

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Електропостачання і енергоменеджменту

«До захисту в ЕК»

Директор інституту (декан факультету)

_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» лютого 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій БАЛЮТА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» лютого 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання»

на тему: «Розробка системи ефективного електрозабезпечення ТОВ “Полтавський завод порошкової металургії” та розрахунок теплових і електричних параметрів індукційної тигельної печі»

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЕЛ 2-7М _____

_____ Жовтюк Антон Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Шестеренко Володимир Євгенович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Рецензент Василь ЛИЗАНЕЦЬ
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я, як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач _____
(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту
Освітній ступінь магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕПЕМ

/Сергій БАЛЮТА/

« 20 » листопада 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Жовтюка Антона Леонідовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи ефективного електрозабезпечення ТОВ «Полтавський завод порошкової металургії» та розрахунок теплових і електричних параметрів індукційної тигельної печі

керівник роботи Шестеренко Володимир Євгенович, к.т.н., проф.

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 20 » листопада 2023 р. № 940-кв.

2. Строк подання здобувачем роботи 09 лютого 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи Генеральний план заводу порошкової металургії з зазначенням місця розташування основних цехів; установлена потужність цехів заводу; характеристика споживачів електричної енергії цеху холодної прокатки №1; відомості про джерела живлення заводу; умови проектування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз складу та характеристика споживачів електроенергії; розрахунок високовольтних і низьковольтних електричних навантажень заводу та цеху холодної прокатки №1; вибір числа й потужності силових трансформаторів на ГПП та цехових трансформаторних підстанцій з урахуванням компенсації реактивної потужності; вибір номінальних напруг і схеми зовнішнього та внутрізаводського електропостачання заводу; вибір перерізу повітряних і кабельних високовольтних ліній; розрахунок та вибір обладнання системи електропостачання заводу та перевірка його до дії струмів короткого замикання; вибір обладнання цеху холодної прокатки №1; релейний захист та автоматика; спеціальна частина: розрахунок теплових і електричних параметрів індукційної тигельної печі

5. Перелік графічного матеріалу

1. Генеральний план заводу з картограмою навантажень і розподільчою мережею.

2. Схема електропостачання заводу. 3. Схема релейного захисту синхронного двигуна. 4. Принципова схема управління тигельної печі.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 20 листопада 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1	Отримання завдання на магістерську роботу	20.11.2023 р.	
2	Вступ	24.11.2023 р	
3	Аналіз складу та характеристика споживачів електроенергії	28.11.2023 р	
4	Розрахунок електричних навантажень	05.12.2023 р	
5	Вибір силових трансформаторів з урахуванням компенсації реактивної потужності	15.12.2023 р	
6	Розрахунок сумарного навантаження на стороні 10 кВ	20.12.2023 р	
7	Вибір номінальних напруг зовнішнього та внутрізаводського електропостачання	25.12.2023 р	
8	Вибір перерізу повітряних ліній електропередач	29.12.2023 р	
9	Електрична мережі об'єкту електропостачання	04.01.2024 р	
10	Вибір схеми внутрізаводської мережі	08.01.2024 р	
11	Вибір перерізів кабельних ліній напругою 10 кВ	12.01.2024 р	
12	Розрахунок струмів короткого замикання	16.01.2024 р	
13	Розрахунок та вибір обладнання системи електропостачання заводу	21.01.2024 р	
14	Перевірка вибраних перерізів високовольтних провідників до дії струмів КЗ	25.01.2024 р	
15	Релейний захист та автоматика	29.01.2024 р	
16	Спеціальна частина. Розрахунок теплових і електричних параметрів індукційної тигельної печі	02.02.2024 р	
17	Формулювання рекомендацій та висновків	04.02.2024 р	
18	Оформлення пояснювальної записки	06.02.2024 р	
19	Оформлення графічної частини роботи	08.02.2024 р	
20	Подання готової роботи для перевірки на плагіат	09.02.2024 р	

Здобувач

_____ (підпис)

АНТОН ЖОВТЮК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Володимир ШЕСТЕРЕНКО

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Жовтюк А.Л. Розробка системи ефективного електрозабезпечення ТОВ
“Полтавський завод порошкової металургії” та розрахунок теплових і
електричних параметрів індукційної тигельної печі.

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Національний Університет Харчових Технологій

Київ - 2024

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи ефективного електрозабезпечення заводу порошкової металургії та розрахунок теплових і електричних параметрів індукційної тигельної печі.

Пояснювальна записка роботи складається із вступу, 14 розділів, висновків та списку використаних джерел. Обсяг кваліфікаційної роботи становить 109 сторінок.

До пояснювальної записки кваліфікаційної роботи надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: генеральний план заводу з картограмою навантажень і розподільчою мережею; схема електропостачання заводу; схема релейного захисту синхронного двигуна; принципова схема управління тигельної печі.

У результаті виконання магістерської роботи проаналізовано склад та наведено характеристику споживачів електричної енергії заводу; виконано розрахунок електричних навантажень заводу та цеху холодної прокатки №1; визначено число й потужність силових трансформаторів на ГПП та цехових трансформаторних підстанцій; розраховано та вибрано високовольтне і низьковольтне електрообладнання та провідники і перевірено їх до впливу струмів короткого замикання; розглянуто питання релейного захисту і автоматики та виконано розрахунок теплових і електричних параметрів індукційної тигельної печі.

Ключові слова: завод порошкової металургії, електричне навантаження, силовий трансформатор, трансформаторна підстанція, компенсація реактивної потужності, високовольтний вимикач, апарат захисту, кабель, релейний захист, індукційна тигельна піч.

ANNOTATION

Zhovtyuk A.L. Development of an effective power supply system of Poltava Powder Metallurgy Plant LLC and calculation of thermal and electrical parameters of the induction crucible furnace.

141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics"

National University of Food Technologies

Kyiv - 2024

The purpose of the qualification work is the development of an effective power supply system for a powder metallurgy plant and the calculation of thermal and electrical parameters of an induction crucible furnace.

The explanatory note of the work consists of an introduction, 14 chapters, conclusions and a list of used sources. The volume of the qualification work is 109 pages.

The explanatory note of the qualification work is accompanied by a graphic part consisting of four drawings: a general plan of the plant with a load map and a distribution network; the plant's power supply scheme; scheme of relay protection of a synchronous motor; the basic control scheme of the crucible furnace.

As a result of the master's thesis, the composition and characteristics of the plant's electrical energy consumers were analyzed; the calculation of the electrical loads of the plant and cold rolling shop № 1 was performed; the number and capacity of power transformers at the GPP and workshop transformer substations are determined; calculated and selected high-voltage and low-voltage electrical equipment and conductors and tested them for short-circuit currents; the issue of relay protection and automation was considered, and the thermal and electrical parameters of the induction crucible furnace were calculated.

Keywords: powder metallurgy plant, electric load, power transformer, transformer substation, reactive power compensation, high-voltage switch, protection device, cable, relay protection, induction crucible furnace.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. АНАЛІЗ СКЛАДУ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	11
1.1. Характеристика електроспоживачів заводу.....	11
1.2. Характеристика електроспоживачів цеху холодної прокатки №1.....	15
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	17
2.1. Розрахунок електричного навантаження заводу напругою 0,4 кВ.....	17
2.2. Розрахунок електричного навантаження цеху холодної прокатки №1 напругою 0,4 кВ.....	20
2.3. Розрахунок високовольтного електричного навантаження заводу напругою 10 кВ.....	23
2.4. Розрахунок осітлювального навантаження заводу.....	26
3. ВИБІР СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ З УРАХУВАННЯМ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	30
3.1. Попередній розрахунок кількості та потужності трансформаторів 10/0,4 кВ.....	30
3.2. Компенсація реактивної потужності на стороні 0,4 кВ.....	35
3.3. Уточнення числа та потужності трансформаторів 10/0,4 кВ з урахуванням компенсації реактивної потужності.....	38
4. РОЗРАХУНОК СУМАРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА СТОРОНІ 10 КВ.....	40
4.1. Обчислення втрат потужності в трансформаторах 10/0,4 кВ.....	40
4.2. Розрахунок втрат потужності в конденсаторних установках 0,4 кВ.....	41

