача електричної енергії від силового трансформатора здійснюється безпосередньо до магістрального шинопроводу, від якого живляться розподільні шинопроводи або окремі групи електроприймачів.

Використання магістральних шинопроводів забезпечує скорочення кількості електричних з'єднань, підвищення експлуатаційної надійності мережі, спрощення технічного обслуговування та створення сприятливих умов для подальшого розширення або реконструкції системи електропостачання. Крім того, така схема сприяє зниженню капітальних витрат, покращенню енергетичних показників та підвищенню загальної ефективності функціонування електрогосподарства підприємства.

У роботі для живлення електроприймачів металообробного цеху прийнято магістральну схему розподілу електроенергії з використанням принципу «блок трансформатор – магістраль», що забезпечує оптимальне поєднання надійності, економічності та зручності експлуатації. Прийнята схема електропостачання наведена в графічній частині роботи та відображає взаємозв'язок між джерелами живлення, трансформаторною підстанцією, магістральними й розподільними лініями, а також основними групами електричних навантажень виробничого цеху.

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

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						31
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі експлуатації систем електропостачання промислових підприємств можливе виникнення аварійних і післяаварійних режимів, які негативно впливають на надійність функціонування електричних мереж та електрообладнання. Найбільш характерними порушеннями нормального режиму роботи є перевантаження та короткі замикання, що супроводжуються різким зростанням струму в струмоведучих частинах електроустановок. Такі явища спричиняють підвищене тепловиділення в провідниках, прискорене старіння ізоляційних матеріалів, погіршення технічного стану обладнання та можуть призвести до його пошкодження або повної втрати працездатності.

Для забезпечення надійного та безпечного функціонування внутрішньоцехових електричних мереж необхідно передбачати комплекс технічних засобів, призначених для захисту від надструмів, викликаних перевантаженнями та короткими замиканнями. Основною функцією системи релейного та апаратного захисту є оперативне виявлення аварійної ділянки мережі та її автоматичне відключення за мінімально можливий час. Це дозволяє обмежити масштаби пошкодження, запобігти розвитку аварійної ситуації та забезпечити безперервну роботу непошкоджених елементів системи електропостачання.

Ефективність захисту значною мірою визначається правильним вибором комутаційно-захисної апаратури та узгодженням її характеристик із параметрами електричної мережі. Для захисту внутрішньоцехових електроустановок застосовуються різні типи апаратів, серед яких найбільш поширеними є плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі та теплові реле, що входять до складу магнітних пускачів.

Плавкі запобіжники призначені переважно для захисту електричних кіл від струмів короткого замикання. Їх дія ґрунтується на розплавленні спеціальної плавкої вставки під впливом струму, величина якого перевищує допустиме значення. Завдяки простоті конструкції та високій швидкодії запобіжники залишаються ефективним засобом локалізації аварійних режимів у мережах низької напруги.

Автоматичні вимикачі виконують більш широкий спектр функцій. Вони

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						32
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечують захист електричних мереж як від перевантажень, так і від коротких замикань, а також використовуються для оперативного вмикання та вимикання електричних кіл. Наявність теплових і електромагнітних розчіплювачів дозволяє реалізувати багаторівневий захист та підвищити селективність роботи системи електропостачання.

Для захисту електродвигунів від тривалих перевантажень широко застосовуються теплові реле. Принцип їх дії базується на контролі теплового стану струмоведучих елементів та відключенні електродвигуна у випадку перевищення допустимого рівня нагрівання. Використання теплових реле дозволяє запобігти перегріванню обмоток, зменшити інтенсивність старіння ізоляції та продовжити термін служби електричних машин.

Комплексне використання сучасних засобів захисту забезпечує необхідний рівень експлуатаційної надійності внутрішньоцехових електричних мереж, підвищує безпеку роботи персоналу, мінімізує ризик пошкодження електрообладнання та сприяє стабільному функціонуванню технологічних процесів підприємства.

Автомати вибираємо із дотриманням наступних умов:

$$U_{a.ном} > U_{ном.с},$$

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

$$I_{расц.ном} \geq I_{расч.},$$

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

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

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

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						33
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

режимі:

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

$$I_{ном.} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3403,33A$$

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

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

$$4000 \leq 4000$$

Вибираємо автомат ЕО 40.

Секційний автомат вибираємо на ступінь нижче ввідного автомату, тобто

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

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 випадку пуску найбільш потужного двигуна та режиму нормальної роботи всіх інших електроприймачів, підключених до лінії, що захищається :

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

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

$I_{пуск мах}$ – пусковий струм найбільш потужного двигуна на ділянці

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						34
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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):

$$I_{н.дв.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$
$$I_{н.дв.} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,925 \cdot 0,9} = 21,34 \text{ А}$$

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

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.}$$
$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.} = 6 \cdot 21,34 = 128,06 \text{ А};$$

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

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

$$I_{н.розч.} = \frac{I_{н.дв.}}{0,85}$$
$$I_{н.розч.} = \frac{21,34}{0,85} = 25,01 \text{ А}$$

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

Встановлюємо неможливість спрацьовування автомата при пуску двигуна:

$$I_{сп.ел.} = 1,25 \cdot I_{пуск}$$
$$I_{сп.ел.} = 1,25 \cdot 21,34 = 26,67 \text{ А}.$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 30А.Інші двигуни розраховуємо аналогічно. Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.3.

