

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
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 системи електропостачання 0,4 кВ механічного цеху ТОВ
«Світло Шахтаря»
(тема роботи)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

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

Здобувач _____ Артем БОРИСЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Павло ВАСЮЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Рецензент _____ / Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2026

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

Борисенко Артема
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

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

1. Тема роботи: Проектування системи електропостачання 0,4 кВ
механічного цеху ТОВ «Світло Шахтаря»

керівник роботи Васюченко Павло Вікторович, к.пед.н., доцент
(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: «20» червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: технологічний процес, характеристика
електроприймачів, кількість та потужність електроприймачів напругою до 1 кВ

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

1) Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від
силових і освітлювальних ЕП), розрахунок потужності КУ в мережі напругою до
1 кВ, розміщення цехових трансформаторів на площі цеху;

2) Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ, вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань), вибір марки і перетини струмоведучих частин;

3) Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ, перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів короткого замикання, перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП.

5. План роботи

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика технологічного процесу об'єкту, що проєктується	20.12-10.01	
2	ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ: розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП)	11.01-11.02	
3	Розрахунок потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ	12.02-28.02	
4	Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху	01.03-15.03	
5	Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ	16.03-30.03	
6	Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)	01.04-20.04	
7	Вибір марки і перетини струмоведучих частин	21.04-02.05	
8	Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів короткого замикання	03.05-20.05	
9	Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП	21.05-30.05	
10	Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження	01.06-14.06	
11	Оформлення пояснювальної записки, презентації	15.06-20.06	

6. Дата видачі завдання: «15» грудня 2025 року

Здобувач вищої освіти _____ Артем БОРИСЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Павло ВАСЮЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

до бакалаврської роботи на тему

«Проектування системи електропостачання 0,4 кВ механічного цеху ТОВ

«Світло Шахтаря»»

АРТЕМА БОРИСЕНКО

Пояснювальна записка містить 61 сторінок, 2 рисунків, 4 таблиць, 0 додатків, 26 використаних джерел.

Об'єктом дослідження є система електропостачання механічного цеху ТОВ «Світло Шахтаря».

Предметом дослідження є процеси розрахунку, проектування та оптимізації системи електропостачання напругою 0,4 кВ для забезпечення надійного та економічного електропостачання виробничих споживачів.

Метою роботи є розроблення проекту системи електропостачання механічного цеху ТОВ «Світло Шахтаря» з урахуванням сучасних вимог до надійності, безпеки, енергоефективності та якості електричної енергії.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу та електричних навантажень цеху, визначено категорію надійності електропостачання споживачів, виконано розрахунок електричних навантажень силових і освітлювальних електроприймачів. Здійснено вибір кількості та потужності силових трансформаторів, розраховано потужність компенсувальних пристроїв для підвищення коефіцієнта потужності та зниження втрат електроенергії.

У роботі виконано вибір схеми електропостачання, комутаційно-захисної апаратури, струмопровідних частин та кабельних ліній. Проведено розрахунок струмів короткого замикання та перевірку електрообладнання за умовами надійності й безпеки експлуатації. Також здійснено оцінку показників якості електричної енергії та перевірку допустимих відхилень напруги в мережі.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та захисту навколишнього середовища під час експлуатації електроустановок механічного цеху.

Результатом роботи є розроблений проект системи електропостачання 0,4 кВ механічного цеху ТОВ «Світло Шахтаря», який забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання, відповідність вимогам нормативних документів та ефективне використання електричної енергії.

Ключові слова: система електропостачання, електричне навантаження, трансформаторна підстанція, компенсація реактивної потужності, коротке замикання, електрообладнання, електрична мережа, якість електроенергії, захист, електробезпека.

ABSTRACT

up to bachelor's work on the topic

“Design of a 0.4 kV power supply system for the mechanical workshop of LLC
“Svitlo Shakhtarya””

ARTEMA BORISENKO

The explanatory note contains 61 pages, 2 drawings, 4 table, 0 supplements, 26 victorious texts.

The object of investigation is the electrical supply system of the mechanical workshop of Svitlo Shakhtarya LLC.

The subject of investigation is the process of development, design and optimization of the power supply system with a voltage of 0.4 kV to ensure reliable and economical power supply to livestock farms.

The method of work is to fragment the design of the electrical supply system of the mechanical shop of LLC "Svitlo Shakhtarya" with the aim of ensuring reliability, safety, energy efficiency and the efficiency of electrical energy.

In the process of industrial robots, an analysis of the technological process of electrical equipment in the workshop was carried out, a category of reliability of electrical supplies was determined, and the design of electrical equipment, power and lighting was determined. electric primers. The selection of the power and voltage of power transformers has been made, and the voltage of compensating devices has been adjusted to increase the voltage coefficient and reduce energy consumption.

The robot has a choice of electrical circuits, switching equipment, flue-conducting parts and cable lines. The short-circuit currents have been checked and the electrical equipment has been checked for reliability and operational safety. It is also possible to evaluate the indicators of electrical energy and check the permissible voltage levels in the circuit.

This section is dedicated to food safety, electrical safety, fire safety and the protection of excess fluid during the operation of electrical installations in a mechanical workshop.

The result of the work is the development of a project for a 0.4 kV power supply system in the mechanical workshop of Svitlo Shakhtarya LLC, which ensures the necessary level of reliability of power supply, compliance with regulatory documents and efficient use of electrical energy.

KEY WORDS: ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM, ELECTRICAL SUPPLY, TRANSFORMER SUBSTATION, REACTIVE VOLTAGE COMPENSATION, SHORT CIRCUIT, ELECTRICAL SUPPLY, ELECTRICAL BOUNDARY, POWER SUPPLY, PROTECTION, ELECTRICAL SAFETY.

ЗМІСТ

с

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	5
ВСТУП	6
1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	7
2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ	11
2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ і вище 1 кВ	11
2.1.1. Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів	13
2.1.2. Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів	17
2.2. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв в мережі напругою до 1 кВ	19
2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв по умові вибору оптимального числа цехових трансформаторів	21
2.2.2. Визначення додаткової потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ в цілях оптимального зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями РМ	24
2.3 Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху	27
2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ	29
2.5. Вибір типу та параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах	32
2.6. Вибір марки та перерізів струмопровідних частин	35
2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ	38

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Борисенко				Проектування системи електропостачання 0,4 кВ механічного цеху ТОВ «Світло Шахтаря»	Лист	Лист	Листов
Перевірив	Васюченко							
						ЗЕА ННІ УПА ХНУ ім. В.Н. Каразіна		
Н. контрол.								
Затв.	Васюченко							

2.7.1. Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання	39
2.7.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К-2	43
2.8 Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП	45
2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження	47
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	49
3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	49
3.2 Заходи щодо забезпечення електробезпеки	50
3.3 Пожежна та вибухова безпека	51
3.4 Вимоги до виробничого освітлення	53
3.5 Захист навколишнього середовища	54
Висновки до розділу 3	55
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АВР	- автоматичне включення резерву
АПВ	- автоматичний повітряний вимикач
АД	- асинхронний двигун
ВН	- висока напруга
ГПП	- головна понижувальна підстанція
ДРЛ	- дугорозрядна лампа
ЕП	- електроприймач
ЕО	- електричне обладнання
ЕУ	- електрична установка
к.з.	- коротке замикання
КБ	- конденсаторна батарея
КВА	- контрольно-вимірювальна апаратура
КТП	- комплектна трансформаторна підстанція
НН	- низка напруга
ОП	- охорона праці
ПБЗ	- переключення без збудження
ПТБ	- правила техніки безпеки
РЗА	- релейний захист та автоматика
РПН	- регулювання під напругою
СД	- синхронний двигун
СЕП	- система електропостачання
ТЕР	- техніко-економічні розрахунки
ТО	- технічне обслуговування
СВЧ	- струмоведуча частина
ЕП	- електроприймач
х.х.	- холостий хід

ВСТУП

Ведучу роллю в промисловості України займає машинобудування. Від розвитку цієї галузі залежать усі галузі сучасного виробництва, тому воно повинне займати пріоритетну позицію. Випереджальний ріст машинобудування впливає на технічне переозброєння всіх галузей промисловості.

Метою даного дипломного проекту є проектування *СЕП* механічного цеху машинобудівного заводу.

Економічність електропостачання досягається шляхом розробки систем розподілу електроенергії, використання раціональних конструкцій комплектних розподільних пристроїв і трансформаторних підстанцій, розробки оптимізації систем електропостачання. На економічність впливає вибір раціональних напруг, оптимальних значень перетинів проводів і кабелів, числа і потужності трансформаторних підстанцій, засобів компенсації реактивної потужності і їхнє розміщення в мережі.

У цехові електричні мережі напругою до *1000 В* закладається величезна кількість провідникової і кабельної продукції, комутаційних апаратів, електроустаткування.

Раціональна побудова схем електропостачання приймачів електричної енергії має виняткове значення з економічної точки зору.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Характеристика електрообладнання об'єкта

Для проектування СЕП прийнят механічний цех машинобудівного заводу ТОВ «Світло Шахтаря».

Група цехів працює в двох змін і має в обліковому складі близько 100 робітників, ІТП, службовців. У наявність технологічної групи близько 70 одиниць металорізальних верстатів і термічного, і зварювального устаткування. У дану тех. групу входить 3 основних виробничих ділянки і 1 допоміжний. Слюсарно-механічне відділення, зварювальне відділення, деревообробне і механічне.

Розглянуті цехи виробляють велику номенклатуру виробів. Виробництво характеризується як одиничне, дрібносерійне, із замкнутим циклом.

Загальна площа цеху складає 2100 м², загальна кількість основного технологічного устаткування складає 80 одиниць, у тому числі 65 одиниць металообробного.

При визначенні електричних навантажень промислового підприємства досить систематизувати споживачів електроенергії по режимах роботи, потужності, напрузі, роду струму і необхідного ступеня надійності харчування, вважаючи інші ознаки допоміжними.

По потужності і напрузі всі споживачі електроенергії можна розбити на двох груп:

- споживачі великої потужності (80-100 кВт і вище) на напругу 3-10 кв, що одержують харчування безпосередньо від мережі 3-10 кв. До цієї групи відносяться могутні печі опору і дугові печі для плавких чорних і кольорових металів, що харчуються через власні трансформатори;

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

•споживачі малої і середньої потужності (нижче 100 кВт), харчування яких можливо й економічно доцільно тільки на напругу 380-660 В.

По роду струму всі споживачі електроенергії можна розділити на три групи: працюючі від мережі перемінного струму нормальної промислової частоти (50 Гц), що працюють від мережі перемінного струму підвищеної чи зниженої частоти і працюючі від мережі постійного струму. Основний рід струму, на якому працюють електроустановки промислових підприємств, - перемінний трифазний струм частотою 50 Гц.

Специфічним навантаженням є зварювальні машини і теплове устаткування.

Зварювальне устаткування. ЕП цієї категорії є переважно однофазними трансформаторами з дуже низьким (порядку 0,3-0,6) коефіцієнтом потужності.

Зварювальні трансформатори бувають типів СТ, СТП і ТС для однопостового ручного дугового зварювання, різання і наплавлення металів і типу ТСД для автоматичного дугового зварювання.

Зварювальні машини бувають різних типів для крапкового, стикового і шовного зварювання.

Електротермічні установки. Як правило в промисловості використовуються електричні печі опору і різна нагрівальна апаратура.

Харчування дугових печей здійснюється від спеціальних трансформаторів високої первинної напруги, а індукційних – від перетворювачів частоти.