4.3.	Розрахунок сумарного навантаження з урахуванням компенсації реактивної потужності на стороні 10 кВ.....	42
5.	ВИБІР НОМІНАЛЬНИХ НАПРУГ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІЗАВОДСЬКОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	44
6.	ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ.	46
7.	ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА ОБ'ЄКТУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.	47
7.1.	Вибір числа та потужності трансформаторів живильної підстанції 220 кВ.....	47
7.2.	Вибір місця розташування ГПП.....	49
7.3.	Вибір схеми ГПП та мережі внутрішнього електропостачання..	51
8.	ВИБІР СХЕМИ ВНУТРІЗАВОДСЬКОЇ МЕРЕЖІ.....	54
9.	ВИБІР ПЕРЕРІЗІВ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ НАПРУГОЮ 10 КВ...	57
10.	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	62
11.	РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ.....	70
11.1.	Вибір обладнання розподільчого пристрою 220 кВ.....	70
11.2.	Вибір обладнання розподільчого пристрою 10 кВ.....	72
11.3.	Вибір обладнання цеху холодної прокатки №1.....	74
11.4.	Вибір силових пунктів.....	77
12.	ПЕРЕВІРКА ВИБРАНИХ ПЕРЕРІЗІВ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПРОВІДНИКІВ ДО ДІЇ СТРУМІВ КЗ.....	78
13.	РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА.....	79
13.1.	Обсяг релейного захисту на ГПП.....	79
13.2.	Перелік засобів автоматики ГПП.....	80
13.3.	Телекерування й телесигналізація.....	80
13.4.	Розрахунок уставок релейного захисту.....	81

14.	СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ І ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНДУКЦІЙНОЇ ТИГЕЛЬНОЇ ПЕЧІ.....	90
14.1.	Загальні відомості про індукційні тигельні печі.....	90
14.2.	Вихідні дані для розрахунку тигельної печі.....	95
14.3.	Визначення геометричних співвідношень та вибір частоти джерела живлення.....	96
14.4.	Тепловий розрахунок печі.....	97
14.5.	Електричний розрахунок індуктора у гарячому режимі.....	99
14.6.	Розрахунок водоохолодження індуктора.....	102
14.7.	Розрахунок конденсаторної батареї.....	103
14.8.	Енергетичний баланс установки.....	104
	ВИСНОВКИ.....	105
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	108

ВСТУП

Металургія України належить до базових галузей народного господарства, розвиток якої суттєво впливає на соціально-економічний стан країни. Вона є стратегічною складовою національної економіки, оскільки, по-перше, від її розвитку залежить зростання більшості галузей промисловості України; по-друге, вона виступає важливим джерелом валютних надходжень, адже в структурі вітчизняного експорту частка металургії становить майже 30 %; по-третє, є лідером за податковими відрахуваннями до бюджету країни; по-четверте, за рахунок створення понад 200 тис. робочих місць сприяє розв'язанню проблем працевлаштування населення.

Нормальне функціонування будь-якого підприємства в Україні залежить в першу чергу від його надійного електропостачання, оскільки за допомогою електричної енергії рухаються мільйони верстатів і механізмів, освітлюються приміщення, здійснюється автоматичне управління технологічними процесами тощо. Існують технології, де електроенергія є єдиним енергоносієм.

У зв'язку з прискоренням науково-технологічного прогресу споживання електроенергії у промисловості значно збільшилося завдяки створенню гнучких автоматизованих виробництв.

Енергетичною програмою України передбачається подальший розвиток енергозберігаючої політики. Економія енергетичних ресурсів має здійснюватися шляхом переходу на енергозберігаючі технології виробництва; удосконалення енергетичного обладнання; реконструкції застарілого обладнання; скорочення всіх видів енергетичних втрат та підвищення рівня використання вторинних ресурсів; поліпшення структури виробництва, перетворення та використання енергетичних ресурсів. Перед енергетикою в найближчому майбутньому стоїть завдання всебічного розвитку та використання відновлюваних джерел енергії: сонячної, геотермальної, вітрової, припливної тощо; розвитку комбінованого виробництва електроенергії та теплоти для централізованого тепlopостачання промислових міст.

Важливою особливістю системи електропостачання є практична неможливість створення запасів електричної енергії, тому що отримана електрична енергія негайно витрачається приймачами і споживачами. Крім того, під впливом різноманітних факторів відбуваються збурення, що призводять до зміни стану системи.

Сьогодні робота енергосистеми, а також електропостачання промислових підприємств практично повністю автоматизовані, завдяки чому вирішуються основні завдання захисту, регулювання напруги, потужності, обліку електроенергії та ін.

З урахуванням різних категорій споживачів електричної енергії їх електропостачання повинно забезпечуватися на визначеному рівні, а головне, воно має бути якісним, надійним та економічним. При цьому напруга і частота електричної мережі не повинні відрізнятися від їх номінальних значень. До визначення категорій промислових підприємств необхідно ставитись дуже ретельно, оскільки це пов'язано з життям людей, випуском продукції промислового підприємства, з дорогими технологічними процесами.

Створення універсального керування системою електропостачання забезпечує якісне електропостачання не лише промислових підприємств і з різним характером їх виробництва, але й адміністративно-господарських, побутових та житлових приміщень. Системний підхід до вирішення оптимізаційних завдань сприяє підвищенню продуктивності машин і механізмів, зменшенню втрат електричної енергії, а також комплексному підвищенню надійності та ефективності роботи електричного обладнання, приймачів і споживачів електричної енергії. При цьому повинні бути забезпечені енергозбереження, екологічна безпека навколишнього природного середовища та техніка безпеки персоналу.

1. АНАЛІЗ СКЛАДУ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Сучасний металургійний завод являє собою складну систему, всі елементи якої технологічно та енергетично тісно пов'язані між собою для послідовної переробки сировини та напівфабрикатів у чавун, сталь та прокат. Економічна робота підприємства забезпечується дотриманням оптимальних пропорцій між потужностями основних цехів та адміністративно-побутовими та допоміжними приміщеннями, а всередині цехів – між окремими ділянками.

Даний завод розташований у Полтавській області.

Цехи, що знаходяться на території підприємства, виробничі ділянки дозволяють повністю виготовляти продукцію, включаючи підготовку до транспортування товару до покупця.

Схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання будуть обрані, виходячи з категорії електропостачання та розрахункової потужності заводу.

1.1. Характеристика електроспоживачів заводу

Установлені потужності виробничих цехів та інших будівель наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Основні цехи металургійного заводу

Номер за генпланом	Найменування цеху	K_n	$\cos\varphi$	$P_{уст},$ кВт
1	2	3	4	5
1	Цех холодної прокатки № 1	0,63	0,6	4460,7
	Цех холодної прокатки № 1 (10 кВ)	0,8	0,9	2520
2	Цех трансформаторної та транспортерної ста	0,7	0,65	3000
3	Цех гарячої прокатки	0,41	0,63	2600
	Цех гарячої прокатки (10 кВ)	0,65	0,9	6800
4	Цех холодної прокатки № 2	0,38	0,55	10500
	Цех холодної прокатки № 2 (10 кВ)	0,6	0,85	6400

1	2	3	4	5
5	Листообробний цех	0,5	0,5	3700
	Листообробний цех (10 кВ)	0,5	0,84	2000
6	Трубоелектрозварювальний цех №1	0,6	0,63	2200
	Трубоелектрозварювальний цех №1 (10 кВ)	0,8	0,9	1890
7	Трубоелектрозварювальний цех №2	0,55	0,63	4800
	Трубоелектрозварювальний цех №2 (10 кВ)	0,6	0,85	8000
8	Блок ремонтних цехів	0,7	0,7	3110
9	Купоросна	0,5	0,7	750
10	Адміністративно-побутовий корпус	0,85	0,88	800
11	Центральна газозахисна станція	0,82	0,85	2000
12	Ремонтно-механічний цех	0,68	0,78	400
13	Насосна	0,8	0,85	420
14	Гальванічний цех	0,65	0,7	600
15	Матеріальний склад	0,75	0,8	40
16	Вальцетокарний цех	0,6	0,7	1300
17	Блок хімустановок	0,65	0,7	250
18	Мазутосховище	0,3	0,75	350
19	Електроремонтний цех	0,7	0,8	440
20	Компресорна	0,8	0,85	230
	Компресорна (10 кВ)	0,6	0,85	3200

Основними споживачами електроенергії на заводі є електродвигуни 380 В приводів компресорів, насосів, вентиляторів, електродвигуни верстатного обладнання, зварювальні машини, індукційні печі, електроосвітлення тощо.