Електричне навантаження рівномірно розподілене по площі цеху і рівномірно підключено до розподільних шінопроводів, тому за розрахункове навантаження ШРА приймаємо розрахункове навантаження ШМА розділену на кількість ШРА. На кожний ШМА підключене 4 ШРА.

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						35
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3. Вибір апаратів і струмоведучих частин

№ авт.	Призначення, місце у схемі	Розрахунков а навантажен ня Р, кВт	Розр. струм I, А	Кратність пускового струму, Кп	Пікови й струм Iпik, А	Ip/0,8 5	Ном.стру м розчепл Iном.р., А	Ном.стру м автомата Iном.а., А	Тип авт.	Iспрац. кА	Ідл., А	Марка перетин ТВЧ, мм²	Втрати напруг и. В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
QF1	ШРА1-АД1	11	21,34	6	128,067	25,11	30	30	ВА-2004/30	0,3	32	АВВГ(4*8)	1,30327
QF2	ШРА1-АД2	12	23,28	6	139,71	27,39	30	30	ВА-2004/30	0,3	32	АВВГ(4*8)	1,42175
QF3	ШРА1-АД3	42	81,5	6	488,984	95,88	100	100	ВА-2004/100	1	105	АВВГ(4*50)	4,97613
QF4	ШМА-ШРА1		520,10			611,9	630	630	ВА-2004/630	6,3	630	ШРА-73	
QF5	ШМА-ШРА2		520,10			611,9	630	630	ВА-2004/630	6,3	630	ШРА-73	
QF6	ШМА-ШРА3		520,10			611,9	630	630	ВА-2004/630	6,3	630	ШРА-73	
QF7	ШМА-ШРА4		520,10			611,9	630	630	ВА-2004/630	6,3	630	ШРА-73	
QF8	Ввідний		3403			4000	4000	4000	ЕО40	40	4000	ШМА68-Н	
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.

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

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

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

де I_3 - номінальний струм розчеплювача, А;

k_3 - коефіцієнт захисту.

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

Перевіряємо обрані кабелі по втраті напруги:

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

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

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

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{дійсн.}} &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 25,11 \cdot 0,05 \times \\ &\times (0,92 \cdot 0,6 + 0,06 \cdot 0,8) = 1,3 \text{ В} \end{aligned}$$

де I_p – розрахунковий струм;

l - довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний і індуктивний опори кабелю.

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						37
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Зробимо розрахунок кабельної лінії для двигуна потужністю 11 кВт. Приймаємо до установки чотирьохжильний кабель із алюмінієвими жилами марки АВВГ перетином 8 мм², для якого довгостроково припустимий струм дорівнює 32 А. Підставляючи числові значення в співвідношення:

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

$$32 \geq 30 \text{ А}$$

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

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.3.

Аналогічно вибираємо перетин проводів до інших двигунів.

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

Всі розрахунки заносимо до таблиці 2.3.

2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Визначення струмів короткого замикання в електричних мережах напругою до 1 кВ є невід’ємною складовою проектування систем електропостачання промислових підприємств. Результати цих розрахунків використовуються для обґрунтування вибору електротехнічного обладнання, оцінювання його працездатності в аварійних режимах, а також перевірки ефективності засобів релейного захисту та автоматики.

Основною метою розрахунку є встановлення можливих значень аварійних струмів, які виникають під час коротких замикань у різних точках мережі. Отримані величини застосовуються для перевірки автоматичних вимикачів за граничною вимикальною здатністю, оцінювання термічної та електродинамічної стійкості шинопроводів, кабельних ліній і струмоведучих частин, а також для

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

визначення чутливості захисних пристроїв. Правильне визначення параметрів аварійних режимів забезпечує надійність функціонування системи електропостачання та гарантує своєчасне відключення пошкоджених ділянок мережі.

Під час аналізу режимів короткого замикання визначаються як максимальні, так і мінімальні значення аварійних струмів. Максимальний струм трифазного короткого замикання використовується для перевірки комутаційних апаратів за умовами безпечного вимкнення аварійного кола та відповідає найбільш несприятливому режиму роботи мережі. Мінімальний струм однофазного короткого замикання визначається для оцінювання надійності спрацювання захистів. Зазвичай він виникає у найбільш віддалених від джерела живлення точках системи, де повний опір кола має найбільше значення.

Розрахунок струмів короткого замикання в мережах низької напруги має низку особливостей. На відміну від мереж високої напруги, розрахунки виконуються безпосередньо в іменованих одиницях, що дає змогу використовувати реальні параметри елементів електричної мережі без переходу до відносних величин.