Електричні печі опору й інші електронагрівники підключають до силової мережі чи безпосередньо через трансформатори. Останні дають можливість чи східчасто плавно регулювати потужність у визначених межах. Коефіцієнт потужності печей опору близький до одиниці

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

З погляду забезпечення надійного і безперебійного харчування, приймачі електричної енергії поділяються на три категорії:

1-я категорія - приймачі, перерва в електропостачанні яких може викликати небезпеку для життя чи людей значний матеріальний збиток, зв'язаний з ушкодженням устаткування, масовим шлюбом чи продукції тривалим розладом складного технологічного процесу виробництва.

2-я категорія, - приймачі, перерва в електропостачанні яких зв'язаний з істотною недовідпунктою продукції, простоем людей, механізмів, промислового транспорту.

3-я категорія, - приймачі, що не підходять під визначення *1-й* і *2-й* категорій (наприклад, приймачі другорядних цехів, що не визначають технологічний процес основного виробництва).

Питання про надійність електропостачання споживачів зв'язаний з числом джерел харчування, схемою електропостачання і категорією споживачів. Приймачі *1-й* категорії повинні мати не менш двох незалежних джерел харчування. Приймачі *2-й* категорії можуть мати один-два джерел харчування (зважається конкретно в залежності від значення, що має дане промислове підприємство в народному господарстві країни, і місцевих умов). Приймачі *3-й* категорії, як правило, можуть мати одне джерело харчування, але якщо по місцевих умовах можна забезпечити харчування без істотних витрат і від другого джерела, то застосовується резервування харчування і для цієї категорії приймачів.

Основними *ЕП* групи цехів машинобудівного заводу є металорізальні верстати (токарські, фрезерні, свердлильні), ковальське устаткування, печі опору. Допоміжними *ЕП* є вентилятори, насоси.

Цех відноситься до третьої категорії по безперебійності електропостачання.

Визначення режимів роботи електрообладнання

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

По режимах роботи всі ЕП можна розділити на ряд груп, для яких передбачаються три режими роботи: тривалий, при якому електричні машини можуть працювати тривалий час, причому перевищення температури окремих частин машини не виходить за межі, установлені стандартом; короткочасний, при якому робочий період не настільки тривалий, щоб температури окремі машини не могли досягти сталого значення, період же зупинки машини настільки тривалий, що машина встигає остудитися до температури навколишнього середовища; повторно-короткочасний, при якому робочі періоди чергуються з періодами пауз, а тривалість усього циклу не перевищує 10 хв. При цьому нагрівання не перевершує припустимого, а охолодження не досягає температури навколишнього середовища.

Аналіз режимів роботи споживачів електроенергії промислових підприємств показує, що в тривалому режимі працює більшість електродвигунів, що обслуговують основні агрегати і механізми. Довгостроково, без відключення, від декількох годин до кілька змін підряд, з досить високої, незмінної чи малозмінним навантаженням працюють електроприводи вентиляторів, насосів, компресорів, перетворювачів, механізмів безупинного транспорту і т.п. Довгостроково, але з перемінним навантаженням і короткочасними відключеннями, за час яких електродвигун не встигає остудитися до температури навколишнього середовища, а тривалість циклів перевищує 10 хв, працюють електродвигуни, що обслуговують верстати холодної обробки металів, преси і кувальні машини.

У короткочасному режимі працює більшість електроприводів допоміжних механізмів металорізальних верстатів, а також механізмів для відкривання фрамуг, гідравлічних затворів, усякого роду заслінок і т.п.

У повторно-короткочасному режимі працюють електродвигуни мостових кранів, тельферів і аналогічних їм установок. До цієї групи відносяться і

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

зварювальні апарати, що працюють з постійними великими кидками потужності.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ і вище 1кВ

Електричне навантаження є однією з ключових характеристик системи електропостачання та відображає величину споживаної електричної потужності або струму, яка змінюється в часі залежно від режиму роботи електроприймачів. Воно може характеризуватися активною потужністю (P) (кВт), реактивною потужністю (Q) (квар) або силою струму (I) (А). Значення цих параметрів визначаються особливостями технологічного процесу, режимом функціонування обладнання, кількістю одночасно працюючих споживачів та іншими виробничими чинниками.

Визначення електричних навантажень є одним із найвідповідальніших етапів проектування систем електропостачання, оскільки результати розрахунків використовуються для вибору основного електротехнічного обладнання та параметрів мережі. На підставі розрахункових навантажень встановлюють кількість і потужність силових трансформаторів, підбирають комутаційні та захисні апарати, кабельні лінії, шинопроводи, а також визначають необхідні перерізи струмопровідних елементів.

Крім того, результати розрахунку навантажень застосовуються для оцінювання втрат електроенергії в мережі, аналізу режимів роботи електрообладнання, вибору засобів компенсації реактивної потужності та контролю показників якості електроенергії. Достовірне визначення навантажень забезпечує надійну, безпечну та економічно доцільну експлуатацію системи електропостачання протягом усього терміну її служби.

Особливо важливим є забезпечення високої точності розрахунків очікуваних електричних навантажень, оскільки від цього значною мірою

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

залежать техніко-економічні показники проєктованого об'єкта. Завищення розрахункових значень призводить до вибору обладнання із надлишковими параметрами, збільшення потужності трансформаторів, застосування кабельної продукції більшого перерізу та зростання капітальних витрат на створення системи електропостачання.

У свою чергу, зниження навантажень може спричинити перевантаження електрообладнання, прискорене старіння його елементів, погіршення показників якості електроенергії, збільшення втрат потужності та зниження надійності електропостачання. У критичних випадках це може призвести до виникнення аварійних режимів, виходу обладнання з ладу та порушення безперервності виробничого процесу.

Таким чином, правильне визначення електричних навантажень є основою ефективного проєктування систем електропостачання. Точність розрахунків забезпечує оптимальне поєднання економічності, надійності та безпеки роботи електроенергетичного господарства підприємства, а також створює необхідний резерв потужності для перспективного розвитку виробництва.

У даному дипломному проєкті для визначення розрахункових електричних навантажень використовується метод упорядкованих діаграм, який є одним із найбільш поширених і ефективних методів, рекомендованих для проєктування систем електропостачання. Застосування цього методу дає можливість з достатньою точністю визначити очікувані навантаження на всіх рівнях живильних та розподільчих мереж, що забезпечує обґрунтований вибір електрообладнання та підвищує надійність роботи системи електропостачання в цілому.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.1. Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів

Електричні навантаження промислових підприємств визначають вибір всіх елементів системи електропостачання: живильних і розподільних мереж, заводських і цехових трансформаторних підстанцій.

Розрахунок навантажень зробимо методом упорядкованих діаграм, що тепер є основним при розробці технічних і робочих проектів електропостачання.

По цьому методі розрахункове активне навантаження приймачів електроенергії на всіх ступінях живильних і розподільних мереж (включаючи трансформатори і перетворювачі) визначають по середній потужності і коефіцієнту максимуму з вираження

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

Тому ми вводимо розрахунковий коефіцієнт навантаження κ_p , що визначаємо з таблиці 2.4 [6] як

$$\kappa_p = f(n_{\Sigma}, \kappa_{и гр. зв.}).$$

По кожній групі ЕП визначаємо сумарну номінальну потужність, що дорівнює паспортним даним електричного устаткування.

Розрахунок електричного навантаження від силового електроустаткування розглянемо на прикладі розрахунку першої характерної групи ЕП токарно-гвинторізних верстатів.

На першому етапі визначаємо сумарну номінальну потужність вузла навантаження:

$$\sum P_{ni} = 135 \text{ кВт.}$$

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

$$P_{cmi} = P_{ni} \cdot \kappa_{ui},$$

де P_{ni} - номінальна потужність і-тієї групи ЕП;

K_{ui} - коефіцієнт використання для і-тієї групи ЕП;

$$P_{cm1} = P_{n1} \cdot K_{i1} = 135 \cdot 0,15 = 20,25 \text{ кВт};$$

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

$$Q_{cm1} = P_{cm1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 20,25 \cdot 1,73 = 35,07 \text{ квар.}$$

Для ЕП працюючих у повторно-короткочасному режимі номінальну потужність визначають по паспортній потужності шляхом приведення її до тривалого режиму роботи (ПВ=1) по наступній формулі:

$$P_{ном} = P_{пасп} \sqrt{ПВ_{пасп}}, \text{ кВт}$$

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

$$\sum P_{cmi} = 139,14 \text{ кВт}; \sum Q_{cmi} = 111,01 \text{ квар.}$$

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

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

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

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

P_{ni} - номінальна потужність підгрупи ЕП.

$$K_{i \text{ гр.}} = \frac{139,14}{464,40} = 0,30$$

Результат зводимо в таблицю 1.2.

Після цього визначаємо ефективне число ЕП.

Відомо, що на формування максимуму графіка навантаження P_m впливають число ЕП у вузлі зі своїми індивідуальними встановленими

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

потужностями, їхній технологічний режим. Для еквівалентування різних потужностей ЕП, що беруть участь у формуванні P_{max} , вводять поняття ефективного (приведеного) числа ЕП. Тобто ефективним числом ЕП називають таке число однакових по потужності і режиму роботи ЕП, що формує той же розрахунковий максимум навантаження, що і дійсне число ЕП, що працюють у різних режимах і мають різну встановлену потужність.

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

Для розрахунку n_{ef} можна використовувати спрощену формулу:

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

де $P_{n \max}$ - потужність одного найбільшого ЕП групи.

Цю формулу використовують, якщо виконується умова:

$$m = \frac{P_{n \max}}{P_{n \min}} > 3 \text{ і } \kappa_{i \text{ гр}} > 0,3 \Rightarrow n_{ef} = \frac{2 \cdot 467,40}{17} = 82,73$$

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

$$\kappa_p = f(n_{ef}, \kappa_{i \text{ гр. в зв.}}).$$

У моєму випадку, при $n_{ef} = 82,73$ і $\kappa_{i \text{ гр в зв}} = 0,3$

$$\kappa_p = 1,27$$

Після того, як ми визначили коефіцієнт розрахункового навантаження визначаємо розрахункові значення активного навантаження і реактивної потужності:

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

$$P_p = 1,27 \cdot 139,14 = 176,71 \text{ кВт}$$

З огляду на особливість споживання реактивної потужності ЕП, що мало

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						16
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

залежить від завантаження електродвигунів, маємо:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n Q_{cmi}, \text{ квар}$$

$$Q_p = 111,01 \text{ квар}$$

При відомі умови:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n Q_{cmi}, \text{ при } n_{эф} \geq 10$$

$$\text{У випадку } n_{эф} < 10 \quad Q_p = 1,1 \sum_{i=1}^n Q_{cmi}$$

Вважаємо повне навантаження від силових ЕП:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВа}$$

$$S_p = \sqrt{176,71^2 + 111,01^2} = 208,69 \text{ кВа}$$

На промислових підприємствах близько 10-20% споживаної електроенергії затрачається на електричне висвітлення. Правильне виконання освітлювальних електроустановок сприяє раціональному використанню електроенергії, поліпшенню продукції, що випускається, підвищенню продуктивності праці, зменшенню кількості аварій і випадків травматизму, зниженню стомлюваності робітників.

Установлену потужність $P_{уст}$ освітлювальних ЕП визначимо по питомій щільності освітлювального навантаження для даного технологічного процесу.