До високовольтних електроприймачів на металургійному заводі належать синхронні та асинхронні двигуни, а також індукційні та дугові електропечі, їх зосередження в цехах та характеристика наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Високовольтні електроспоживачі заводу

Назва цеху	Назва обладнання
1	2
Цех 1 холодної прокатки № 1 (10 кВ 4х630)	4СДМ-1250К 24-6
Цех 3 гарячої прокатки: 2 печі 10 кВ 2х1000 1 піч 10 кВ 1х1600	ИАТ-2,5М1 ИЧТ 6/1,6
Цех № 4 холодної прокатки №2 (10 кВ 4х1600)	СДН32-19-60-24 УХЛ4
Цех 5 листообробний (10 кВ 4х500)	4СДМ-1250К 24-10
Цех 6 трубоелектрозварювальний №1 (10 кВ 3х630)	4СДМ-1250L 24-10
Цех 7 трубоелектрозварювальний №2 (10 кВ 5х1600)	СДН32-19-60-24 УХЛ4
Цех 20 компресорна (10 кВ 2х1600)	СДН32-19-60-24 УХЛ4

Синхронні двигуни (СД) напругою 6-10 кВ встановлюються в цехах холодної прокатки, гарячої прокатки, листообробному цеху та трубозварювальних цехах.

Як правило, двигуни підключаються до РП, що розташовані в цехах, де встановлені високовольтні споживачі. Допускається живлення високовольтних електроприймачів від шин ГПП, якщо вони розташовані неподалік неї. Захист двигунів може здійснюватися за допомогою запобіжників або релейного захисту (РЗ), який відключає апарати захисту. На СД встановлюють РЗ від таких видів пошкоджень: багатofазних коротких замикань у двигуні та на його вводах; однофазних замикань на землю; струмів навантаження; зниження напруги; асинхронного режиму роботи Для захисту двигунів застосовують максимальну струмову відсічку або поздовжній диференційний захист.

Дугові чавуноплавильні печі (ИЧТ-6/1,6) – це трифазні електроприймачі, що працюють циклічно в повторно-короткочасному режимі з різкими коливаннями струму. ИЧТ-6/1,6 встановлюються в ливарних та

чавуноплавильних цехах. Основне призначення ИЧТ-6/1,6 – це плавлення та перегрів чавуну, а також для отримання синтетичного чавуну на основі відходів металообробної промисловості.

Завод працює у двозмінному режимі, винятком є, компресорні, водопровідні споруди.

За надійністю електропостачання всі електроприймачі поділяються на три категорії.

Електроприймачі першої категорії – це електроприймачі, перерва електропостачання яких може спричинити надзвичайно серйозні наслідки. У нормальних режимах ці приймачі повинні отримувати живленн від двох незалежних джерел, що взаємно резервуються; допустима перерва електропостачання лише на час автоматичного переходу на резервне джерело. Зі складу першої категорії виділяється особлива група електроприймачів, відключення яких призводить до загибелі людей, вибухів тощо. Для особливої групи має забезпечуватись можливість електропостачання від третього незалежного джерела.

Електроприймачі другої категорії – це електроприймачі, перерва електропостачання яких призводить до масового недовідпустку продукції, порушень нормального життя та діяльності значної кількості населення. У нормальних режимах ці приймачі повинні отримувати живлення також від двох незалежних джерел, що взаємно резервуються, проте допустима перерва електропостачання (не більше 2-х годин), необхідна для включення резервного живлення діями чергового персоналу.

Електроприймачі третьої категорії – це решта електроприймачів. У нормальних режимах можуть отримувати живлення від одного джерела; допустима перерва електропостачання не більше 24 годин.

Основна частина електроприймачів заводу відноситься до I категорії: 55 %; до II категорії належить 35 %, а до III категорії 10 % споживачів за надійністю електропостачання.

До споживачів I категорії на заводі належать: цех холодної прокатки №1; цех трансформаторної та транспортерної сталі; цех гарячої прокатки; цех холодної прокатки № 2; листообробний цех; трубоелектрозварювальний цех №1 та №2; блок ремонтних цехів; центральна газозахисна станція; насосна та гальванічний цех.

До споживачів II категорії належать: купоросна; адміністративно-побутовий корпус; ремонтно-механічний цех; вальцетокарний цех; блок хімустановок; електроремонтний цех та компресорна.

До споживачів III категорії належать мазутосховище та матеріальний склад.

1.2. Характеристика електроспоживачів цеху холодної прокатки №1

Цехові мережі промислових підприємств виконують на напругу до 1 кВ (найпоширенішою є напруга 380 В). На вибір схеми та конструктивне виконання цехів мереж впливають такі фактори, як ступінь відповідальності приймачів електроенергії, режими їх роботи та розміщення по території цеху, номінальні струми та напруги.

В цеху холодної прокатки №1 виробляють холоднокатану широкосмугову сталь, у технологічному процесі якого застосовуються сучасні автоматизовані та механізовані технології і обладнання, а також проводять термічну обробку смуг та наносять покриття на смугу.

У цеху передбачені приміщення для трансформаторної підстанції (ТП), приміщення майстра, склад заготовок, роздягальня, побутова, склад готової продукції.

Цех холодної прокатки отримує електропостачання від головної понижувальної підстанції (ГПП). Відстань від ГПП до цехової ТП – 0,08 км, а від енергосистеми (ЕС) до ГПП – 27 км. Напруга на ГПП 10 кВ. Кількість робочих змін – 2. Споживачі цеху мають 1 та 2 категорію за надійністю електропостачання.

Розмери цеху А х Б х В = 110 х 64 х 8 м.

Допоміжні приміщення двоповерхові висотою 4 м.

Потужність електроспоживання цеху холодної прокатки №1 для одного електроспоживача наведена у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Характеристика низьковольтних споживачів цеху холодної прокатки №1

№ на плані цеху	Найменування груп електроспоживачів	$P_{\text{н}}$, кВт	$K_{\text{п}}$	$\cos\varphi$	n	$\text{tg}\varphi$
1	2	3	4	5	6	7
1.	Конвеєр гарячекатаних рулонів	650	0,8	0,84	1	0,64
2.	Безперервний травильний агрегат	350	0,45	0,65	1	1,16
3.	П'ятиклітьовий стан нескінченної прокатки	400	0,75	0,8	1	0,75
4.	Дресирувальний стан травлених гарячекатаних смуг	300	0,6	0,65	1	1,16
5.	Ковпакові відпалювальні печі	600	0,7	0,75	1	0,88
6.	Ковпакові печі для відпалу розпушених рулонів	650	0,68	0,7	1	1,02
7.	Агрегат для розпушування рулонів перед відпалом	230	0,5	0,73	1	0,93
8.	Одноклітьовий дресирувальний стан 2030	250	0,8	0,8	1	0,75
9	Агрегати повздовжнього різання з лініями упаковки	140	0,65	0,8	1	0,75
10	Агрегати поперечного різання	80	0,65	0,8	6	0,75
11	Агрегати повздовжнього різання	80	0,65	0,8	8	0,75
12	Агрегати упаковки	150	0,8	0,75	2	0,88
13	Агрегат електролітичного очищення	230	0,5	0,78	1	0,8
14	Агрегат безперервного відпалу	180	0,85	0,82	1	0,69
15	Агрегат гарячого цинкування	160	0,6	0,85	1	0,61
16	Агрегат електролітичного цинкування	180	0,65	0,83	1	0,67
17	Агрегат покриття полімерною плівкою	65	0,4	0,8	1	0,75
18	Передавальний візок вантажопідйомністю 80 т	8,5	0,65	0,7	4	1,02
19	Ножиці	2,5	0,45	0,84	1	0,64
20	Ножиці для вирізки проб	2,2	0,15	0,8	1	0,75
21	Ваги	7,5	0,6	0,85	1	0,61

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Основними елементами систем електропостачання є електричні мережі, а також різні трансформаторні та перетворювальні підстанції. Вибір цих елементів здійснюється за розрахунковими електричними навантаженнями. Зниження розрахункових навантажень при проєктуванні може призвести до перегріву елементів систем електропостачання, прискореного зносу та зниження енергоефективності. Завищення розрахункових навантажень призводить до зайвих капіталовкладень та витрат на систему електропостачання.

2.1. Розрахунок електричного навантаження заводу напругою 0,4 кВ

Для початку обчислимо електричні навантаження підприємства у зв'язку з необхідністю вибору числа та потужності трансформаторів, перевірки струмопровідних частин по нагріванню та втраті напруги, правильного вибору захисних пристроїв та компенсуючих установок.

Результати розрахунків навантажень є вихідними матеріалами для подальшого проєктування. Для визначення розрахункових навантажень груп електроспоживачів необхідно знати установлену потужність (сума номінальних потужностей всіх груп електроприймачів групи) та характер технологічного процесу.

Розрахункове навантаження визначається для зміни з найбільшим споживанням енергії даної групи електроприймачем, цехом чи підприємством загалом для характерної доби. Зазвичай найбільш завантаженою зміною вважається та, у якій використовується найбільше агрегатів (денна).

При розрахунку електричних навантажень застосовують різні коефіцієнти графіків навантажень, що характеризують режим роботи приймачів електроенергії за потужністю чи часом.