Для отримання достовірних результатів необхідно враховувати як активні, так і індуктивні складові опорів усіх елементів, які входять до кола короткого замикання. До розрахункової моделі включаються силові трансформатори, кабельні та шинні лінії, трансформатори струму, розчіплювачі автоматичних вимикачів, контактні з'єднання, комутаційна апаратура та опір електричної дуги, що виникає в місці пошкодження. Такий підхід дозволяє максимально наблизити результати розрахунків до реальних умов експлуатації електроустановок.

Внесок асинхронних електродвигунів у величину струму короткого замикання може не враховуватися у випадках, коли сумарний номінальний струм усіх двигунів, підключених до мережі, не перевищує 10 % від початкового значення періодичної складової струму короткого замикання, визначеного без урахування їх впливу. За таких умов похибка розрахунку є незначною та не впливає на правильність вибору захисної апаратури.

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						39
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Методика визначення струмів короткого замикання передбачає послідовне виконання кількох взаємопов'язаних етапів. На початковому етапі розробляється розрахункова схема електропостачання, на якій відображаються джерела живлення, елементи мережі та контрольні точки можливого виникнення аварійних режимів. На основі цієї схеми формується схема заміщення, де реальні елементи електроенергетичної системи подаються у вигляді відповідних активних і реактивних опорів.

Наступним кроком є визначення параметрів схеми заміщення. Для цього розраховуються опори прямої та нульової послідовностей, а також повний опір кола «фаза – нуль», які є вихідними даними для подальшого визначення аварійних струмів різних видів коротких замикань.

Завершальним етапом є розрахунок струмів трифазного та однофазного короткого замикання в обраних контрольних точках електричної мережі. Отримані результати використовуються для перевірки відповідності електротехнічного обладнання вимогам термічної та електродинамічної стійкості, забезпечення селективної роботи засобів захисту та оцінювання надійності функціонування системи електропостачання в умовах аварійних режимів.

Таким чином, розрахунок струмів короткого замикання є важливим інструментом забезпечення безпеки, надійності та ефективності роботи систем електропостачання промислових підприємств, а також необхідною умовою правильного вибору комутаційного обладнання та засобів електричного захисту.

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						40
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