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

$$P_{уд.о} = 14,3 \text{ Вт/м}^2$$

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

$$P_{м.о} = P_{н.о} \cdot K_{с.о} \cdot K_{пра}; K_{с.о} = 0,95; K_{пра} = 1,1$$

$$P_{уст} = 14,3 \cdot 2100 \cdot 10^{-3} = 30,03 \text{ кВт}$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{м.о}} = 30,03 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 31,38 \text{ кВт}$$

$$F = 2100 \text{ м}^2$$

З огляду на особливості освітлювальних приладів, що в основному складають люмінесцентні лампи, що працюють з пускорегулюючими пристроями, що мають у своєму складі індуктивність і ємність, вираження для перебування розрахункової реактивної потужності від освітлювальних ЕП можна записати в такий спосіб:

$$Q_{\text{р.о.}} = P_{\text{р.о.}} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

$$\text{де } \operatorname{tg} \varphi = 0,62$$

$$Q_{\text{р.о.}} = 31,38 \cdot 0,62 = 19,45 \text{ квар}$$

Знайдемо повну потужність від освітлювальних ЕП:

$$S_{\text{р.о.}} = \sqrt{P_{\text{р.о.}}^2 + Q_{\text{р.о.}}^2} = \sqrt{31,38^2 + 19,45^2} = 36,92 \text{ кВа.}$$

Розрахункові активні і реактивні навантаження силових і освітлювальних ЕП сумуються і вносяться у відповідні графи таблиці 1.2.

$$P_{\text{р.}\Sigma} = 208,09 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р.}\Sigma} = 130,46 \text{ квар}$$

$$S_{\text{р.}\Sigma} = 245,61 \text{ кВа.}$$

2.1.2. Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів

Встановлену потужність освітлювальних електроприймачів $P_{\text{уст.о}}$ визначаємо за питомою щільністю освітлювального навантаження, яка відповідає даному технологічному процесу та типу виробничого приміщення.

Розрахункова активна потужність освітлювального навантаження визначається з урахуванням коефіцієнта попиту освітлювального навантаження $K_{\text{с.о}}$ та коефіцієнта, що враховує втрати потужності в пускорегулювальній апаратурі освітлювальних установок:

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						18
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\text{ПРА}} = 1,1.$$

Розрахункова активна потужність освітлювальних електроприймачів становить:

$$P_{p.o} = 129,58 \text{ кВт.}$$

Оскільки в системі освітлення переважно використовуються люмінесцентні світильники з пускорегулювальною апаратурою, які мають індуктивний характер навантаження, необхідно враховувати споживання реактивної потужності.

Розрахункова реактивна потужність освітлювального навантаження визначається за формулою:

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \text{tg}\varphi,$$

де:

$\text{tg}\varphi = 0,33$ – коефіцієнт реактивної потужності освітлювальних установок.

Тоді:

$$Q_{p.o} = 129,58 \cdot 0,33 = 42,59 \text{ квар.}$$

Повна потужність освітлювального навантаження визначається за виразом:

$$S_{p.o} = \sqrt{(P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2)}, \text{ кВА.}$$

Після підстановки розрахункових значень отримуємо:

$$S_{p.o} = 136,40 \text{ кВА.}$$

На завершальному етапі розрахунків активні та реактивні навантаження освітлювальних електроприймачів додаються до відповідних навантажень силових електроприймачів. У результаті сумарні розрахункові навантаження цеху становлять:

активна потужність $P_{p\Sigma} = 2436,72 \text{ кВт};$

реактивна потужність $Q_{p\Sigma} = 2736,26 \text{ квар};$

повна потужність $S_{p\Sigma} = 3663,98 \text{ кВА.}$

Отримані значення сумарних розрахункових навантажень використовуються для подальшого вибору силових трансформаторів,

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						19
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

компенсуючих установок, струмопровідних частин та іншого обладнання системи електропостачання.

2.2 Розрахунок потужності компенсуючих установок у мережі напругою до 1 кВ

Сумарна розрахункова потужність конденсаторних батарей низької напруги (КБНН), які встановлюються в цеховій електричній мережі, визначається на основі техніко-економічного аналізу з урахуванням критерію мінімізації приведених витрат. Розрахунок виконується у два послідовні етапи:

1. Визначення економічно доцільної кількості та потужності цехових трансформаторів.
2. Розрахунок додаткової потужності компенсуючих пристроїв, необхідної для зменшення втрат електроенергії в силових трансформаторах і мережах напругою 6–10 кВ.

Загальна розрахункова потужність конденсаторних батарей низької напруги визначається як сума потужностей, отриманих на кожному з етапів розрахунку:

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

де:

$Q_{\text{нк1}}$ – потужність конденсаторних батарей, необхідна для вибору оптимальної кількості трансформаторів;

$Q_{\text{нк2}}$ – додаткова потужність компенсуючих установок для зменшення втрат активної потужності.

Застосування компенсуючих пристроїв дозволяє зменшити перетоки реактивної потужності, підвищити коефіцієнт потужності електроустановок, знизити навантаження на елементи системи електропостачання та покращити техніко-економічні показники роботи підприємства.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1. Розрахунок електричних навантажень

Вихідні дані				Справочні дані				Середньозмінне навантаження			Ефек.	Коеф.	Розрахунковий макс. навантаження			Розрахунковий.
Найменування характерних груп ЕП	Кіл-ть шт.	Номинальна (встан.)			Коеф. використання	cos	tg	Р см, кВт	Q см, квар	число ЕП	розрахункового навантаження к р	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	I р, А	
		Одного ЕП Рmin/Рmax	Загальна Рн	Потужність при ПВ=1												
2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Токарно-врттор верстати	30	4,50	135,00	135,00	0,15	0,50	1,73	20,25	35,07							
Фрезерні верстати	25	3,50	87,50	87,50	0,16	0,60	1,33	14,00	18,67							
Свердильні верстати	10	2,80	28,00	28,00	0,16	0,50	1,73	4,48	7,76							
Кран-балка	2	10,5	21,00	21,00	0,16	0,5	1,73	3,36	5,82							
Точильний верстат	2	4,7	9,40	9,40	0,16	0,5	1,73	1,50	2,61							
Ковзаний молот	5	14	70,00	70,00	0,2	0,7	1,02	14,00	14,28							
Електропечі	5	17	85,00	85,00	0,7	0,95	0,33	59,50	19,56							
Вентилятори	7	4,50	31,50	31,50	0,70	0,95	0,33	22,05	7,25							
Ітого силові ЕП:	86	17,00	467,40	467,40	0,30			139,14	111,01	54,99	1,27	176,71	111,01	208,69	301,22	
Освітлювальні ЕП:				30,03		0,85	0,62				0,95	31,38	19,45	36,92	53,29	
Всього по цеху:				497,43								208,09	130,46	245,61	354,50	
Номинальна напруга, Uн					0,4	кВ										
Площа цеху, F					2100	м²										
Встан. потужність електричного освітлення, Рдо				30,03				кВт								
Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних ЕП:																
Коеф. долида	Kco	0,95														
Коеф. пуск. рег. апаратури	Kpa	1,1														
Питома щільність освітлювального навантаження	Pплт	14,3	Вт/м2													
Встановл. потужність	Pдо	30,03	кВт													

2.2.1 Визначення потужності компенсуючих установок за умовою вибору оптимальної кількості цехових трансформаторів

Вибір числа і потужності цехових трансформаторів виробляється одночасно з вибором засобів *KPM* на підставі техніко-економічних розрахунків, виходячи з розрахункових активних навантажень, формованих *ЕП* до *1 кВ* у цехах.

Орієнтований вибір номінальної потужності цехових трансформаторів виробляється по питомій щільності навантаження і повному розрахунковому навантаженню цеху.

Число трансформаторів визначається вимогами надійності електропостачання.

Потужність трансформаторів повинна забезпечувати в нормальних умовах харчування всіх *ЕП*. Потужність цехових трансформаторів вибирається, виходячи з розрахунку електричних навантажень, що забезпечує економічно доцільний режим роботи.

Вибір потужності трансформаторів виробляється на підставі розрахункового навантаження підприємства в нормальному режимі роботи з урахуванням режимів електропостачальної організації по реактивній потужності.

ЕП до *1 кВ* є значними споживачами реактивної потужності. При цьому *ЕП* до *1 кВ* електрично вилучені від основних джерело живлення на кілька ступіней трансформації. Тому передача реактивної потужності в мережу до *1 кВ* приводить до додаткових витрат на підвищення числа (чи потужності) трансформаторів цехових *ТП*, збільшення перетинів живильних *СВЧ*, додаткові втрати потужності, викликані рівчачками *РМ*. Ці витрати можна зменшити і навіть усунути, передбачивши установку *КУ* безпосередньо в мережі напругою до *1 кВ*.

Сумарна розрахункова потужність $KKY-0,38$ кв визначається по мінімуму приведених витрат двома послідовними розрахунковими етапами:

$$Q_{HK} = Q_{HK1} + Q_{HK2}, \text{ квар}$$

де Q_{HK1} – реактивна потужність $KKY-0,38$ кв, що забезпечує економічно оптимальне число цехових трансформаторів;

Q_{HK2} – додаткова потужність $KKY-0,38$ кв, що забезпечує оптимальне зниження втрат у цехових трансформаторах і живильних їхніх мережах напругою вище 1 кв.

Для кожної технологічно концентрованої групи цехових трансформаторів однакової потужності їхнє мінімальне число, необхідне для харчування максимального розрахункового активного навантаження, визначається по формулі:

$$N_{min} = \frac{P_p + P_{p.o}}{\beta \cdot S_{HTR}} + \Delta N,$$

де $P_p + P_{p.o}$ – розрахунковий максимум активного навантаження від силових і освітлювальних ЕП розрахункового вузла навантаження $кВт$;

β – коефіцієнт завантаження трансформаторів;

S_{HTR} – номінальна потужність трансформатора $кВА$;

ΔN – добавка до найближчого більшого цілого числа трансформаторів.

Економічно оптимальне число трансформаторів:

$$N_{OPT} = N_{min} + m,$$

де m – додаткове число трансформаторів

Економічно оптимальне число трансформаторів N_{OPT} визначається питомими витратами на передачу реактивної потужності з обліком постійних складових капітальних витрат:

$$Z^* = \beta (Z_{HK} - Z_{BK}) / Z_{TP} = Z_{PC}^* \cdot \beta,$$

де Z_{HK}, Z_{BK}, Z_{TP} – відповідно усереднені приведені витрати на $KKY-0,38$ кв, $KKY-6,3$ (10,5) кв і $ТП$

$$3_{\text{ПС}}^* = \frac{3_{\text{НК}} - 3_{\text{БК}}}{3_{\text{ТП}}}$$

При відомих питомих витратах, що формують значення $3_{\text{ПС}}^*$, оптимальне число трансформаторів рекомендується визначати по кривих, [4., рис. 4.3]

При відсутності достовірних вартісних показників для практичних розрахунків допускається приймати $3_{\text{ПС}}^* = 0,5$ і $N_{\text{ОПТ}}$ визначати в залежності від $(N_{\text{мін}}, \Delta N)$ по кривих [3., с.20. (а,б)]

По обраному числу трансформаторів визначають найбільшу РМ, квар, що доцільно передати через трансформатори в мережу напругою до 1 кв:

$$Q_{\text{T}} = \sqrt{(N_{\text{ОПТ}} \cdot \beta \cdot S_{\text{НТР}})^2 - (P_{\text{P}} + P_{\text{P.O}})^2}.$$

Потужність низьковольтних батарей конденсаторів (НБК), квар, для даної групи трансформаторів, що забезпечує їхнє оптимальне число, визначається з рівняння балансу РМ у вузлі:

$$Q_{\text{НК1}} = (Q_{\text{P}} + Q_{\text{P.O}}) - Q_{\text{T}}.$$

Визначається розрахункова потужність НБК, що приходить на один трансформатор:

$$Q'_{\text{НК1}} = \frac{Q_{\text{НК1}}}{N_{\text{ОПТ}}}.$$

За отриманим значенням вибирають стандартну потужність ККУ-0,38 кв, $Q_{\text{НК1 ср}}$.