Існують такі основні методи розрахунку електричних навантажень.

$$\text{Коефіцієнт використання: } K_{в.а} = \frac{P_{\text{ср.ном}}}{P_{\text{ном}}}.$$

Для групи приймачів з різними режимами роботи коефіцієнт використання визначають із достатнім для практичних розрахунків наближенням за формулою:

$$K_{в.а} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{ср.м.}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i}}. \quad (2.1)$$

Коефіцієнт форми графіка навантаження показує відношення середньоквадратичного (дійсного) p_{δ} навантаження приймача або груп приймачів P_{δ} за певний період часу до середнього значення навантаження за той же період часу

$$K_{ф.а} = \frac{P_{\delta}}{P_{\text{ср.м}}}. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт максимуму є відношенням розрахункового максимуму навантаження p_p до середнього навантаження $p_{\text{ср.м}}$ за найбільш завантажену зміну і зазвичай відноситься до групових графіків навантажень

$$K_{м.а} = \frac{P_p}{P_{\text{ср.м}}}. \quad (2.3)$$

Коефіцієнт різночасності максимумів активної потужності $K_{р.м.а}$ показує відношення сумарного розрахункового максимуму p_p активної потужності вузла системи електропостачання до суми розрахункових максимумів активної потужності окремих груп приймачів, що входять в даний вузол і систем електропостачання

$$K_{р.м.а} = \frac{P_p}{\sum_{i=1}^n P_{р.і}}. \quad (2.4)$$

Розрахунок електричних навантажень по цехам виконаємо за методом коефіцієнта попиту. Для визначення розрахункових навантажень з цього методу необхідно знати установлену потужність $P_{\text{ном}}$ групи приймачів,

коефіцієнти потужності $\cos\varphi$ та попиту $K_{n.a}$ цієї групи, які визначаються за довідниковими даними.

Розрахункове навантаження групи однорідних за режимом роботи приймачів визначають за формулами:

- для активної потужності: $P_p = K_{n.a} \cdot P_{ном}$; (2.5)

- для реактивної потужності: $Q_p = P_p \cdot tg\varphi$; (2.6)

- для повної потужності: $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$. (2.7)

де відповідає $tg\varphi$ відповідає $\cos\varphi$ цій групі приймачів.

Визначення розрахункового силового навантаження за встановленою потужністю та коефіцієнтом попиту є наближеним методом розрахунку, тому його застосування рекомендують для попередніх розрахунків та визначення загальнозаводських навантажень.

Усі отримані результати за методом коефіцієнта попиту наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Розрахунок навантажень на стороні напруги 0,4 кВ заводу

№	Найменування цеху	P_n , кВт	K_n	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Цех 1 холодної прокатки № 1	4715,7	-	-	-	3928,55	3232,41	5108,13
2.	Цех трансформаторної та транспортерної сталі	3000	0,7	0,6	1,17	2100	2457	3232,15
3.	Цех гарячої прокатки	2600	0,41	0,6	1,17	1066	1247,22	1640,70
4.	Цех холодної прокатки № 2	10500	0,38	0,65	1,02	3990	4069,8	5699,41
5.	Листообробний цех	3700	0,5	0,65	1,02	1850	1887	2642,58
6.	Трубоелектрозварювальний цех №1	2200	0,6	0,63	1,23	1320	1623,6	2092,48
7.	Трубоелектрозварювальний цех №2	4800	0,55	0,63	1,23	2640	3247,2	4184,96
8.	Блок ремонтних цехів	3110	0,7	0,7	1,02	2177	2220,54	3109,68
9.	Купоросна	750	0,5	0,7	1,02	375	382,5	535,65

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.	Адміністративно-побутовий корпус	800	0,85	0,88	0,53	680	360,4	769,60
11.	Центральна газозахисна станція	2000	0,82	0,85	0,62	1640	1016,8	1929,63
12.	Ремонтно-механічний цех	400	0,68	0,78	0,8	272	217,6	348,33
13.	Насосна	420	0,8	0,85	0,62	336	208,32	395,33
14.	Гальванічний цех	600	0,65	0,7	1,02	390	397,8	557,08
15.	Матеріальний склад	40	0,75	0,8	0,75	30	34	37,5
16.	Вальцетокарний цех	1300	0,6	0,7	1,02	780	842,4	1148,17
17.	Блок хімустановок	250	0,65	0,7	1,02	162,5	124,7	232,1
18.	Мазутосховище	350	0,3	0,75	0,88	105	40,69	139,86
19.	Електроремонтний цех	440	0,7	0,8	0,75	308	188,7	385
20.	Компресорна	230	0,8	0,85	0,62	184	162,36	216,49
Всього						22598,2	23637,92	34404,83

2.2. Розрахунок електричного навантаження цеху холодної прокатки №1 напругою 0,4 кВ

Найбільш важливими споживачами електричної енергії у внутрішньоцехових мережах напругою 0,4 кВ є двигуни електроприводів технологічного обладнання, електроосвітлення, електропобутові прилади та нагрівачі, тобто споживачі з тривалим та повторно-короткочасним (ПКР) режимами роботи. На рис. 2.1 представлені типові графіки зміни споживаної ними потужності.

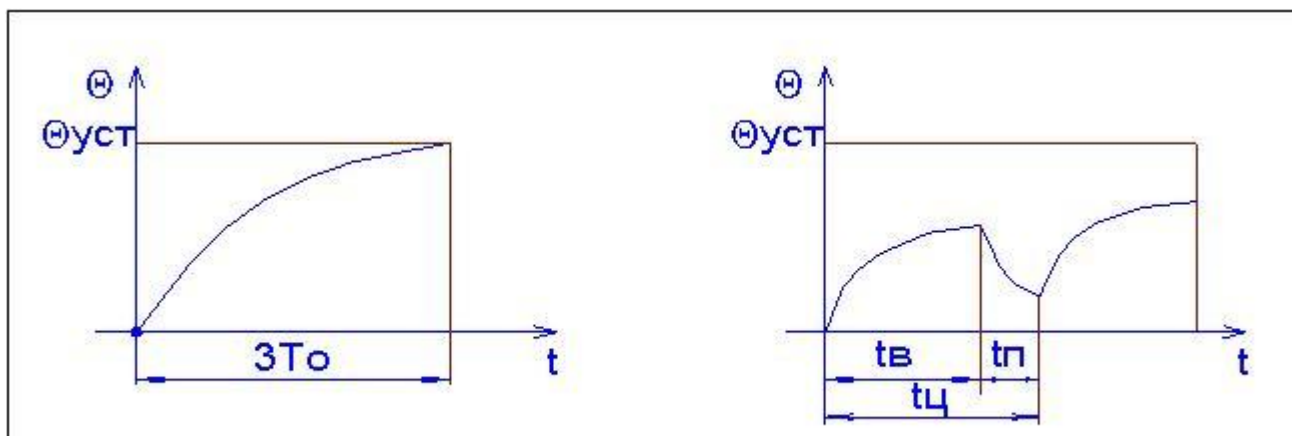


Рис. 2.1. Графіки навантаження електроприймачів: а – тривалий режим роботи; б – повторно-короткочасний режим роботи

Тривалий режим – це режим, при якому температура електроприймача зростає по експоненті і через $3T_0$ досягає усталеного значення (T_0 – постійна часу електроприймача). У тривалому режимі працюють електроприводи автоматичних ліній, вентиляторів, насосів, верстатів, електричні печі опору, освітлювальні прилади тощо.

Повторно-короткочасний режим – це режим, при якому температура за час включення підвищується, але не досягає усталеного значення, а за час пауз знижується, але не досягає температури навколишнього середовища. Повторно-короткочасний режим характеризується тривалістю включення:

$$PB = \frac{t_s}{t_u} = \frac{t_s}{t_s + t_n} \quad (2.5)$$

де t_u – час циклу роботи електроприймача (не більше 10 хвилин); t_s час включення електроприймача; t_n – час паузи у роботі електроприймача. У повторно-короткочасному режимі працюють електродвигуни машин контактного зварювання, пресів, ліфтів і мостових кранів. Для електроприймачі, що працюють у тривалому режимі значення PB приймається за одиницю.