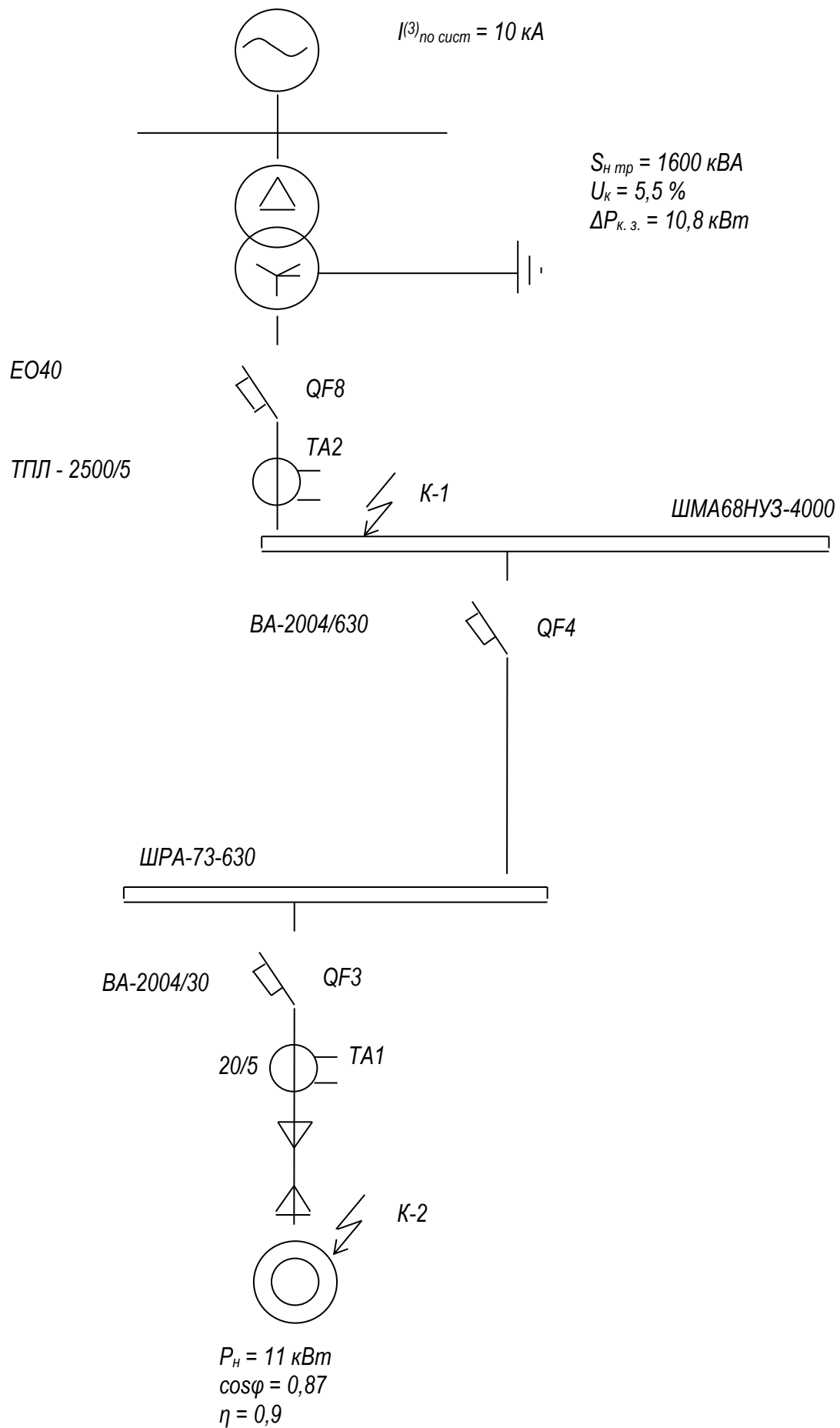


Рис. 2.1. Розрахункова схема

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ

Лист

41

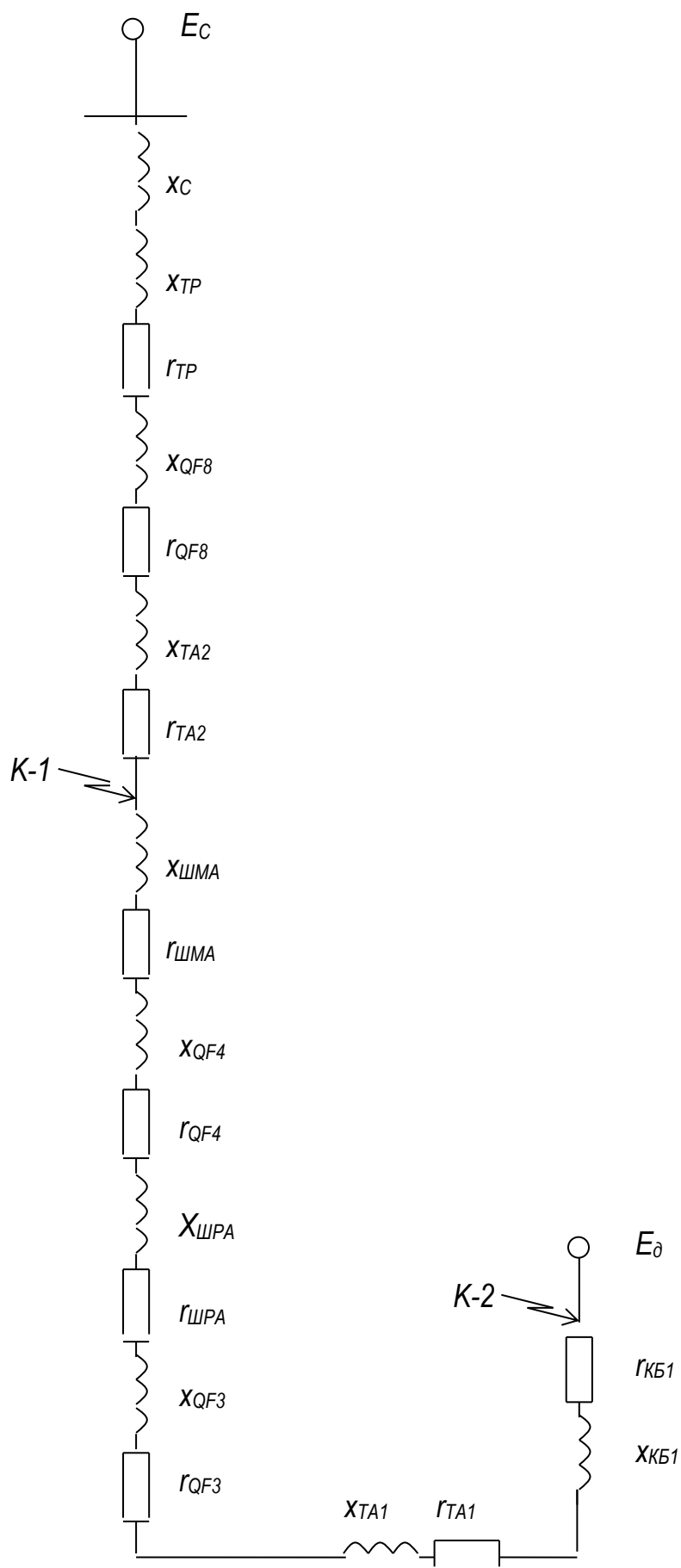


Рис.2.2. Схема заміщення

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ

Лист

42

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						43
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4. Опір (питомих) елементів мережі

Опору послідовнос тей	Питомі опори МОм/м	ТВЧ			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМА 4000 (Ш1) (60м)	ШРА 630 (Ш2) (80м)	Кабель АВВГ (4*8) мм ² (К6) (20м)	ТА 1 20/5	ТА 2 2500/5	QF 3	QF 4	QF 8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пряма	r ₁	0,03	0,15	1,26	3	0,05	1,1	0,65	0,14
	x ₁	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	0,5	0,17	0,08
Нульова	r ₀	0,037	0,162	2,5					
	x ₀	0,042	0,164	0,075					
Фаза-нуль	r _{Ф-0}	0,042	0,262	4					
	x _{Ф-0}	0,056	0,262	0,15					

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

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

де $\Delta P_{кз}$ - втрати к.з. у трансформаторі, кВт (довідкові дані трансформатора);

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

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

$S_{нт}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА.