Визначають сумарну потужність ККУ-0,38 кв по цеху:

$$Q'_{\text{НК1 ср}} \cdot N_{\text{ОПТ}}.$$

Некомпенсована реактивна потужність складе:

$$Q_{\text{НЕСК}} = (Q_{\text{P}} + Q_{\text{P.O}}) - Q'_{\text{НК1 ср}} \cdot N_{\text{ОПТ}}.$$

Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів, $Q_{\text{НК2}}$, з метою оптимального зниження утрат визначається по вираженню

$$Q_{HK2} = Q_{HECK} - \gamma \cdot N_{OPT} S_{HTR},$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, обумовлений у залежності від коефіцієнтів K_1 , K_2 і схеми харчування цехових трансформаторів.

При відсутності відповідних даних допускається приймати значення K_2 по [3., стор.22.]

Якщо в результаті розрахунків виявиться значення Q_{HK2} негативним; то Q_{HK2} приймається рівним нулю.

Результати розрахунків зводять у табл. 1.3.

$$P_{P\Sigma} = 208,09 \text{ кВт}$$

$$Q_{P\Sigma} = 130,46 \text{ квар.}$$

$$N_{min} = \frac{P_{P\Sigma}}{\beta \cdot S_{HTR}} = \frac{208,09}{0,70 \cdot 160} = 1,86 + 0,14 = 2$$

По кривих визначаємо значення $m = 0$, тоді

$$N_{OPT} = N_{min} + m = 2$$

Найбільша PM , що доцільно передавати через трансформатори в мережу до 1 кв , визначається:

$$Q_T = \sqrt{(N_{OPT} \cdot \beta \cdot S_{HTR})^2 - P_{P\Sigma}^2} = \sqrt{(0,70 \cdot 2 \cdot 160)^2 - 208,09^2} = 82,90 \text{ квар}$$

Розрахункова потужність НБК, що забезпечує оптимальне число трансформаторів:

$$Q'_{HK} = Q_{P\Sigma} - Q_T = 130,46 - 82,90 = 47,56 \text{ квар}$$

Розрахункова потужність НБК, що приходяться на один трансформатор:

$$Q'_{HK1} = \frac{Q_{HK1}}{N_{OPT}} = \frac{47,56}{2} = 23,78 \text{ квар.}$$

Вибираємо потужність ККУ – $0,38 \text{ кв}$ для одного трансформатора: 20 квар

Нескомпенсована PM складе:

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{HECK} = Q_{p\Sigma} - Q'_{HKI.cnp} \cdot N_{OPT} = 130,46 - 2 \cdot 20 = 90,46 \text{ квар}$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						26
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 Визначення додаткової потужності компенсуючих установок для зниження втрат активної потужності

На другому етапі визначається додаткова потужність компенсуючих установок, необхідна для зменшення втрат активної потужності, спричинених переструмами реактивної потужності через трансформатори.

Розрахунок виконується із застосуванням коефіцієнта γ , значення якого залежить від параметрів системи електропостачання та схеми живлення підстанції.

Для даного випадку прийнято:

- $k_{p1} = 10$;
- $k_{p2} = 2$;
- $\gamma = 0,44$.

Додаткова потужність *НБК* із метою оптимального зниження утрат визначається:

$$Q_{HK2} = Q_{HECK} - \gamma N_{OPT} \cdot S_{HTP} = 90,46 - 0,5 \cdot 2 \cdot 160 = - 50,34 \text{ квар}$$

Значення коефіцієнта γ визначаємо по кривих, [3.,рис 4.4 (б)], при значенні коефіцієнтів $K_1=12$; $K_2=7$, обумовлених відповідно по табл. 4.1. і 4.2., $\gamma \approx 0,5$.

Тому що значення Q_{HK2} негативне, те додаткової потужності *НБК* із метою оптимального зниження втрат на встановлюють.

Тоді сумарна потужність *НБК* у цеху складе:

$$Q_{HK} = Q_{HK1} + Q_{HK2} = 40 \text{ квар}$$

Таблиця 2.2. Розрахунок компенсуючих пристроїв та вибір цехових трансформаторів

Кат	Рr+Рро	Qr+Qро	Sp	J=Sp/F	Sнтр	B	Nmin	Nопт	Qt	Qнк1	Qнк1'	Qнк1	Q неск	j	Qнк2	Qнк*Noпт	Вф
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	208,09	130,46	245,61	0,12	160,0	0,7	1,86	2,00	82,90	47,56	23,78	20,00	90,46	0,44	-50,34	40,00	0,71

2.3 Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Під час проєктування системи електропостачання особливу увагу приділяють вибору місця розташування цехових трансформаторних підстанцій, оскільки від цього значною мірою залежать техніко-економічні показники роботи електричної мережі та рівень втрат електроенергії.

При розміщенні трансформаторних підстанцій необхідно дотримуватися таких основних вимог:

- максимальне наближення підстанцій до центрів електричних навантажень для зменшення протяжності мереж низької напруги та скорочення втрат електричної енергії;
- раціональний розподіл встановленої трансформаторної потужності, підтверджений техніко-економічними розрахунками;
- забезпечення найкоротшого шляху живлення підстанції від джерела електропостачання, що сприяє зменшенню витрат провідникових матеріалів і підвищенню економічності мережі.

Вибір місця встановлення цехової підстанції здійснюється з урахуванням розташування електричних навантажень, особливостей технологічного процесу, компоновки виробничого обладнання, можливості встановлення компенсувальних пристроїв, а також умов навколишнього середовища у виробничих приміщеннях.

Практика проєктування та експлуатації промислових систем електропостачання підтверджує доцільність використання комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), які характеризуються високим ступенем заводської готовності, скороченням термінів монтажу та підвищенням надійності експлуатації.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розташування підстанцій безпосередньо поблизу центрів електричних навантажень забезпечує зниження втрат потужності та електроенергії в розподільних мережах, що позитивно впливає на енергоефективність системи електропостачання. Водночас місце встановлення КТП, кількість і потужність силових трансформаторів повинні відповідати розрахунковому навантаженню, умовам експлуатації та вимогам щодо надійності електропостачання споживачів.

Залежно від конструктивного виконання та місця розташування відносно виробничих приміщень трансформаторні підстанції поділяються на внутрішньоцехові, вбудовані, прибудовані та окремо розташовані.

Внутрішньоцехові підстанції забезпечують найкраще наближення до центрів навантажень і дозволяють досягти мінімальних втрат електроенергії. Їх доцільно застосовувати в багатопрольотних виробничих корпусах значної ширини, розміщуючи поблизу колон у зонах, не зайнятих технологічним обладнанням.

Вбудовані підстанції використовують у виробничих будівлях з високою щільністю навантажень або в цехах невеликої ширини, де відсутня можливість розміщення окремих внутрішньоцехових підстанцій.

Прибудовані підстанції рекомендується застосовувати у виробничих приміщеннях з несприятливими умовами експлуатації, підвищеною температурою, значною запиленістю або наявністю технологічних процесів, пов'язаних із можливістю розливу рідкого металу. У таких випадках широко використовуються комплектні трансформаторні підстанції зовнішнього встановлення.

Окремо розташовані підстанції застосовуються переважно для живлення пожежо- та вибухонебезпечних об'єктів, а також підприємств із територіально розосередженими виробничими спорудами.

Для проєктованого об'єкта прийнято рішення щодо встановлення прибудованої двотрансформаторної комплектної трансформаторної підстанції.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таке рішення забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання, відповідає виробничим умовам та дозволяє реалізувати раціональну схему розподілу електричної енергії.

Враховуючи значну щільність електричного навантаження та наявність електроприймачів I та II категорій за надійністю електропостачання, обрано двотрансформаторну підстанцію, оснащену двома силовими трансформаторами потужністю 1600 кВА кожний. Потужність трансформаторів визначена з урахуванням можливих аварійних перевантажень відповідно до вимог чинних нормативних документів.

У проєкті передбачено використання трифазних масляних трансформаторів типу ТМЗ з номінальною напругою 10/0,4 кВ. Для трансформаторів прийнята схема з'єднання обмоток $\Delta/Y-11$, яка забезпечує покращені умови роботи мережі, зменшує опір нульової послідовності та підвищує ефективність захисту від однофазних коротких замикань.

Для забезпечення безперервності електропостачання передбачено можливість резервування навантаження у випадку виходу з ладу одного з трансформаторів шляхом переведення навантаження на другий трансформатор у межах допустимих аварійних перевантажень.

Місце встановлення комплектної трансформаторної підстанції наведене на кресленні №1 графічної частини дипломного проєкту.

2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Внутрішньоцехові мережі розподілу електричної енергії повинні відповідати комплексу технічних, економічних та експлуатаційних вимог. Насамперед вони мають забезпечувати необхідний рівень надійності електропостачання відповідно до категорії електроприймачів за ступенем

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

безперебійності живлення. Крім того, система електропостачання повинна бути безпечною та зручною в експлуатації, забезпечувати простоту технічного обслуговування й ремонту, а також характеризуватися мінімальними приведеними витратами на будівництво та експлуатацію. Важливою вимогою є також можливість застосування сучасних індустріальних методів монтажу та використання уніфікованих конструктивних рішень.

За принципом побудови внутрішньоцехові електричні мережі поділяються на магістральні та радіальні.

Магістральні схеми електропостачання доцільно застосовувати у випадках, коли електроприймачі розташовані відносно рівномірно по площі виробничого приміщення або об'єднані єдиним технологічним процесом. Такі схеми забезпечують ефективний розподіл електроенергії між групами споживачів і широко використовуються на сучасних промислових підприємствах.

Для магістральних схем характерні такі особливості:

1. Надійність електропостачання дещо нижча порівняно з радіальними схемами, оскільки пошкодження магістральної лінії призводить до припинення живлення всіх приєднаних до неї споживачів. Для підвищення надійності роботи мережі передбачаються резервні перемички та можливість оперативного переключення навантажень.

2. Вартість будівництва магістральних мереж, як правило, є меншою завдяки скороченню кількості кабельних ліній, комутаційної апаратури та зменшенню обсягів монтажних робіт.

3. Магістральні мережі добре пристосовані до використання сучасних комплектних шинопроводів, що дозволяє значно скоротити терміни монтажу та підвищити якість виконання електромонтажних робіт.

4. Для таких схем характерні дещо вищі струми короткого замикання, проте втрати напруги та активної потужності зазвичай менші, ніж у радіальних

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

мережах, що позитивно впливає на енергоефективність системи електропостачання.

Радіальні схеми передбачають живлення кожного електроприймача або групи електроприймачів окремою лінією безпосередньо від розподільчого пристрою низької напруги трансформаторної підстанції. Такі схеми доцільно застосовувати для живлення потужних або відповідальних споживачів, а також у випадках нерівномірного розташування навантажень по території цеху.

Основною перевагою радіальних схем є висока надійність електропостачання, оскільки аварійне відключення однієї лінії не впливає на роботу інших споживачів. Разом з тим їх використання супроводжується збільшенням витрат на кабельну продукцію, комутаційно-захисну апаратуру та виконання електромонтажних робіт.