Розрахунок активної ($P_{P,i}$), реактивної ($Q_{P,i}$) та повної ($S_{P,i}$) потужності проводиться по групам електроприймачів з близькими значеннями коефіцієнтів попиту, що сформовані на етапі передпроектного аналізу, з урахуванням установленої потужності електрообладнання групи. За установлену потужність приймається сума номінальних потужностей електроприймачів тієї чи іншої групи. При розрахунку використовуються наступні формули:

$$P_{P,i} = K_{n,i} \cdot P_{уст,i} \cdot \sqrt{PB}, \text{ кВт}; \quad (2.6)$$

$$Q_{P,i} = P_{P,i} \cdot \text{tg}\varphi_i, \text{ квар}; \quad (2.7)$$

$$S_{P,i} = \sqrt{P_{P,i}^2 + Q_{P,i}^2}, \text{ кВ}\cdot\text{А}, \quad (2.8)$$

де $P_{уст,i}$ – установлена потужність i -ої групи електроприймачів;

$K_{n,i}$ – коефіцієнт попиту i -ої групи електроприймачів;

φ_i – усереднений кут фазового зсуву між напругою і струмом для електроприймачів i -ої групи.

Наприклад, для конвеєра гарячекатаних рулонів розрахункові значення активної, реактивної та повної потужності, обчислені так:

$$P_{P,i} = 0,8 \cdot 650 \cdot \sqrt{1} = 520 \text{ кВт};$$

$$Q_{P,i} = 520 \cdot 0,64 = 332,8 \text{ квар};$$

$$S_{P,i} = \sqrt{520^2 + 332,8^2} = 617,38 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

У табл. 2.2 наведені параметри та результати розрахунку потужностей для різних груп електроприймачів цеху холодної прокатки №1 заводу.

Таблиця 2.2

Електричні навантаження мережі 0,4 кВ цеху холодної прокатки №1

№ на плані цеху	Найменування груп електроприймачів	P_n , кВт	K_n	$\cos\varphi$	n	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ·А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Конвеєр гарячекатаних рулонів	650	0,8	0,84	1	0,64	520	332,8	617,37
2.	Безперервний травильний агрегат	350	0,45	0,65	1	1,16	157,5	182,7	241,21
3.	П'ятикільтовий стан нескінченної прокатки	400	0,75	0,8	1	0,75	300	225	375
4.	Дресирувальний стан травлених гарячекатаних смуг	300	0,6	0,65	1	1,16	180	208,8	275,67
5.	Ковпакові відпалювальні печі	600	0,7	0,75	1	0,88	420	369,6	559,46
6.	Ковпакові печі для відпалу розпушених рулонів	650	0,68	0,7	1	1,02	442	450,8	631,36
7.	Агрегат для розпушування рулонів перед відпалом	230	0,5	0,73	1	0,93	115	106,9	157
8.	Однокільтовий дресирувальний стан 2030	250	0,8	0,8	1	0,75	200	150	250

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	Агрегати повздожнього різання з лініями упаковки	140	0,65	0,8	1	0,75	91	68,25	113,75
10	Агрегати поперечного різання	80	0,65	0,8	6	0,75	312	234	390
11	Агрегати повздожнього різання	80	0,65	0,8	8	0,75	416	312	520
12	Агрегати упаковки	150	0,8	0,75	2	0,88	240	211,2	319,69
13	Агрегат електролітичного очищення	230	0,5	0,78	1	0,8	115	92	147,27
14	Агрегат безперервного відпалу	180	0,85	0,82	1	0,69	153	105,6	185,88
15	Агрегат гарячого цинкування	160	0,6	0,85	1	0,61	96	58,56	112,45
16	Агрегат електролітичного цинкування	180	0,65	0,83	1	0,67	117	78,39	140,83
17	Агрегат покриття полімерною плівкою	65	0,4	0,8	1	0,75	26	19,5	32,5
18	Передавальний візок вантажопідйомністю 80 т	8,5	0,65	0,7	4	1,02	22,1	22,54	31,56
19	Ножиці	2,5	0,45	0,84	1	0,64	1,125	0,72	1,33
20	Ножиці для вирізки проб	2,2	0,15	0,8	1	0,75	0,33	0,247	0,41
21	Ваги	7,5	0,6	0,85	1	0,61	4,5	2,74	5,27
Всього							3928,6	3232,4	5108,1

2.3. Розрахунок високовольтного електричного навантаження заводу напругою 10 кВ

Найбільш поширеними високовольтними споживачами електроенергії на промислових підприємствах є електричні синхронні та асинхронні двигуни великої потужності. Рекомендовані області застосування електродвигунів такі: при напрузі до 1 кВ та потужності до 100 кВт економічніше застосовувати асинхронні двигуни, а понад 100 кВт – синхронні; при напрузі 6 кВ та потужності до 300 кВт – асинхронні двигуни, а понад 300 кВт – синхронні; при напрузі 10 кВ та потужності до 400 кВт – асинхронні двигуни, понад 400 кВт – синхронні.

На заводі, крім високовольтних синхронних двигунів використовуються високовольтні асинхронні двигуни серії А. Це електродвигуни з короткозамкненим ротором, розраховані на роботу в тривалому режимі від мережі змінного струму частотою 50 Гц і призначені для приводу насосів, вентиляторів, димососів та інших механізмів, що не вимагають регулювання частоти обертання. Двигуни виконуються з валом на підшипниках кочення, що виступає з одного боку. Коробка електричних виводів має запобіжну мембрану і відповідає сучасним вимогам щодо стійкості до струмів короткого замикання. Ступінь захисту двигунів серії А – IP23. У табл. 2.3 наведено значення основних параметрів високовольтних електродвигунів. До іншого розповсюдженого високовольтного навантаження відносяться різного роду нагрівачі, потужні кондиціонери та електричні печі.

Таблиця 2.3

Параметри високовольтних двигунів

Тип двигуна	Номінальна напруга, кВ	Потужність, кВт	Частота обертання, об/хв	ККД, %	cosφ
1	2	3	4	5	6
4СДМ-1250К 24-10	10	630	250	93,2	0,9
СДН32-19-60-24 УХЛ4	10	1600	250	94	0,85
4СДМ-1250К 24-10	10	500	250	93,2	0,84
4СДМ-1250L 24-10	10	630	250	93,5	0,9
А-500Х-4У3	10	400	1500	93,1	0,86
А-500ХК-4У3	10	315	1500	93,2	0,87

Таблиця 2.4

Параметри високовольтних печей

Тип печі	Номінальна напруга кВ	Потужність, кВт	cosφ
1	2	3	4
ИАТ-2,5М1	10	1000	0,9
ИЧТ 6/1,6	10	1600	0,9

Активне навантаження споживачів напругою 10 кВ визначаємо методом коефіцієнта використання за виразом:

$$P_{P.v.i} = K_{n.i} \cdot P_{ном.v.i}, \text{ кВт}, \quad (2.9)$$

де $K_{n.i}$ – коефіцієнт використання i -ої групи високовольтних споживачів;

$P_{ном.v.i}$ – номінальна активна потужність високовольтних споживачів.

Реактивне навантаження споживачів напругою 10 кВ визначаємо за виразом:

$$Q_{P.v.i} = P_{P.v.i} \cdot tg\varphi_i, \text{ квар}, \quad (2.10)$$

де $tg\varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності високовольтних споживачів.

У табл. 2.5 приведені параметри і результати розрахунку потужностей високовольтних споживачів електричної енергії по цехам заводу. Так, для синхронних високовольтних двигунів 4СДМ-1250К 24-6 цеху холодної прокатки № 1 виконаний наступний розрахунок:

$$P_{P.v} = 0,8 \cdot 2520 = 2016 \text{ кВт};$$

$$Q_{P.v} = 2016 \cdot 0,48 = 566,4 \text{ квар};$$

$$S_{P.v} = \sqrt{2016^2 + 566,4^2} = 2094,055 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Таблиця 2.5

Високовольтне електричне навантаження заводу напругою 10 кВ

Найменування цехів і групи електроприймачів	P_n , кВт	K_n	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ·А
1	2	3	4	5	6	7	8
Цех № 1 холодної прокатки № 1:							
Двигуни 4СДМ-1250К 24-6	4x630	0,8	0,9	0,48	2016	566,4	2094,055
Цех № 3 гарячої прокатки:							
1. Двигуни СДН32-19-60-24 УХЛ4	2x1600	0,75	0,9	0,48	2400	1152	2662,162
2. Печі ИАТ-2,5М1	2x1000	0,7	0,9	0,48	1400	672	1552,92
3. Піч ИЧТ 6/1,6	1x1600	0,6	0,85	0,61	960	585,6	1124,51

Продовження табл. 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8
Цех № 4 холодної прокатки №2:							
Двигуни СДН32-19-60-24 УХЛ4	4x1600	0,5	0,85	0,61	3200	1952	3748,37
Цех 5 листообробний							
Двигуни А-500Х-4УЗ	5x400	0,5	0,84	0,64	1000	2079	2307
Цех 6 трубоелектрозварювальний №1							
Двигуни А-500ХК-4УЗ	6x315	0,8	0,9	0,48	1512	2812,5	3193,165
Цех 7 трубоелектрозварювальний №2							
Двигуни А-500Х-4УЗ	20x400	0,6	0,84	0,64	4800	4500	6579,514
Цех 20 компресорна							
Двигуни СДН32-19-60-24 УХЛ4	2x1600	0,6	0,85	0,61	1920	1171,2	2249,024
Сумарне навантаження 10 кВ:	30810	-	-	-	19208	15490,7	25510,73

2.4. Розрахунок освітлювального навантаження заводу

У якості джерел електричного світла на промислових підприємствах використовуються люмінесцентні (ЛЛ), дугові ртутні (ДРЛ) та інші та інші види ламп.