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

Параметри трансформатора ТМЗ-1600-10/0,4; $U_k = 5,5\%$, $\Delta P_{кз} = 10,8$ кВт.

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

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

$$r_{1\Sigma} = 0,7 + 0,14 + 0,05 = 0,8 \text{ МОм,}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 5,5 + 0,08 + 0,07 = 6,45 \text{ мОм.}$$

$$I_{\text{по}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,8^2 + 6,45^2}} = 35,57 \text{ кА}$$

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

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

$$I_{\text{н } \partial \text{в} \Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{\text{кз}}^{(3)} \quad 124 \leq 0,1 \cdot 35570$$

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:

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

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

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

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

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

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

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						45
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо електропостачання електроустановки напругою до 1 кВ здійснюється від енергосистеми через понижувальні трансформатори, то значення періодичної складової струму однофазного К. З. від системи ($I_{no}^{(1)}$) у кілоамперах розраховуємо по наступному виразу:

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

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 113.51 + 59.23)^2 + (2 \cdot 27.4 + 17)^2}} = 2.34 \text{ кА}$$

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

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

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

$$r_{1\Sigma} = 0,7 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,64 + 20 \cdot 0,15 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 0,92 = 27,21 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,81 + 5,5 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 + 20 \cdot 0,16 + 0,08 + 4,81 + 20 \cdot 0,06 = 16,55 \text{ мОм}$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\phi-H.III1} + r_{\phi-H.III2} + r_{1KB}) = 27,1 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 113,51 \text{ мОм};$$

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

$$\begin{aligned} r_{0\Sigma} &= r_{0T} + r_{A12} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A8} + r_{0III2} + r_{A5} + r_{TA1} + r_{0KB} = \\ &= 0,7 + 0,14 + 0,05 + 0,036 \cdot 35 + 0,63 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 \\ &= 59,23 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{0\Sigma} &= x_{0T} + x_{A12} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A8} + x_{0III2} + x_{A5} + x_{TA1} + x_{0KB} = \\ &= 5,5 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,043 + 0,17 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,81 + 20 \cdot 0,075 = \\ &= 16,31 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Перевірка автоматів по граничному струмі відключення:

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						46
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$$65 \geq 35,57 \text{ кА}$$

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

Перевірка автоматів на чутливість захистів:

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

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

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

Автомат задовольняє умові перевірки на чутливість захистів.

					ЕТ і ЕЕ 4815.025.000 ПЗ	Лист
						47
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 підприємств. Відповідність параметрів електроенергії встановленим нормативним вимогам забезпечує стабільну роботу технологічного обладнання, зменшення енергетичних втрат та підвищення загальної економічної ефективності виробництва. Порухення нормованих показників якості електроенергії негативно впливає на режими роботи електроустановок, призводить до погіршення технічних характеристик електроприймачів, зниження продуктивності технологічних процесів та скорочення ресурсу електрообладнання.

Відповідно до чинних нормативних вимог, контроль параметрів напруги повинен здійснюватися на всіх ділянках системи електропостачання — від центру живлення до кінцевих електроприймачів. Під час аналізу режимів роботи мережі враховуються значення напруги на шинах джерела живлення, параметри навантаження та характеристики елементів електричної мережі. Якщо результати розрахунків свідчать про перевищення допустимих меж відхилення напруги, необхідно передбачати впровадження технічних рішень, спрямованих на її стабілізацію та підтримання нормативних показників якості електроенергії.

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

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

Для електричних мереж низької напруги нормативно встановленим є допустиме відхилення напруги в межах $\pm 5\%$ від номінального значення. В окремих випадках для мереж напругою до 20 кВ допускаються граничні відхилення до $\pm 10\%$. Забезпечення роботи мережі в зазначених межах є необхідною умовою

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						48
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

підтримання надійності та безпечності експлуатації електрообладнання.

Негативний вплив відхилень напруги проявляється як в енергетичній, так і в технологічній сферах. Енергетична складова пов'язана зі збільшенням втрат активної потужності та електроенергії в лініях електропередачі, трансформаторах і електричних машинах. Технологічна складова характеризується погіршенням режимів роботи виробничого обладнання, зниженням продуктивності технологічних установок та погіршенням якості готової продукції.

Найбільш чутливими до зміни рівня напруги є освітлювальні установки, електронне обладнання та конденсаторні батареї. Зокрема, зниження напруги на 5 % може спричинити зменшення світлового потоку ламп розжарювання приблизно на 20 %, що негативно впливає на умови праці персоналу. Водночас перевищення номінальної напруги на 10 % суттєво прискорює процес старіння джерел світла та може скоротити термін їхньої експлуатації майже у чотири рази.