У сучасних системах електропостачання промислових підприємств значного поширення набула схема типу «блок трансформатор – магістраль» (БТМ), особливо при розміщенні трансформаторних підстанцій поблизу центрів електричних навантажень. Застосування такої схеми дозволяє спростити структуру внутрішньоцехової мережі та зменшити кількість розподільчого обладнання.

При реалізації схеми БТМ комплектна трансформаторна підстанція може виконуватися без окремого розподільчого пристрою низької напруги. Від силового трансформатора безпосередньо відходить магістральний шинопровід типу ШМА, який забезпечує передачу електроенергії до розподільчих шинопроводів типу ШРА або безпосередньо до окремих груп електроприймачів. Таке рішення дозволяє знизити втрати електроенергії, підвищити надійність роботи мережі та скоротити витрати на монтаж і експлуатацію системи електропостачання.

У даному дипломному проєкті для електропостачання споживачів цеху прийнято схему «блок трансформатор – магістраль», яка найбільш повно

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідає вимогам щодо надійності, економічності та зручності експлуатації. Розроблена схема електропостачання наведена в графічній частині дипломного проєкту.

2.5 Вибір типу та параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах

У процесі експлуатації електричних мереж можуть виникати аварійні режими роботи, зокрема перевантаження та короткі замикання, які супроводжуються значним збільшенням струму в струмопровідних елементах. Для забезпечення надійної та безпечної роботи електрообладнання внутрішньоцехові мережі повинні бути обладнані ефективними засобами захисту, здатними оперативно відключати пошкоджені ділянки мережі.

Для захисту електричних мереж напругою до 1 кВ застосовуються плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі та теплові реле магнітних пускачів. Основним завданням цих пристроїв є захист обладнання від перевантажень, струмів короткого замикання та інших аварійних режимів.

Вибір автоматичних вимикачів здійснюється за такими критеріями:

- номінальна напруга вимикача повинна бути не меншою за номінальну напругу мережі;
- номінальний струм розчіплювача повинен відповідати розрахунковому струму захищуваної ділянки електричної мережі.

При встановленні автоматичних вимикачів у шафах керування необхідно враховувати погіршення умов охолодження, використовуючи тепловий поправочний коефіцієнт 0,85.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИБІР ВВІДНОГО АВТОМАТИЧНОГО ВИМИКАЧА

Ввідний автоматичний вимикач вибирається відповідно до встановленої потужності цехових трансформаторів з урахуванням можливого перевантаження в післяаварійному режимі роботи.

За результатами розрахунків приймається селективний автоматичний вимикач типу ЕО-40 з номінальним струмом 4000 А. Перевірка показала, що вибраний апарат відповідає умовам роботи мережі та забезпечує необхідну пропускну здатність.

Для секціонування шин приймається автоматичний вимикач типу Е25 з номінальним струмом 2500 А, який має на один ступінь менший номінал порівняно з ввідним автоматом.

ВИБІР АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Параметри автоматичних вимикачів, призначених для захисту електродвигунів, визначаються з урахуванням номінального та пускового режимів роботи двигунів.

Пусковий струм одиночного електродвигуна визначається як добуток номінального струму на коефіцієнт кратності пускового струму:

$$I_{\text{пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}}$$

де $k_{\text{пуск}}$ — кратність пускового струму двигуна.

Для електродвигуна потужністю 10 кВт було визначено номінальний та пусковий струми. На підставі виконаних розрахунків для його захисту прийнято автоматичний вимикач типу ВА-2004/30.

З урахуванням теплового поправочного коефіцієнта номінальний струм розчіплювача прийнято рівним 30 А. Для забезпечення надійного пуску двигуна виконано перевірку відбудови захисту від пускових струмів, за результатами якої струмова уставка електромагнітного розчіплювача прийнята рівною 300 А.

Вибір захисних апаратів для інших електродвигунів здійснюється аналогічно. Отримані результати зведені до таблиці 2.5.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунків навантаження магістральних та розподільних шинопроводів визначаються за умови рівномірного розподілу навантаження між усіма лініями живлення, що забезпечує раціональне використання електрообладнання та надійну роботу системи електропостачання.

Таблиця 2.5. Вибір апаратів та струмоведучих частин

№ авт.	Призначення, місце в схемі	Розрахункове навантаження Р, кВт	Розр. струм I, А	Кратність пускового струму, Кл	Піковий струм I _{пк} , А	I _{р0,85}	Ном.струм розч. ном.р., А	Ном.струм автомата ном.а., А	Тип авт.	Ісраб. розціпл. А	Ідл., А СВЧ	Марка перетин СВЧ, мм ²	Втрати напруги. В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
Вводной-ШРА-1(С.кВА)			340,33			400,39	500	630	ВА88-40	3150	630	ШРА-73	
Вводной-ШРА-2(С.кВА)			340,33			400,39	500	630	ВА88-40	3150	630	ШРА-73	
Секционный			238,23			280,27	320	400	ВА51-37	2000	335	АВВГ(3*150)	
QF1(С.кВА)	РП-1	19,99	30,37			35,73	40	100	ВА51-31		55	АВВГ(3*6)	1,03
QF2(С.кВА)	ШРА-3	9,55	14,51			17,07	20	100	ВА51-31		100	ШРМ75	
QF3	АД	4,5	8,54	6	51,25	10,05	12,5	25	ВА51-25	250	55	АВВГ(3*6)	0,29
QF4	АД	3,5	6,64	6	39,86	7,82	8	25	ВА51-25	250	55	АВВГ(3*6)	0,23
QF5	АД	2,8	5,32	6	31,89	6,25	8	25	ВА51-25	250	55	АВВГ(3*6)	0,18
QF6	АД	10,5	20,37	6	122,25	23,97	25	25	ВА51-25	250	55	АВВГ(3*6)	0,69
QF7	АД	4,7	8,44	6	50,62	9,93	12,5	25	ВА51-25	250	55	АВВГ(3*6)	0,29
QF8	АД	14	25,13	6	150,79	29,57	31,5	100	ВА51-31	1000	55	АВВГ(3*6)	0,86
QF9	АД	17	30,52	6	183,10	35,90	40	100	ВА51-31	1000	55	АВВГ(3*6)	1,04
QF10	АД	4,5	8,08	6	48,47	9,50	12,5	25	ВА51-25	250	55	АВВГ(3*6)	0,27

2.6 Вибір марки та перерізів струмопровідних частин

Во внутріцехових мережах напругою до 1 кВ, у невибухонебезпечних приміщеннях перетин проводів вибирають 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 вибирають марку провідника в залежності від характеру середовища в цеху, конфігурації цеху і способу прокладки мережі. До вибору перетинів проводів і кабелів напругою до 1 кВ приступають після вибору захисних апаратів, тому що обране за умовою нагрівання перетин струмоведучих частин необхідно перевірити на відповідність захистів за умовою:

$$I_{\text{дл доп}} \geq k_z \cdot I_z,$$

де I_z -номінальний струм розчіплювача, А;

k_z -коефіцієнт захисту, А.

Для існуючих умов, при яких експлуатується устаткування (мікроклімат, технологічний процес) коефіцієнт захисту для кабелів приймається рівним 1.

Вибираємо перетин кабелю за умовою нагрівання

$$I_{p\max} \leq I_{\text{дл доп}}.$$

Для двигунів потужністю:

Обираємо 3-х жильний кабель типу АВВГ.

Перевіряємо на відповідність захистів

$$I_{\text{дл доп}} \geq k_z \cdot I_z,$$

Бачимо, що всі кабелі на двигуни задовольняють умовам перевірки, отже перетину кабелю обрано правильно

Обираємо шинопровод розподільний по тим же умовам.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{pmax} \leq I_{дл доп} .$$

$$400,39 < 630, A.$$

Перевіряємо аналогічно:

$$I_{дл доп} \geq k_3 \cdot I_3,$$

$$630 \geq 500, A.$$

Обираємо шинопровод розподільний типу *ШРА- 73/630*.

На наступному етапі вибираємо шинопровод магістральний:

Перевіряємо обрані кабелі по втраті напруги:

$$\Delta U_{дійств} < 0,05 U_n$$

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

де I_p – розрахунковий струм;

l – довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний і індуктивний опори кабелю.

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

$$0,05 \cdot U_n = 19 \text{ В}$$

$$4,5 \text{ кВт} \cdot 10,05 < 55$$

$$3,5 \text{ кВт} \cdot 7,82 < 55$$

$$2,8 \text{ кВт} \cdot 6,25 < 55$$

$$10,5 \text{ кВт} \quad 23,97 < 55$$

$$4,7 \text{ кВт} \cdot 9,93 < 55$$

$$14 \text{ кВт} \cdot 29,57 < 55$$

$$17 \text{ кВт} \cdot 35,90 < 55$$

$$4,5 \text{ кВт} \cdot 9,5 < 55$$

Обираем 3-х жильний кабель типу АВВГ.

Перевіряємо на відповідність захисту

$$I_{дл доп} \geq k_3 \cdot I_3,$$

$$4,5 \text{ кВт} \cdot 55 \geq 12,5$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$3,5 \text{ кВт} \cdot 55 \geq 8$$

$$2,8 \text{ кВт} \cdot 55 \geq 8$$

$$10,5 \text{ кВт} \cdot 55 \geq 25$$

$$4,7 \text{ кВт} \cdot 55 \geq 12,5$$

$$14 \text{ кВт} \cdot 55 \geq 31,5$$

$$17 \text{ кВт} \cdot 55 \geq 40$$

$$4,5 \text{ кВт} \cdot 55 \geq 12,5$$

Відповідно, усі кабелі на двигунах задовольняють умовам перевірки, відповідно перетин кабеля обрано правильно.

Обираємо шинопровід розподільчий по тим же умовам.

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

$$400,39 < 630, \text{ А.}$$

Перевіряємо аналогічно:

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

$$630 \geq 500, \text{ А.}$$

Обираємо шинопровід розподільчий типу ШРА-73/630.

На наступному етапі обираємо шинопровід магістральний:

Перевіряємо кабелі по втратах напруги:

$$\Delta U_{\text{действ}} < 0,05 U_n$$

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

где I_p – розрахунковий струм;

l – довжина кабеля;

r_0, x_0 – питомі активні та індуктивні опори кабеля.

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

$$0,05 \cdot U_n = 19 \text{ В}$$

$$4,5 \text{ кВт} \cdot 0,29 < 19$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$3,5 \text{ кВт} 0,23 < 19$
 $2,8 \text{ кВт} 0,18 < 19$
 $10,5 \text{ кВт} \quad 0,69 < 19$
 $4,7 \text{ кВт} 0,29 < 19$
 $14 \text{ кВт} 0,86 < 19$
 $17 \text{ кВт} 1,04 < 19$
 $4,5 \text{ кВт} 0,27 < 19$

2.7 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) у мережах напругою до 1 кВ виконується з метою перевірки правильності вибору комутаційної та захисної апаратури, а також струмопровідних елементів мережі на стійкість до впливу аварійних струмів. Крім того, результати розрахунків використовуються для оцінювання вимикачів за їхньою вимикальною здатністю та перевірки чутливості релейного захисту.

Для перевірки електрообладнання за умовами вимикання визначають максимальне значення струму трифазного короткого замикання, тоді як для оцінки ефективності роботи захистів розраховується мінімальний струм однофазного короткого замикання в найбільш електрично віддаленій точці мережі від джерела живлення.

Особливістю розрахунків струмів короткого замикання в мережах напругою до 1 кВ є те, що вони виконуються в іменованих одиницях із урахуванням як активних, так і індуктивних опорів усіх елементів кола короткого замикання. При цьому враховуються параметри кабельних ліній,

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

шинопроводів, силових трансформаторів, трансформаторів струму, комутаційно-захисних апаратів, контактних з'єднань, а також опір електричної дуги в місці пошкодження.