Люмінесцентні лампи обов'язкові при підвищених вимогах до світловіддачі та рекомендуються до застосування при великій протяжності робочих місць та при роботі з блискучими предметами. Також при низьких приміщеннях (6 – 8 м) вони є економічними. При освітленні системою одного загального освітлення приміщень, у яких виконуються роботи зорових розрядів I-V, доцільно застосовувати ЛЛ. При виборі типу джерела світла необхідно враховувати, що у низьких приміщеннях (не вище 6 – 8 м) найбільш економічні освітлювальні установки з ЛЛ, у приміщеннях висотою від 8 – 10 до 20 м найменші витрати мають місце для освітлювальних установок з лампами ДРЛ.

Активне розрахункове навантаження освітлювальних електроприймачів цеху визначається за питомим навантаженням та коефіцієнтом попиту.

$$P_{\text{розр.о.н}} = K_{\text{п.о.н}} \cdot P_{\text{пит.о.н}} \cdot F_{\text{ц}}, \text{ кВт}, \quad (2.11)$$

де $K_{\text{п.о.н}}$ – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$P_{\text{пит.о.н}}$ – питоми навантаження освітлювальних приймачів (ламп), Вт/м²;

$F_{\text{ц}}$ – площа підлоги цеху, визначаємо за генпланом заводу, м².

Лампи розжарювання на підприємствах в основному використовуються як аварійне освітлення, яке служить для тимчасового продовження роботи або евакуації людей з приміщення при раптовому відключенні робочого освітлення. Для ламп розжарювання $tg\varphi_{л.р.} = 0$.

Для освітлення купоросної, адміністративно-побутового корпусу, гальванічного цеху, матеріального складу, електроремонтного цеху використовуємо люмінесцентні лампи з $\cos\varphi = 0,95$ ($tg\varphi = 0,33$).

Газорозрядні лампи на підприємстві використовуються як основні джерела світла (складають приблизно 85 % від загальної потужності освітлювального навантаження), що забезпечують нормальну роботу технологічного процесу, для них реактивна потужність визначається за формулою:

$$Q_{розр.о.н} = 0,75 \cdot P_{розр.о.н} \cdot tg\varphi, \text{ квар.} \quad (2.12)$$

Визначаємо площі всіх приміщень показаних на генплані (див. рис. 2.2). Питоме навантаження $p_{пит.о.н.}$ знаходимо за довідниковими матеріалами. Значення коефіцієнта попиту $K_{п.о.н.}$ освітлювального навантаження приймаємо рівним $K_{п.о.н.} = 0,85$ (виробничі будівлі, що складаються із окремих приміщень).

Наведемо приклад розрахунку освітлювального навантаження для цеху холодної прокатки № 1.

$$P_{розр.о.н} = K_{п.о.н.} \cdot p_{пит.о.н.} \cdot F_{ц} = 0,85 \cdot 16 \cdot 7040 = 95,2 \text{ кВт};$$

$$Q_{розр.о.н} = 0,75 \cdot P_{розр.о.н} \cdot tg\varphi = 0,75 \cdot 95,2 \cdot 1,73 = 123,52 \text{ квар};$$

$$S_{розр.о.н} = \sqrt{P_{розр.о.н.}^2 + Q_{розр.о.н.}^2} = \sqrt{85,2^2 + 123,52^2} = 156 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Усі довідникові дані, а також розрахунки по цехам заносимо в табл. 2.6.