Для оцінювання відповідності параметрів системи електропостачання нормативним вимогам виконується розрахунок відхилення напруги на вторинній стороні силового трансформатора. Отриманий результат використовується для аналізу режимів роботи мережі, перевірки якості електроенергії в точках приєднання споживачів та обґрунтування необхідності застосування пристроїв регулювання напруги або інших технічних заходів щодо покращення показників електропостачання.

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

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

U_1 – відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

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

U_{01} – відхилення напруги регулювального відгалуження;

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

ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі:

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						49
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

У застосування до даних умов маємо:

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

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{нск}^2}}{N_{min}} = \frac{\sqrt{2132^2 + 916^2}}{2} = 1160 \text{ кВА}$$

Трансформатор має номінальну напругу виводів 10 ± 2 (2,5%) 0,4 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:

$$\begin{aligned} \Delta U_m &= \beta \cdot (R_m \cdot \cos \phi + X_m \cdot \sin \phi) = \frac{S_p}{S_{нтр}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{нтр}} \cdot \cos \phi + U_{кз} \cdot \sin \phi \right) = \\ &= \frac{1160}{1600} \cdot \left(\frac{10,8}{1600} \cdot 0,98 + 0,055 \cdot 0,19 \right) = 0,012 = 1,2 \% \end{aligned}$$

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

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 1,2 = 3,8 \text{ \%}.$$

Отримане значення перебуває в межах норми.

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

У межах виконання роботи, присвяченої розробленню системи електропостачання вузла електричних навантажень виробничого цеху металообробки, реалізовано комплекс сучасних інженерно-технічних рішень, спрямованих на підвищення надійності функціонування електричних мереж, забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів та дотримання вимог електробезпеки під час експлуатації електроустановок. При виборі технічних засобів та обладнання враховувалися сучасні тенденції розвитку електротехнічної галузі, а також вимоги чинної нормативно-технічної документації щодо ефективності, надійності та економічної доцільності проєктних рішень.

У процесі виконання роботи проведено детальне дослідження особливостей виробничого процесу, визначено склад та характеристики електроприймачів, виконано розрахунок електричних навантажень, здійснено вибір оптимальної структури системи електропостачання й обґрунтовано параметри основного силового обладнання. На підставі отриманих розрахункових даних сформовано однолінійну схему електропостачання виробничого підрозділу, що відображає прийняті технічні рішення та наведена в графічній частині роботи.

Проведений аналіз режимів роботи технологічного обладнання засвідчив, що значна частина споживачів електричної енергії належить до першої категорії за надійністю електропостачання. Втрата живлення таких електроприймачів може спричинити порушення безперервності технологічного циклу, виникнення аварійних ситуацій, пошкодження виробничого обладнання та суттєві економічні збитки. З огляду на це при розробленні системи електропостачання передбачено комплекс заходів із резервування джерел живлення та забезпечення безперебійного електропостачання відповідальних споживачів.

Для живлення вузла електричних навантажень прийнято до встановлення комплектну трансформаторну підстанцію типу 2КТП-1600/10/0,4. Технічні характеристики обраної підстанції забезпечують повне покриття розрахункових

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						51
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

навантажень виробничого цеху та створюють необхідний резерв потужності для роботи електрообладнання як у нормальних, так і в післяаварійних режимах. Розрахунковий коефіцієнт завантаження силових трансформаторів становить 0,70, що відповідає рекомендованим режимам економічно ефективної експлуатації та свідчить про раціональне використання встановленої трансформаторної потужності.

Живлення цехової трансформаторної підстанції здійснюється від мережі середньої напруги 10 кВ. Подальший розподіл електричної енергії між внутрішньоцеховими споживачами реалізується мережею напругою 0,4/0,23 кВ, яка забезпечує необхідні параметри електроживлення силового, технологічного та освітлювального обладнання відповідно до вимог виробничого процесу та нормативних документів.

З метою зниження рівня реактивного навантаження та покращення енергетичних показників системи в мережі 0,4 кВ передбачено встановлення компенсувальних пристроїв загальною потужністю 1200 квар. Компенсація реактивної потужності реалізується шляхом застосування двох конденсаторних установок типу УКК-0,38-600-150У3. Використання зазначених пристроїв забезпечує підвищення коефіцієнта потужності, зменшення втрат електроенергії в мережі, розвантаження силових трансформаторів та покращення режимів роботи електрообладнання.

Для електропостачання виробничого цеху обґрунтовано використання вбудованої комплектної трансформаторної підстанції. Таке технічне рішення відповідає принципу наближення джерела живлення до центрів електричних навантажень і дозволяє істотно скоротити протяжність внутрішньоцехових мереж низької напруги. Наслідком цього є зменшення втрат електричної енергії під час її передачі та скорочення витрат на прокладання кабельних і шинних ліній.