Вплив асинхронних електродвигунів на величину струму короткого замикання допускається не враховувати у випадку, якщо сумарний номінальний струм усіх двигунів не перевищує 10 % початкового значення періодичної складової струму короткого замикання, визначеного без урахування їхнього впливу.

Розрахунок струмів короткого замикання здійснюється поетапно. Спочатку складається розрахункова схема електричної мережі із зазначенням характерних точок виникнення короткого замикання. На її основі будується схема заміщення, де всі елементи мережі подаються у вигляді відповідних активних та індуктивних опорів. Далі визначаються параметри прямої та нульової послідовностей, а також опір кола «фаза–нуль». Після цього виконуються розрахунки струмів трифазного та однофазного короткого замикання в заданих точках мережі.

Застосована методика розрахунку відповідає вимогам нормативного документа ГОСТ 28249–89 і забезпечує необхідну точність визначення аварійних режимів роботи електроустановок змінного струму напругою до 1 кВ.

2.7.1 Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання виконується з метою перевірки комутаційної

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

апаратури, шинопроводів, кабельних ліній та інших елементів системи електропостачання на термічну та електродинамічну стійкість до дії струмів короткого замикання.

При живленні електроустановок від енергосистеми через понижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання визначається за формулою:

При живленні електроустановки від енергосистеми через понижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання визначається за виразом:

$$I''_{кз} = U_{cp} / (\sqrt{3} \cdot Z\Sigma),$$

де:

- U_{cp} – середня номінальна напруга мережі, В;
- $Z\Sigma$ – сумарний повний опір кола короткого замикання, мОм.

Сумарний опір прямої послідовності для розрахункової точки К-1 визначається як:

- $r\Sigma = rT + rA + r_{др}$,
- $x\Sigma = xC + xT + xA + x_{др}$,

де:

- xC – еквівалентний індуктивний опір системи живлення, приведений до сторони низької напруги;
- rT, xT – активний та індуктивний опори трансформатора;
- rA, xA – опори автоматичних вимикачів;
- $r_{др}, x_{др}$ – опори інших елементів (трансформаторів струму, шинопроводів, контактних з'єднань тощо).

Еквівалентний індуктивний опір системи визначається за формулою:

$$xC = U^2_{cp.BH} / S_{кз.BH},$$

де:

- $U_{cp.BH}$ – середня напруга мережі вищої напруги, В;

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

• Скз.ВН – потужність короткого замикання на шинах вищої напруги трансформатора, кВА.

Усі питомі параметри елементів електричної мережі приймаються за довідковими даними (таблиці та додатки нормативної літератури).

Результати розрахунку струмів короткого замикання використовуються для подальшої перевірки комутаційно-захисних апаратів та шинопроводів на термічну і електродинамічну стійкість, а також для оцінки надійності роботи системи електропостачання в аварійних режимах.

Таблиця 2.7. Опір питомих елементів мережі

Опір послідовно стей	Питомий опір мОм/м	СВЧ			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМА 3000 (Ш1) (35м)	ШРА 750 (Ш2) (20м)	Кабель АВВГ (4*8) мм ² (К6) (20м)	ТА 1 30/5	ТА 2 4000/5	QF 3	QF 4	QF 8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пряма	r ₁	0,03	0,15	1,28	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}	0,067	0,262	4					
	x _{Ф-0}	0,056	0,294	0,15					

Активні та індуктивні опори прямої послідовності понижувальних трансформаторів визначаються за виразами:

$$r_{1T} = \frac{\Delta P_{\kappa 3} \cdot U_{нн}^2 \cdot 10^6}{S_{нм}^2}; \quad x_{1m} = \sqrt{U_{\kappa 3}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{\kappa 3}}{S_{нм}} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot U_{нн}^2}{S_{нм}},$$

де:

- $\Delta P_{к.з}$ – втрати короткого замикання трансформатора, кВт (паспортні дані);
- $U_{к.з}$ – напруга короткого замикання трансформатора, % (паспортні дані);
- $U_{н.н}$ – номінальна напруга обмотки низької напруги трансформатора, кВ;
- $S_{н.тр}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА.

Приклад розрахунку.

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

Параметри трансформатора ТМЗ-1600-10/0,4; $U_k = 6,0 \%$, $\Delta P_{к.з.} = 16,5 \text{ кВт}$.

$$r_{1T} = \frac{16,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1600^2} = 1,03 \text{ мОм};$$

$$x_{1m} = \sqrt{6^2 - \left(\frac{100 \cdot 16,5}{1600} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,4^2}{1600} = 5,98 \text{ мОм}$$

$$r_{1\Sigma} = 1,03 + 0,14 + 0,05 = 1,22 \text{ мОм},$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 5,98 + 0,08 + 0,07 = 6,93 \text{ мОм}.$$

$$I_{по}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1,22^2 + 6,93^2}} = 32,82 \text{ кА}.$$

Необхідність врахування впливу електродвигунів при розрахунку струмів короткого замикання визначається з співвідношення:

$$I_{н \partial 6 \Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{кз}^{(3)} \quad 2237 \leq 0,1 \cdot 32820$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки: вплив двигунів в місці К.З. можна не враховувати.

2.7.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К-2

Струм однофазного короткого замикання в точці К-2 визначається за формулою:

$$I_{\text{номін}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.лн}}}{\sqrt{(r_{1\Sigma}'' + r_{0\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma}'' + x_{0\Sigma})^2}},$$

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

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + r_{1Ш1} + r_{А4} + r_{1Ш2} + r_{А3} + r_{ТА1} + r_{1КБ}$$

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

$$x_{1\Sigma}' = x_{1\Sigma} + x_{1Ш1} + x_{А4} + x_{1Ш2} + x_{ТА} + x_{1КБ};$$

Опори нульової послідовності

Активні та індуктивні опори нульової послідовності понижувальних трансформаторів, обмотки яких з'єднані за схемою Y_0/Δ або Y/Y_0 , при розрахунку однофазного короткого замикання в мережах низької напруги допускається приймати рівними відповідним опорам прямої послідовності.

Це спрощення обґрунтоване тим, що в трансформаторі основні параметри розсіювання для прямих і нульових складових мають близькі значення, особливо при практичних інженерних розрахунках електропостачальних систем до 1 кВ.

Приклад розрахунку

Якщо електропостачання електроустановки напругою до 1 кВ здійснюється від енергосистеми через понижувальні трансформатори, значення періодичної складової струму однофазного короткого замикання з боку системи (Іф.кз.с) у кА визначається за формулою:

$$I_{\text{номін}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.лн}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma}^1 + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma}^1 + x_{0\Sigma})^2}}, \text{ кА}$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						46
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{номін}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 122,25 + 59,54)^2 + (2 \cdot 27,91 + 16,43)^2}} = 2,2 \text{ кА.}$$

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

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{1III1} + r_{A4} + r_{1III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1KB}$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{1III1} + x_{A4} + x_{1III2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{1KB}$$

$$r_{1\Sigma} = 1,03 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,65 + 20 \cdot 0,15 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 1,28 = 34,66 \text{ МОм}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 5,98 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 + 20 \cdot 0,17 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,06 = 17,07 \text{ МОм}$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\phi-H.III1} + r_{\phi-H.III2} + r_{1KB}) = 34,66 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 122,25 \text{ МОм};$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + (x_{\phi-H.III1} + x_{\phi-H.III2} + x_{1KB}) = 17,07 + (0,056 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 20 \cdot 0,15) = 27,91 \text{ МОм};$$

$$\begin{aligned} r_{0\Sigma} &= r_{0T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A4} + r_{0III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{0KB} = \\ &= 1,03 + 0,14 + 0,05 + 0,037 \cdot 35 + 0,65 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 = 59,54 \text{ МОм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{0\Sigma} &= x_{0m} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A4} + x_{0III2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{0KB} = \\ &= 5,98 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,042 + 0,17 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,075 = 16,43 \text{ МОм}. \end{aligned}$$

Перевірка автоматів по максимальному струму відключення:

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

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

$$75 \geq 32,8 \text{ кА}$$

Умова виконується, максимальний струм відключення автомата Е40 -

$$I_{\text{макс.відключення}} = 75 \text{ кА}$$

Перевірка автоматів на чутливість захисту:

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

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

$$2,2 \geq 1,25 \cdot 0,3,$$

Автомат задовольняє перевірку на чутливість захисту.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						47
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Електрична енергія, що використовується для живлення електроприймачів, повинна відповідати встановленим нормативним вимогам щодо якості, оскільки від цього залежить надійність, ефективність та економічність роботи електротехнічного обладнання. Відповідно до вимог нормативних документів, електрична мережа від шин цехової трансформаторної підстанції до кінцевих споживачів повинна бути перевірена на відповідність допустимим значенням відхилення напруги. У разі перевищення нормативних меж необхідно передбачати технічні заходи з регулювання напруги та покращення показників якості електроенергії.

Відхилення напруги характеризується різницею між фактичним значенням напруги ($U_{\text{ф}}$) та її номінальним значенням ($U_{\text{н}}$) за умови повільної зміни режиму роботи мережі, коли швидкість зміни напруги не перевищує 1 % за секунду.

Нормативно допустиме відхилення напруги для мереж низької напруги становить $\pm 5\%$, а гранично допустиме значення для мереж низької та високої напруги (до 20 кВ) не повинно перевищувати $\pm 10\%$.

Порушення встановлених меж напруги призводить до виникнення додаткових втрат електроенергії та негативно впливає на роботу технологічного обладнання. Наслідки відхилення напруги поділяються на електромагнітні та технологічні. Електромагнітна складова проявляється у збільшенні втрат потужності в елементах електричної мережі, тоді як технологічна зумовлює зниження продуктивності обладнання та ефективності виробничих процесів.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливо чутливими до зміни рівня напруги є освітлювальні установки та конденсаторні батареї. Наприклад, зниження напруги на 5 % призводить до зменшення світлового потоку ламп розжарювання приблизно на 20 %, а підвищення напруги на 10 % скорочує термін їх експлуатації майже в чотири рази.

Для оцінки якості електроенергії виконується розрахунок відхилення напруги на стороні низької напруги трансформатора. Величина відхилення визначається з урахуванням режиму роботи мережі, положення регулювальних відгалужень трансформатора та втрат напруги в його обмотках.

Для проєктованої системи електропостачання прийнято силовий трансформатор потужністю 1600 кВА з напругою короткого замикання 6 % та втратами короткого замикання 16,5 кВт. Розрахункове навантаження трансформатора становить 1272,8 кВА.

Коефіцієнт потужності визначено за результатами розрахунку реактивного навантаження та становить:

$$\cos\varphi = 0,96;$$

$$\sin\varphi = 0,29.$$

Трансформатор обладнаний пристроєм регулювання напруги з відгалуженнями $\pm 2 \times 2,5$ % на стороні високої напруги. У розрахунковому режимі на стороні високої напруги підтримується напруга 10 кВ, а регулювальне відгалуження встановлене на позицію +2,5 %.

Втрати напруги в трансформаторі при розрахунковому навантаженні становлять:

$$\Delta U_T = 2,2 \text{ \%}.$$

З урахуванням усіх складових отримано значення відхилення напруги на стороні низької напруги:

$$U_{11} = 2,8 \text{ \%}.$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Отриманий результат не перевищує встановлених нормативних значень, що свідчить про відповідність параметрів проєктованої системи електропостачання вимогам щодо якості електричної енергії та забезпечує надійну роботу електроприймачів у нормальному режимі експлуатації.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

Під час проектування системи електропостачання було передбачено застосування сучасних технічних рішень, а також використання нового вітчизняного електротехнічного обладнання, що відповідає чинним вимогам щодо надійності, енергоефективності та безпеки експлуатації.