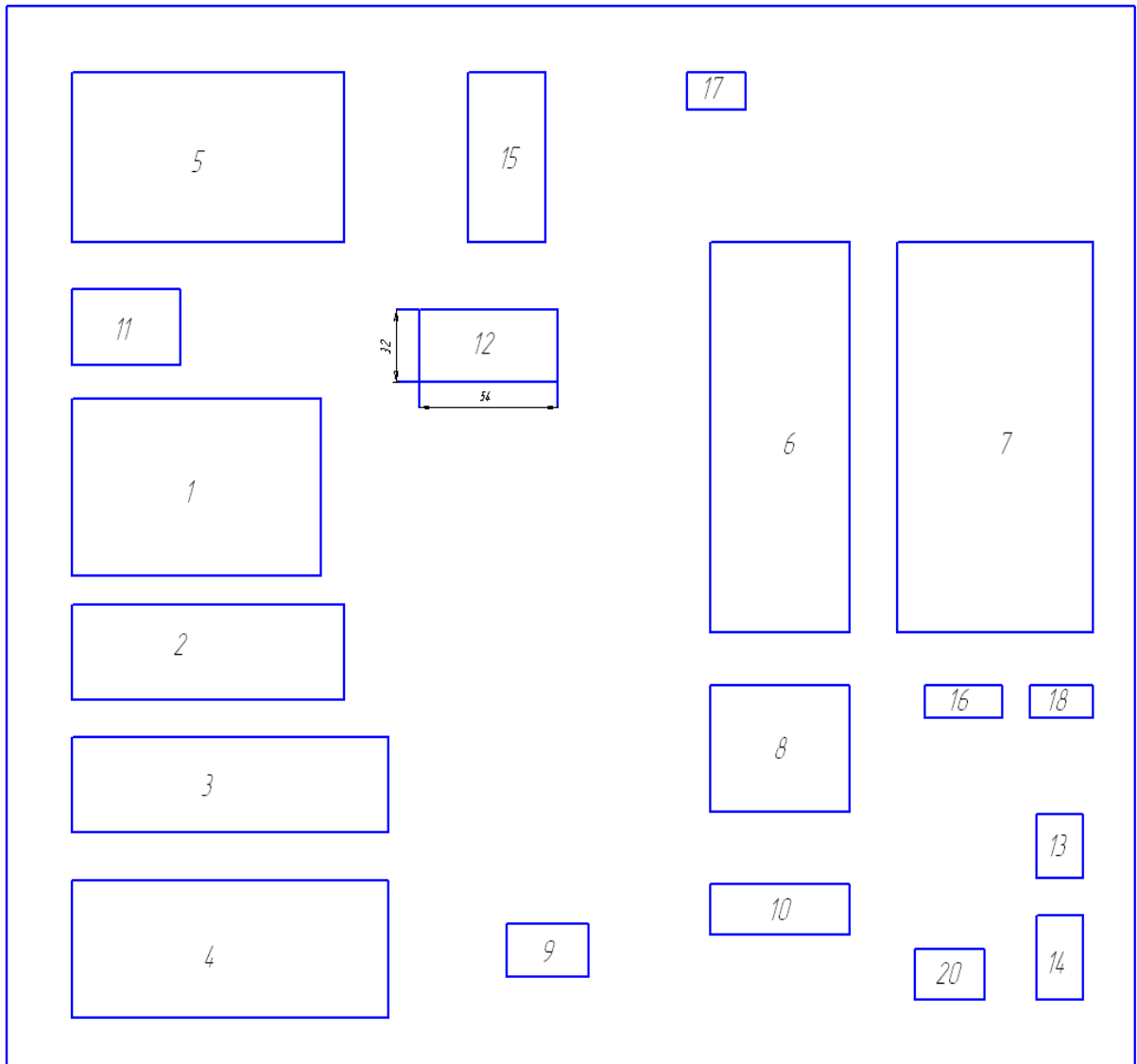


Рис. 2.2. Генеральный план завода

Таблиця 2.6

Споживачі освітлювального навантаження напругою 0,4 кВ

№ п/п	Найменування цеху	$K_{п.о.н}$	$p_{п.о.н},$ Вт/м ²	$F_{ц},$ м ²	$tg\varphi$	$P_{о.н},$ кВт	$Q_{о.н},$ квар	$S_{о.н},$ кВ·А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Цех 1 холодної прокатки № 1	0,85	16	7040	1,73	95,2	123,52	156
2	Цех трансформаторної та транспортерної сталі	0,85	14	4300	1,73	51,17	66,39	83,82
3	Цех гарячої прокатки	0,85	16	4600	1,73	62,56	81,17	102,48
4	Цех холодної прокатки № 2	0,85	16	4000	1,73	54,4	70,58	89,11
5	Листообробний цех	0,85	16	7000	1,73	95,2	123,52	156
6	Трубоелектрозварювальний цех №1	0,85	14	10500	1,73	125	162,12	204,68
7	Трубоелектрозварювальний цех №2	0,85	14	14000	1,73	166,6	216,16	272,91
8	Блок ремонтних цехів	0,85	20	3300	1,73	56,1	72,78	91,9
9	Купоросна	0,6	12	800	0,33	5,76	1,4	5,933
10	Адміністративно-побутовий корпус	0,6	12	1300	0,33	9,36	2,31	9,64
11	Центральна газозахисна станція	0,85	14	1500	1,73	17,85	23,16	29,24
12	Ремонтно-механічний цех	0,85	16	1728	1,73	23,5	30,5	38,5
13	Насосна	0,85	12	600	1,73	6,1	7,94	10
14	Гальванічний цех	0,6	12	760	0,33	5,4	1,35	5,63
15	Матеріальний склад	0,6	10	2100	0,33	12,6	3,11	13
16	Вальцетокарний цех	0,6	12	500	1,73	3,6	4,67	5,89
17	Блок хімустановок	0,85	20	500	1,73	8,5	11,02	13,92
18	Мазутосховище	0,85	10	600	1,73	5,1	6,61	8,35
19	Електроремонтний цех	0,6	16	550	0,33	5,28	1,3	5,43
20	Компресорна	0,85	10	650	1,73	5,52	7,16	9
Всього						814,9	1016,9	1303

Освітлювальне навантаження території заводу, при площі її території $F_{тер}=300000$ м², питомому навантаженні освітлення $p_{тер} = 11$ Вт/м² та коефіцієнті попиту освітлювального навантаження $K_{нтер}=1$:

$$P_{розр.о.н} = K_{нтер} \cdot p_{тер} \cdot F_{ц} = 1 \cdot 11 \cdot 300000 = 300 \text{ кВт};$$

$$Q_{розр.о.н} = P_{розр.о.н} \cdot tg\varphi = 300 \cdot 1,73 = 519 \text{ квар};$$

$$S_{розр.о.н} = \sqrt{P_{розр.о.н}^2 + Q_{розр.о.н}^2} = \sqrt{300^2 + 519^2} = 599,5 \text{ кВ·А}.$$

3. ВИБІР СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ З УРАХУВАННЯМ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Вибір числа і потужності силових трансформаторів має бути технічно і економічно обґрунтований, оскільки це істотно впливає на розробку раціональної схеми електропостачання.

3.1. Попередній розрахунок кількості та потужності трансформаторів 10/0,4 кВ

Правильне визначення числа та потужності трансформаторів 10/0,4 кВ можливе з урахуванням наступних факторів: категорії надійності електропостачання споживачів; питомої густини навантаження; розмірів цеху; перевантажувальної здатності трансформаторів у нормальному та аварійному режимах; наявності компенсаторів реактивної потужності

Надійність електропостачання споживачів I, II категорій досягаються за рахунок наявності двох незалежних джерел живлення. Резервне джерело живлення споживачів I, II категорій, зазвичай вводиться автоматично, проте для II категорії допускається введення резерву черговим персоналом. При живленні споживачів цих категорій від однієї підстанції слід мати два трансформатори. Однотрансформаторні підстанції використовуються лише для живлення споживачів третьої категорії.

Для цехових понижувальних трансформаторних підстанцій визначено економічно вигідну потужність трансформаторів $S_{H.E.}$, яка приймається залежно від питомої щільності розрахункового навантаження s_y :

- при $s_y \leq 0,2$ кВ·А/м² приймається $S_{H.E.} = 1000$ кВ·А;
- при $0,2 < s_y \leq 0,3$ кВ·А/м² приймається $S_{H.E.} = 1600$ кВ·А;
- при $s_y > 0,3$ кВ·А/м² приймається $S_{H.E.} = 2500$ кВ·А.

Питома щільність розрахункового навантаження визначається за такою формулою:

$$s_y = \frac{S_{p.ц}}{F_ц}, \quad (3.1)$$

де $S_{p.ц}$ – максимальне розрахункове навантаження цеху, кВ·А; $F_ц$ – площа цеху, м².

Для кожної технологічно зконцентрованої групи цехових трансформаторів однакової потужності мінімальне їх число, необхідне для живлення найбільшого розрахункового навантаження, визначається за виразом:

$$n_{mp} = \frac{S_{p.ц}}{k_3 \cdot S_{т.ном}}, \quad (3.2)$$

де k_3 – коефіцієнт завантаження трансформаторів; $S_{т.ном}$ – принята номінальна потужність трансформаторів, кВ·А.

Згідно з ПУЕ значення коефіцієнтів завантаження трансформаторів вибирається таким: 0,65-0,7 – при переважній більшості споживачів I-II категорії; 0,75-0,85 – при переважній більшості споживачів II та III категорій; 0,9-0,95 – для однострансформаторних підстанцій споживачів III категорії.

Отримане значення числа трансформаторів округлюється до ближчого цілого числа та визначається фактичний коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі роботи:

$$k_{з.ф} = \frac{S_{p.ц}}{n_{mp} \cdot S_{т.ном}}. \quad (3.3)$$

Як приклад, наведемо розрахунок числа та потужності трансформаторів для цеху холодної прокатки № 1. Цех відноситься до споживачів першої категорії, тому вибираємо двотрансформаторну підстанцію.

Визначаємо потужність трансформаторів для живлення найбільшого розрахункового активного навантаження цеху при $k_3 = 0,7$:

$$S_{mp} = \frac{510813}{0,7 \cdot 2} = 364866 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Приймаємо два трансформатори зі стандартним значенням номінальної потужності $S_{т.ном} = 4000$ кВ·А. В результаті фактичний коефіцієнт завантаження трансформатора складе:

$$k_{з.ф} = \frac{5108,13}{2 \cdot 4000} = 0,64.$$

Для інших цехів розрахунків проводиться аналогічно, результати розрахунку числа та потужності цехових трансформаторних підстанцій зводимо до табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Розрахункова кількість та потужність цехових трансформаторів

№ цеху	Найменування цеху	Категорія спож.	$k_{з.т}$	S_p , кВ·А	$F_{ц}$, м ²	s_y , кВ А/м ²	S_{HE} , кВА	$n_{тр.р}$	n_T	$k_{з.ф}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Цех 1 холодної прокатки № 1	I	0,65-0,7	5108,1	7040	0,75	4000	2,03	2	0,64
2	Цех трансформаторної та транспортерної сталі	I	0,7	3315,9	4300	0,77	2500	1,89	2	0,66
3	Цех гарячої прокатки	I	0,65-0,7	1743,2	4600	0,37	1600	1,67	2	0,54
4	Цех холодної прокатки № 2	I	0,65-0,7	5788,5	4000	1,44	4000	2,22	2	0,72
5	Листообробний цех	I	0,7	2798,6	7000	0,39	2500	1,59	2	0,55
6	Трубоелектрозварювальний цех №1	I	0,7	2297,2	10500	0,21	1600	2	2	0,71
7	Трубоелектрозварювальний цех №2	I	0,7	2770,99	14000	0,31	2500	2	3	0,7
8	Блок ремонтних цехів	I	0,7	3201,6	3300	0,97	2500	1,82	2	0,64
9	Купоросна	II	0,8	541,58	800	0,67	1600	0,42	2	0,16
10	Адміністративно-побутовий корпус	II	0,8	779,2	1300	0,59	1600	0,6	2	0,24
11	Центральна газозахисна станція	I	0,7	1958,9	1500	1,3	2500	1,11	2	0,39
12	Ремонтно-механічний цех	II	0,8	386,8	1728	0,22	2500	0,19	2	0,07
13	Насосна	I	0,7	405,3	600	0,67	1600	0,36	2	0,12
14	Гальванічний цех	I	0,7	562,7	760	0,74	1600	0,5	2	0,17
15	Матеріальний склад	III	0,9	50,5	2100	0,02	2500	0,02	2	0,01 0
16	Вальцетокарний цех	II	0,8	1120,1	500	2,31	2500	0,57	2	0,23
17	Блок хімустановок	II	0,8	246,03	500	0,49	2500	0,12	2	0,04 9
18	Мазутосховище	II-III	0,85	148,2	600	0,24	2500	0,06	2	0,02
19	Електроремонтний цех	II	0,8	390,4	550	0,70	2500	0,19	2	0,07
20	Компресорна	I-II	0,75	225,5	650	0,34	1600	0,18	2	0,07