Розподіл електричної енергії в межах виробничого цеху організовано за схемою «блок трансформатор – магістраль», яка характеризується високими техніко-економічними показниками, простотою експлуатації та можливістю подальшого розвитку мережі. Передавання електроенергії від трансформаторної

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

підстанції здійснюється магістральним шинопроводом ШМА68-НУЗ-4000, до якого підключено чотири розподільні шинопроводи типу ШРА-73-630, призначені для живлення окремих груп електроспоживачів.

Для забезпечення захисту електрообладнання та мереж від аварійних режимів роботи передбачено застосування автоматичних вимикачів серій ЕО та ВА. Вибір захисної апаратури здійснено на підставі розрахункових значень робочих струмів і струмів короткого замикання. Прийняті технічні рішення забезпечують необхідний рівень селективності захисту, своєчасне відключення пошкоджених ділянок мережі та підвищення загальної надійності системи електропостачання.

Перевірка режимів роботи проєктованої системи показала, що значення напруги в усіх контрольних точках мережі знаходяться в межах нормативно допустимих відхилень. Це підтверджує правильність виконаних розрахунків, обґрунтованість вибору параметрів електричної мережі та відповідність розробленої системи вимогам щодо якості електричної енергії.

Таким чином, у результаті виконання роботи повністю реалізовано поставлені завдання щодо проєктування системи електропостачання виробничого цеху металообробки. Запропоновані технічні рішення забезпечують необхідний рівень надійності електропостачання, енергетичної ефективності, експлуатаційної безпеки та економічної доцільності, що відповідає сучасним вимогам до систем електропостачання промислових підприємств.

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні положення з охорони праці

Охорона праці є важливою складовою під час проєктування систем електропостачання промислових підприємств. Під час проєктування СЕП вузла навантаження цеху металообробки особливу увагу необхідно приділяти створенню безпечних умов праці для обслуговуючого персоналу, забезпеченню надійної роботи електрообладнання та попередженню аварійних ситуацій.

Цехи металообробки характеризуються значною кількістю електроприймачів, серед яких металорізальні верстати, компресорні установки, вентиляційні системи, підйомально-транспортне обладнання, електрозварювальні установки та освітлювальні мережі. Робота такого обладнання супроводжується впливом небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами у цеху металообробки є:

- ураження електричним струмом;
- механічні травми від рухомих частин обладнання;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- запиленість і загазованість повітря;
- пожежна безпека;
- недостатня освітленість робочих місць.

Під час проєктування системи електропостачання необхідно передбачити комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації електрообладнання та створення нормативних умов праці.

3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Одним із найбільш небезпечних факторів у цеху металообробки є електричний струм. Ураження електричним струмом можливе при випадковому

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						54
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

дотику до струмовідних частин, пошкодженні ізоляції або виникненні напруги на металевих корпусах обладнання. Особливу небезпеку становлять приміщення з підвищеною вологістю та наявністю металевого пилю.

У процесі роботи металорізальних верстатів виникає небезпека механічного травмування працівників. Рухомі частини обладнання, обертальні механізми, різальні інструменти та стружка можуть спричинити травми різного ступеня тяжкості.

Під час роботи технологічного обладнання утворюється підвищений рівень шуму та вібрації. Джерелами шуму є верстати, компресори, вентиляційні установки та електродвигуни. Тривалий вплив шуму може викликати втому, зниження концентрації уваги та професійні захворювання.

У процесі металообробки утворюється пил, а під час зварювальних робіт — шкідливі гази та аерозолі. Наявність пилю та шкідливих речовин у повітрі негативно впливає на здоров'я працівників та може спричинити захворювання органів дихання.

Пожежна небезпека у цеху виникає через можливість коротких замикань, перегріву електрообладнання, іскріння контактів та накопичення легкозаймистих мастильних матеріалів.

Для зменшення впливу небезпечних факторів необхідно:

- забезпечити справний технічний стан обладнання;
- проводити періодичний контроль ізоляції;
- використовувати захисні огороження;
- забезпечити ефективну вентиляцію;
- проводити навчання та інструктажі з охорони праці.

3.3 Заходи забезпечення електробезпеки

Під час проєктування системи електропостачання вузла навантаження цеху металообробки необхідно забезпечити високий рівень електробезпеки. Для цього

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						55
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

передбачаються технічні та організаційні заходи, спрямовані на захист персоналу від ураження електричним струмом.

Одним із основних заходів 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 сприяє швидкому спрацюванню апаратів захисту.

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

Для захисту від коротких замикань і перевантажень застосовуються:

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

Кабельні лінії та електрообладнання повинні відповідати умовам експлуатації, мати достатню механічну та термічну стійкість, а також надійну ізоляцію.

Під час експлуатації електроустановок необхідно використовувати засоби індивідуального захисту:

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

Ремонтні та профілактичні роботи повинні виконуватися лише після відключення обладнання від мережі та перевірки відсутності напруги. Під час виконання робіт необхідно:

- вивішувати попереджувальні плакати;
- встановлювати переносні заземлення;
- оформлювати наряд-допуск;

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						56
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- забезпечувати контроль відповідальної особи.