У процесі виконання дипломного проєкту були розглянуті та реалізовані основні етапи проектування внутрішньоцехової системи електропостачання. Результатом проведених розрахунків і прийнятих інженерних рішень стала розроблена однолінійна схема електропостачання цеху, яка наведена в графічній частині проєкту.

Електропостачання вузла навантаження здійснюється від мережі напругою 10 кВ, тоді як внутрішньоцехова розподільна мережа працює на напрузі 0,4/0,23 кВ. Для забезпечення надійного живлення електроприймачів передбачено встановлення двотрансформаторної комплектної трансформаторної підстанції типу 2КТП-160/10/0,4. Коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі становить 0,8, що забезпечує їх ефективну роботу та створює необхідний резерв потужності для роботи в післяаварійних режимах.

Для компенсації реактивної потужності в мережі 0,4 кВ запроектовано встановлення двох конденсаторних установок типу УК-0,38-20УКЛ сумарною потужністю 40 квар. Застосування компенсувальних пристроїв дозволяє підвищити коефіцієнт потужності, зменшити втрати електричної енергії та покращити показники якості електроенергії.

З метою забезпечення зручності обслуговування та раціонального використання виробничих площ для живлення споживачів обрано прибудовану комплектну трансформаторну підстанцію. Розподіл електричної енергії в межах

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

цеху реалізовано за схемою «трансформатор – магістраль», що характеризується простотою побудови та високою надійністю експлуатації.

До магістрального шинопроводу типу ШМА68-НУЗ підключено чотири розподільні шинопроводи ШРА-73, через які здійснюється електроживлення окремих груп електроприймачів. Захист електрообладнання та мережі від перевантажень і струмів короткого замикання забезпечується автоматичними вимикачами типів ЕО та ВА, що гарантують своєчасне відключення пошкоджених ділянок мережі.

Виконані розрахунки показали, що відхилення напруги в усіх режимах роботи не перевищують допустимих значень, встановлених нормативними документами щодо якості електричної енергії.

Отже, у ході виконання дипломного проєкту було успішно вирішено поставлені завдання та розроблено ефективну систему електропостачання, яка забезпечує необхідний рівень надійності, безпеки, економічності та якості електроенергії відповідно до сучасних вимог проєктування промислових електричних мереж.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						52
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації систем електропостачання та електротехнічного обладнання на працівників можуть впливати різноманітні небезпечні й шкідливі виробничі фактори, які становлять загрозу для здоров'я персоналу та можуть негативно впливати на безпечність виробничого процесу. Тому важливо своєчасно виявляти такі фактори, оцінювати рівень їхнього впливу та впроваджувати відповідні заходи захисту.

Найбільш небезпечним фактором є дія електричного струму. Ураження може виникнути внаслідок дотику до струмовідних частин, пошкодження ізоляції, несправності обладнання або порушення правил безпечної експлуатації. Наслідками можуть бути електротравми різного ступеня тяжкості, включаючи опіки, порушення функціонування життєво важливих органів та систем організму.

Серйозну небезпеку також становлять короткі замикання та електрична дуга, які супроводжуються значним тепловиділенням, інтенсивним світловим випромінюванням і утворенням продуктів горіння. Такі явища можуть призвести до опіків, пошкодження зору, руйнування обладнання та виникнення пожеж.

У процесі роботи силових трансформаторів, електродвигунів, розподільчих пристроїв та кабельних ліній утворюються електромагнітні поля. За тривалого впливу вони можуть спричиняти підвищену втому, зниження концентрації уваги та погіршення самопочуття працівників.

До шкідливих факторів належить і виробничий шум, джерелами якого є трансформатори, вентиляційні установки, електродвигуни та інше обладнання. Підвищений рівень шуму негативно впливає на слух, нервову систему та працездатність персоналу.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						53
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час роботи електрообладнання можливе підвищення температури повітря у виробничих приміщеннях через значні тепловиділення від трансформаторів та інших електротехнічних установок. Неприятливі мікрокліматичні умови можуть призводити до швидкої втомлюваності працівників і зниження ефективності їхньої роботи.

Додаткову небезпеку створюють рухомі частини механізмів, електроприводів і вентиляційного обладнання, контакт з якими може спричинити механічні травми.

Важливим фактором є також пожежна небезпека, що виникає внаслідок коротких замикань, перевантаження мереж, несправності електрообладнання або порушення правил його експлуатації. Пожежі в електроустановках можуть призвести до значних матеріальних збитків та створити загрозу життю і здоров'ю працівників.

Отже, під час експлуатації систем електропостачання необхідно враховувати весь комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів та забезпечувати реалізацію організаційних і технічних заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці.

3.2 Заходи щодо забезпечення електробезпеки

Електробезпека є важливою складовою системи охорони праці на підприємствах, де експлуатуються електроустановки та електротехнічне обладнання. Її метою є захист працівників від ураження електричним струмом, впливу електричної дуги та інших небезпечних факторів, пов'язаних із використанням електроенергії.

Для забезпечення безпечної експлуатації електроустановок застосовуються технічні та організаційні заходи. До основних технічних засобів належать

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						54
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

захисне заземлення, автоматичні вимикачі, запобіжники та пристрої захисного відключення, які забезпечують своєчасне відключення пошкоджених ділянок мережі. Важливе значення мають також надійна ізоляція струмовідних частин, захисні огороження та попереджувальні знаки безпеки.

Під час виконання робіт персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, ізолювальний інструмент, покажчики напруги та діелектричні килимки. До обслуговування електроустановок допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання, інструктаж та мають необхідну групу з електробезпеки.

Для підтримання належного рівня безпеки здійснюються періодичні перевірки стану електрообладнання, вимірювання опору ізоляції та заземлювальних пристроїв, а ремонтні роботи виконуються лише після зняття напруги та вжиття необхідних заходів захисту.

Дотримання вимог електробезпеки забезпечує безпечні умови праці, запобігає виробничому травматизму та сприяє надійній роботі електроустановок.

3.3 Пожежна та вибухова безпека

Пожежна та вибухова безпека є важливою складовою системи охорони праці на підприємстві та спрямована на запобігання виникненню пожеж і аварійних ситуацій, захист працівників, обладнання та матеріальних цінностей.

Основними причинами пожеж в електроустановках можуть бути короткі замикання, перевантаження електричних мереж, пошкодження ізоляції, несправність електрообладнання та порушення правил його експлуатації. Джерелом займання також можуть стати нагріті поверхні обладнання або електрична дуга.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						55
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення пожежної безпеки застосовуються автоматичні вимикачі, запобіжники та інші захисні пристрої, що запобігають виникненню аварійних режимів роботи. Важливими заходами є своєчасне технічне обслуговування електрообладнання, контроль стану електричних мереж та дотримання вимог нормативних документів.

Виробничі приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння, системами пожежної сигналізації та справними евакуаційними виходами. Працівники зобов'язані проходити інструктажі з пожежної безпеки та знати порядок дій у разі виникнення пожежі.

Виконання зазначених заходів дозволяє знизити ризик пожеж і вибухів, забезпечити безпечні умови праці та надійну експлуатацію електротехнічного обладнання.

3.4 Вимоги до виробничого освітлення

Виробниче освітлення є важливим фактором забезпечення безпечних і комфортних умов праці. Від рівня освітленості робочих місць залежать продуктивність праці, якість виконання виробничих операцій та безпека персоналу. Недостатнє освітлення може спричиняти швидку втому працівників, зниження уваги та підвищення ризику травматизму.

У виробничих приміщеннях застосовуються природне та штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується через віконні прорізи, а штучне — за допомогою світильників загального освітлення. Освітленість робочих місць повинна відповідати вимогам чинних норм і забезпечувати рівномірний розподіл світлового потоку без сліпучої дії.

Особлива увага приділяється освітленню електротехнічного обладнання, щитів керування, контрольно-вимірювальних приладів та проходів між

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						56
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнанням. Для забезпечення безпеки персоналу у разі аварійного відключення електроенергії передбачається аварійне та евакуаційне освітлення.

Для освітлення доцільно використовувати сучасні світлодіодні світильники, які відзначаються високою енергоефективністю, тривалим терміном служби та надійністю в експлуатації.

Раціонально організоване освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці, зниженню втомлюваності працівників та створенню безпечних умов роботи.

3.5 Захист навколишнього середовища

Захист навколишнього середовища є важливою складовою діяльності підприємства та спрямований на зменшення негативного впливу виробничих процесів на довкілля, раціональне використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки.

Одним із основних природоохоронних заходів є підвищення енергоефективності системи електропостачання шляхом зменшення втрат електроенергії, застосування сучасного енергоощадного обладнання та використання засобів компенсації реактивної потужності. Це дозволяє знизити споживання енергоресурсів і підвищити ефективність роботи електроустановок.

Під час експлуатації електрообладнання необхідно контролювати його технічний стан для запобігання аваріям, витокам трансформаторного масла та забрудненню навколишнього середовища. Особливу увагу слід приділяти правильному поводженню з відпрацьованими матеріалами та електротехнічними відходами.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						57
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим напрямом екологічного захисту є також зниження рівня шуму та електромагнітного випромінювання від роботи електротехнічного обладнання відповідно до чинних санітарних норм.

На підприємстві повинні здійснюватися заходи щодо збору, сортування та утилізації відходів, а працівники мають дотримуватися вимог екологічної безпеки під час виконання виробничих робіт.

Реалізація зазначених заходів сприяє збереженню довкілля, підвищенню екологічної безпеки та забезпеченню сталого розвитку підприємства.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						58
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 3

У розділі з охорони праці виконано аналіз умов праці та визначено основні небезпечні й шкідливі виробничі фактори, характерні для експлуатації електроустановок і електротехнічного обладнання. До основних факторів належать можливість ураження електричним струмом, вплив електромагнітних полів, підвищений рівень шуму, несприятливі мікрокліматичні умови, а також ризик виникнення пожеж і аварійних ситуацій.

Розглянуто комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці. Особливу увагу приділено питанням електробезпеки, зокрема застосуванню захисного заземлення, автоматичних пристроїв захисту, засобів індивідуального захисту та дотриманню встановлених правил експлуатації електроустановок. Також проаналізовано вимоги щодо пожежної та вибухової безпеки, організації виробничого освітлення та захисту навколишнього середовища.

Передбачені заходи відповідають вимогам чинних нормативних документів і забезпечують зниження рівня виробничих ризиків, підвищення надійності роботи електрообладнання та створення безпечного виробничого середовища для персоналу.

Отже, реалізація запропонованих рішень з охорони праці сприятиме запобіганню виробничому травматизму, збереженню здоров'я працівників, підвищенню рівня безпеки виробництва та ефективній експлуатації системи електропостачання підприємства.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

На першому етапі виконання проєкту було проведено аналіз технологічного процесу підприємства та визначено категорію надійності електропостачання електроприймачів. Встановлено, що електроприймачі технологічної групи належать до III категорії за надійністю електропостачання.

У ході проєктування виконано розрахунок електричних навантажень підприємства, що дозволило обґрунтовано вибрати основні елементи системи електропостачання, зокрема силові трансформатори, струмопровідні частини, кабельні лінії та захисну апаратуру.