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

Цехи металообробки належать до виробництв із підвищеною пожежною небезпекою. Причинами виникнення пожеж можуть бути короткі замикання, перевантаження електромереж, несправність електрообладнання, перегрів кабелів та іскріння контактів.

Для забезпечення пожежної безпеки у роботі передбачено:

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

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

Для попередження аварійних ситуацій необхідно регулярно проводити:

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

У цеху повинні бути розроблені:

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

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						57
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим заходом є підтримання чистоти робочих місць та своєчасне видалення металевої стружки, пилу та мастильних матеріалів.

3.5 Санітарно-гігієнічні умови праці

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

Температура та вологість повітря повинні відповідати санітарним нормам. Для підтримання нормативного мікроклімату у виробничих приміщеннях застосовується припливно-витяжна вентиляція.

Вентиляційні системи повинні забезпечувати видалення пилу, диму, шкідливих газів та надлишкового тепла. Особливу увагу слід приділяти місцевій витяжній вентиляції біля зварювальних постів та верстатів.

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

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту:

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

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						58
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- 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 цеху металообробки встановлено, що основними небезпечними факторами є електричний струм, механічні небезпеки, шум, вібрація, запыленість та пожежна небезпека.

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

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

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

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						59
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано проєктування системи електропостачання вузла навантаження цеху металообробки з урахуванням сучасних вимог до надійності, безпеки, енергоефективності та економічності експлуатації промислових електроустановок.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу цеху та визначено склад основних електроспоживачів. Встановлено, що найбільшу частку навантаження складають металорізальні верстати, електроприводи виробничого обладнання, вентиляційні установки, компресорні станції та допоміжні механізми. Визначено категорії надійності електроприймачів та вимоги до безперебійності їх електропостачання.

На підставі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень вузла електропостачання. Визначено розрахункові значення активної, реактивної та повної потужностей, що дало можливість обґрунтовано вибрати параметри основного електрообладнання та забезпечити необхідний резерв потужності для стабільної роботи виробництва.

У роботі розроблено та обґрунтовано схему електропостачання цеху металообробки. Здійснено вибір силових трансформаторів, кабельних ліній та розподільчих пристроїв відповідно до розрахункових навантажень і вимог чинних нормативних документів. Прийняті технічні рішення забезпечують надійне електропостачання споживачів та ефективну роботу системи в нормальних режимах експлуатації.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках мережі. На основі отриманих результатів виконано вибір комутаційної апаратури та засобів релейного захисту. Перевірено відповідність вибраного обладнання умовам термічної та електродинамічної стійкості, що забезпечує надійний захист електроустановок від аварійних режимів роботи.

Для підвищення ефективності використання електричної енергії виконано розрахунок компенсації реактивної потужності. Реалізація запропонованих заходів

					ET i EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						60
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє підвищити коефіцієнт потужності електроустановки, зменшити втрати електроенергії в мережах та покращити показники якості електричної енергії.

У розділі охорони праці розглянуто питання забезпечення безпечної експлуатації електроустановок цеху. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, розроблено комплекс організаційних і технічних заходів щодо захисту персоналу від ураження електричним струмом, а також заходи з пожежної безпеки та попередження виробничого травматизму.

У результаті виконання роботи розроблено технічно обґрунтовану систему електропостачання вузла навантаження цеху металообробки, яка забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання, відповідає вимогам чинних нормативних документів та сприяє підвищенню ефективності виробничого процесу.

Отримані результати в роботі можуть бути використані під час проектування нових або модернізації існуючих систем електропостачання металообробних підприємств, забезпечуючи підвищення надійності роботи електрообладнання, зниження енергетичних витрат та покращення техніко-економічних показників виробництва.

Практична цінність роботи полягає у можливості впровадження запропонованих технічних рішень на підприємствах металообробної галузі з метою забезпечення безпечної, надійної та енергоефективної експлуатації систем електропостачання.

					<i>ET i EE 4815.025.000 ПЗ</i>	Лист
						61
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування/ Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. — Київ, 2013. 424 с.
2. 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. Силові електроустановки змінного струму напругою понад 1 кВ. Загальні вимоги.
6. ДСТУ EN 50522:2016. Заземлення електроустановок напругою понад 1 кВ змінного струму.
7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. — Київ : Міністерство енергетики України, 2023.
8. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98). — Київ, 2018.
9. Кузнєцов В.Г., Захарченко В.М. Електропостачання промислових підприємств : підручник. — Київ : Каравела, 2018. — 312 с.
10. Жежеленко І.В., Саєнко Ю.Л. Електропостачання промислових підприємств. — Київ : Вища школа, 2017. — 280 с.
11. Гук Ю.Б., Кантан В.В. Проектування систем електропостачання промислових підприємств. — Львів : Новий Світ-2000, 2020. — 384 с.
12. Болюх В.Ф., Щербак Я.В. Розрахунок струмів короткого замикання в електричних мережах : навчальний посібник. — Харків : НТУ «ХП», 2018. — 176 с.

					<i>ET i EE 4815.025.000 ПЗ</i>	Лист
						62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

					ET і EE 4815.025.000 ПЗ	Лист
						63
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		