На основі отриманих розрахункових навантажень визначено оптимальну кількість і потужність цехових трансформаторів, а також виконано розрахунок необхідного рівня компенсації реактивної потужності. Проведені розрахунки підтвердили доцільність встановлення силових трансформаторів відповідної потужності та конденсаторних установок сумарною потужністю 40 квар. Застосування компенсуючих пристроїв забезпечує зниження перетоків реактивної потужності, зменшення втрат електроенергії в мережі та підвищення ефективності роботи системи електропостачання.

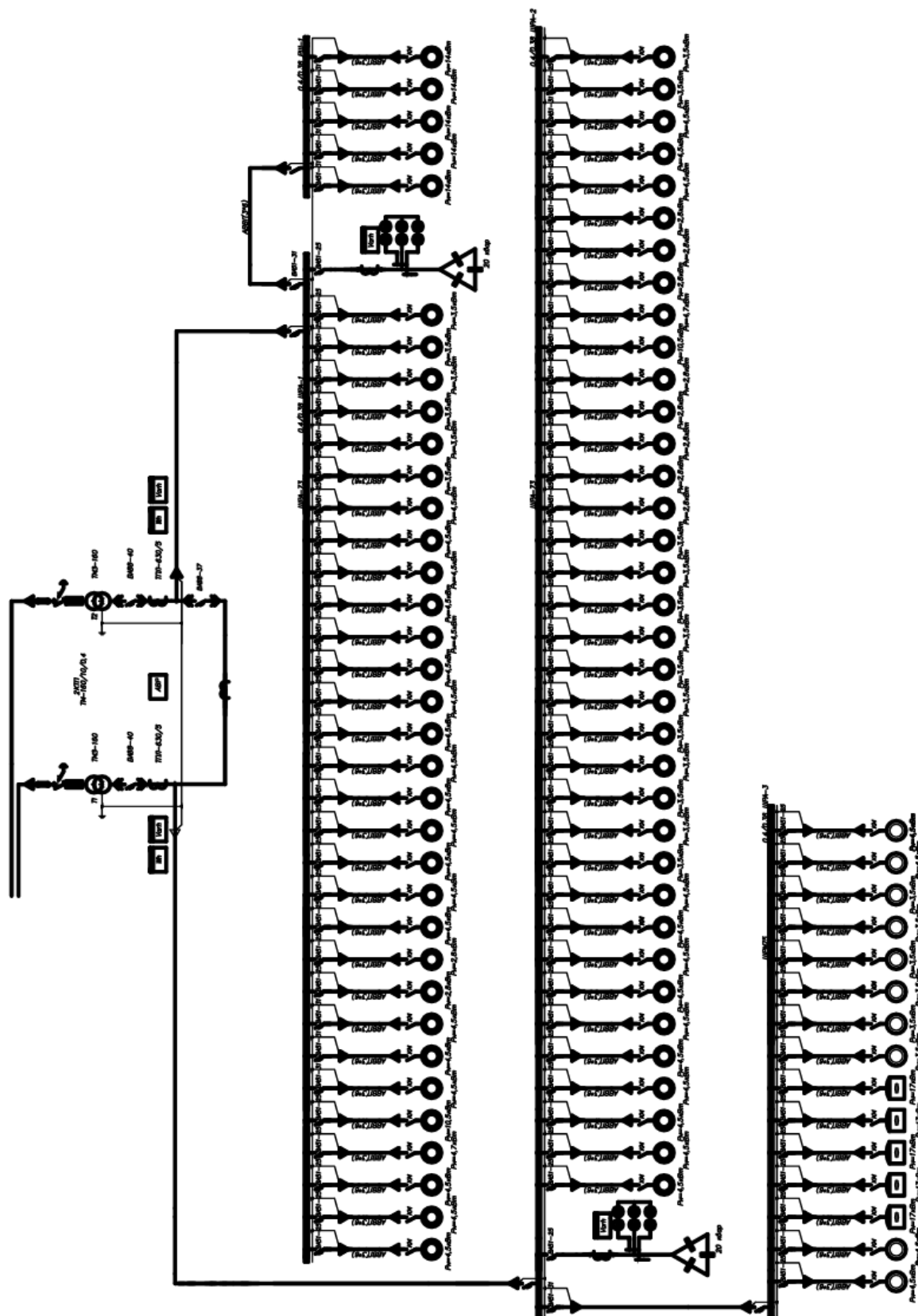
Для внутрішньоцехової розподільчої мережі запропоновано схему електропостачання, яка відповідає вимогам надійності, безпеки та зручності експлуатації. Живлення електроприймачів передбачено від розподільних шинопроводів із використанням схеми «трансформатор—магістраль». Для підвищення надійності роботи мережі передбачено резервні перемички між трансформаторами на стороні низької напруги.

З метою захисту електрообладнання від перевантажень і струмів короткого замикання обрано сучасні автоматичні вимикачі типів ВА51, ВА51-37 та ВА51-39, які забезпечують необхідний рівень захисту та селективності.

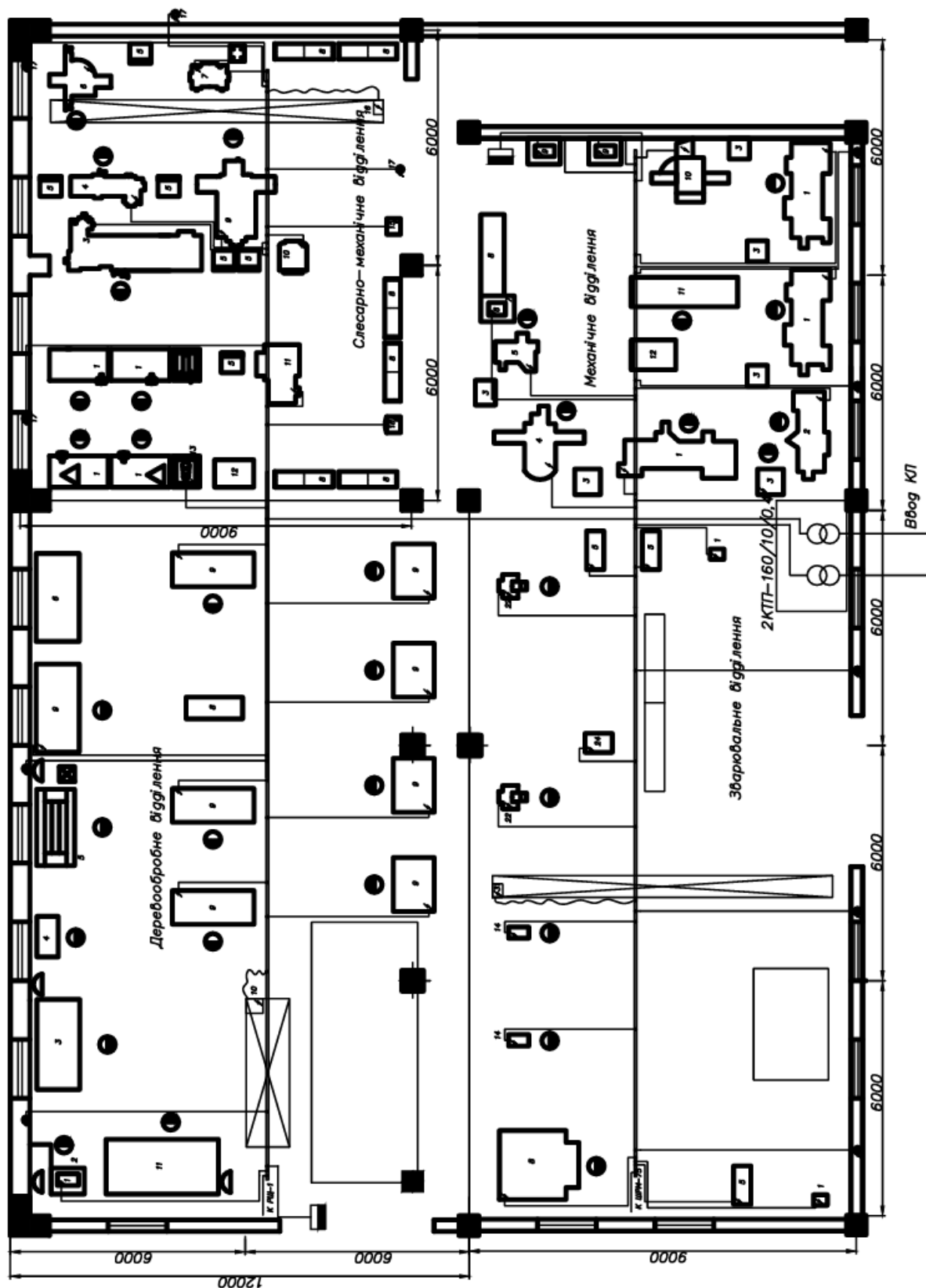
					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						60
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Також виконано вибір і перевірку перерізів струмопровідних частин за умовами нагрівання, допустимих втрат напруги та надійності роботи в нормальних і аварійних режимах. Отримані результати підтверджують працездатність і технічну доцільність розробленої системи електропостачання підприємства.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						61
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Однолінійна схема електропостачання



Ситуаційний план промислового майданчика

ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ					Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	63

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузнєцов В.Г. Електропостачання промислових підприємств. — Київ: Вища школа, 2018. — 352 с.
2. Бойко В.С., Лежнюк П.Д. Системи електропостачання та електроспоживання. — Вінниця: ВНТУ, 2020. — 280 с.
3. Жежеленко І.В. Електропостачання промислових підприємств. — Київ: Каравела, 2019. — 408 с.
4. Федоров О.В. Проектування систем електропостачання. — Харків: Фактор, 2017. — 376 с.
5. Козирський В.В., Тугай Ю.І. Електричні мережі та системи. — Київ: Аграрна освіта, 2018. — 448 с.
6. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). — Харків: Форт, чинне видання.
7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС). — Київ, чинне видання.
8. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС). — Київ, чинне видання.
9. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення.
10. ДБН В.2.5-27:2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будівель і споруд.
11. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.
12. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення.
13. ДСТУ ІЕС 60364. Електроустановки низьковольтні (комплекс стандартів).
14. ДСТУ EN 61936-1. Електроустановки напругою понад 1 кВ змінного струму.
15. ДСТУ EN 50522. Заземлення електроустановок напругою понад 1 кВ.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						64
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Лежнюк П.Д. Оптимізація режимів електричних мереж. — Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2016. — 164 с.
17. Гук Ю.Б. Теорія надійності в електроенергетиці. — Київ: НТУУ «КПІ», 2017. — 286 с.
18. Андрієнко О.В. Релейний захист і автоматика систем електропостачання. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. — 324 с.
19. Козлов В.В. Компенсація реактивної потужності в системах електропостачання. — Харків: НТУ «ХПІ», 2018. — 216 с.
20. Болюх В.Ф. Електричні машини. — Харків: НТУ «ХПІ», 2019. — 560 с.
21. Кацман М.М. Електричні машини та трансформатори. — Київ: Вища школа, 2016. — 464 с.
22. Беркович М.А. Автоматизація систем електропостачання. — Київ: Техніка, 2017. — 295 с.
23. Биков Б.П. Якість електричної енергії в системах електропостачання. — Харків: Основа, 2018. — 240 с.
24. Жежеленко І.В., Сасенко Ю.Л. Показники якості електричної енергії та їх контроль. — Київ: Енергія, 2019. — 212 с.
25. Бессонов Л.А. Теоретичні основи електротехніки. — Київ: Вища школа, 2016. — 701 с.
26. Кацман М.М. Електричний привід. — Київ: Вища школа, 2018. — 392 с.
27. ДСТУ EN 62305. Блискавкозахист (комплекс стандартів).