Як видно з табл. 3.1, для ряду цехів та корпусів коефіцієнт завантаження трансформаторів дуже малий, що недоцільно з економічної та практичної точок зору. Оскільки є резерв потужності в основних цехах, а встановлення трансформаторів у допоміжних цехах спричинить додаткові капітальні вкладення на їх купівлю та призведе до збільшення складського резерву, заживлення цехів та корпусів з малим навантаженням виконуємо від шин 0,4 кВ ТП основних цехів. Кількість та потужності цехових трансформаторних підстанцій з урахуванням перерозподілу навантаження між цехами зводимо до табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Кількість та потужність трансформаторів в цехах з урахуванням перерозподілу навантаження

№ ТП	№ цеху	Категорія	$S_{p.ц},$ кВ·А	$P_{p.ц},$ кВт	$Q_{p.ц},$ квар	$S_y,$ кВ·А/м ²	$S_{т.ном},$ кВА	$n_{тр.},$ шт	$K_{з.ф},$ в.о.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	I	5108,13	3928,55	3232,41	0,75	4000	2	0,64
2	2	I	3315,87	2151,17	2523,39	0,77	2500	2	0,66
3	3	I	1743,06	1128,56	1328,39	0,37	1600	2	0,54
4	4	I	5787,911	4044,4	4140,38	1,44	4000	2	0,72
5	5, 11,12,15,17	I-II-III	5260,74	4112,15	3280,1	2,44	2500	2	1
6	6	I	2297,13	1445	1785,72	0,21	1600	2	0,71
7	7	I	4457,78	2806,6	3463,36	0,31	3150	2	0,7
8	8,16,18,19	I-II-III	4808,5	3440,08	3359,69	4,24	2500	2	0,98
9	9,10,13,14,20	I-II	2516,78	1997,14	1531,54	3,03	1600	2	0,78

Як видно з табл. 4.2 коефіцієнт завантаження трансформаторів у деяких цехах перевищує установлені норми по за категорії електропостачання, для зменшення цього коефіцієнта проводиться розрахунок компенсації реактивної потужності.

Для цехових комплектних підстанцій використовуємо трансформатори закритого типу – ТМЗ. Це сучасні трансформатори, у яких ізолятори вводів закриті кожухом, а масло у баку знаходиться під азотною «подушкою» з невеликим надлишковим тиском.

Також використовуємо сухі трансформатори типу ТСН – трансформатор силовий сухий фірми SIEMENS з литою ізоляцією GEAFOL потужністю 1600, 3150 та 4000 кВА з напругами 10/0,4 кВ.

У табл. 3.3 наведені параметри трансформаторів.

Маркування трансформаторів наступне: ТМЗ-xxxx/10, де Т – трифазний; М – масляне охолодження з природною циркуляцією повітря і масла; З – закритого виконання; xxxx – номінальна потужність трансформатора, кВА; 10 – первинна напруга, кВ.

Маркування сухих трансформаторів таке: ТСН х/10 УЗ, де ТС – трифазний сухий трансформатор; Н – ізоляційний матеріал обмоток класу «NOMEX» з нагрівостійкістю Н (180 °С); х – потужність трансформатора, кВА; 10 – напруга первинної обмотки, кВ; УЗ – кліматичне виконання.

Таблиця 3.3

Технічні дані цехових трансформаторів

Тип трансформатора	S _{ном.т.} , кВ·А	Напруга, кВ		U _{к.} , %	Втрати, кВт		I _{хх.} , %
		ВН	НН		ΔР _{хх}	ΔР _к	
1	2	3	4	5	6	7	8
ТМЗ-1600/10	1600	10	0,4	6	2,65	16,5	1
ТМЗ 2500/10	2500	10	0,4	6	3,75	26	0,8
ТСН-1600/10	1600	10	0,4	6	2,6	12	0,8
ТСН-2500/10	2500	10	0,4	6	4,0	15,5	0,8
ТСН-3150/10	3150	10	0,4	6	5	19	0,8
ТСН-4000/10	4000	10	0,4	6	6,5	26	0,8

Наявність у цехах освітлювального однофазного навантаження викликає збільшення струму, що протікає через нейтраль трансформатора (в основному

через проходження через неї третіх гармонік). Значення цього струму залежить від схеми з'єднання обмоток. Доцільно вибирати схему з'єднання обмоток Δ/Y_n , оскільки вона має найменший опір гармоніці нульової послідовності (нейтраль може навантажуватися до 75 % номінального струму фази проти 25 % при схемі Y/Y_n) та покращує умови захисту від однофазних замикань на землю.

3.2. Компенсація реактивної потужності на стороні 0,4 кВ

Компенсація реактивної потужності (КРП) є невід'ємною частиною проектування систем електропостачання більшості об'єктів. Це насамперед, зумовлено тим, що грамотне проведення заходів щодо КРП забезпечує суттєве підвищення ефективності систем електропостачання. Передача реактивної потужності викликає додаткові витрати на збільшення перерізів провідників ЛЕП та потужностей трансформаторів і створює додаткові втрати електроенергії. Крім того, в електричній мережі через наявність реактивної складової збільшуються втрати напруги, що знижує якість електроенергії за показником «відхилення напруги».

Технічно компенсація реалізується шляхом встановлення локальних джерел реактивної потужності протилежної спрямованості (протилежного знаку) порівняно з реактивною потужністю мережі. Як такі джерела, у споживачів електроенергії найчастіше використовуються конденсаторні установки, що забезпечують компенсацію реактивної потужності, пов'язаної з наявністю активно-індуктивного навантаження, наприклад, електродвигунового.

Сумарна потужність конденсаторних установок вибирається за двома критеріями:

- по мінімуму сумарних приведених витрат на конденсаторні установки та цехові трансформаторні підстанції;
- по мінімуму сумарних приведених витрат на конденсаторні установки та втрати електроенергії у мережі підприємства напругою 10 кВ та у трансформаторах.

Основна потужність конденсаторних установок напругою до 630 В визначається за першим критерієм, а з урахуванням другого знаходиться їх додаткова потужність. Загальна розрахункова потужність конденсаторних установок визначається як сума основної та додаткової потужностей

$$Q_{KV} = Q_{K1} + Q_{K2}.$$

За першим критерієм потужність конденсаторних установок слід визначати виходячи з доцільності зменшення кількості цехових трансформаторів або зниження їх номінальної потужності (при тій же кількості). Мінімальна кількість трансформаторів із номінальною потужністю $S_{ном.т}$ визначається за формулою:

$$n_{m.min} = \frac{P_p}{k_{зм} \cdot S_{ном.т}} + \Delta n, \quad (3.4)$$

де P_p – розрахункова активна потужність; Δn – добавка до ближчого цілого числа.

Вираз (3.4) передбачає повну компенсацію реактивної потужності, проте це не завжди доцільно, тому що вимагає великих витрат. Економічно доцільна кількість трансформаторів $n_{m.e}$ визначає шляхом наступного коригування:

$$n_{m.e} = n_{m.min} + m, \quad (3.5)$$

де m – додаткове число трансформаторів, що залежить від значення питомих затрат на передачу реактивної потужності з урахуванням постійних складових капітальних затрат.

З урахуванням $n_{m.e}$ обчислюють найбільшу реактивну потужність, яку доцільно передавати через трансформатори в низьковольтну мережу:

$$Q_m = \sqrt{(n_{m.e} \cdot k_{зм} \cdot S_{ном.т})^2 - P_p^2}. \quad (3.6)$$

За значенням Q_m знаходять сумарну потужність конденсаторних установок для цієї групи трансформаторів згідно з першим критерієм:

$$Q_{\kappa 1} = Q_{max} - Q_m, \quad (3.7)$$

де Q_{max} – сумарна (найбільша) розрахункова реактивна потужність цеху.

Якщо виявиться, що $Q_{\kappa 1} < 0$, то за першим критерієм встановлювати конденсатори не потрібно і приймаємо $Q_{\kappa 1} = 0$.

Додаткова сумарна потужність за другим критерієм для цієї групи трансформаторів визначається за формулою:

$$Q_{\kappa 2} = Q_{\max} - Q_{\kappa 1} - \gamma \cdot n_{m.e} \cdot S_{\text{ном.м}}, \quad (3.8)$$

де γ – розрахунковий коефіцієнт, значення якого залежить від показників K_1 , K_2 , і схеми живлення цехових підстанцій.

Викладена вище методика досить складна, її доцільно застосовувати лише за кількості трансформаторів більше трьох.

Так як на підприємстві скрізь встановлено по 2 та 1 трансформатору вище запропонований метод доцільний.

На підстанціях інших груп, кількість трансформаторів менш ніж три, тому розрахунки КРМ можна провести за спрощеною методикою. Як приклад, наведемо розрахунок низьковольтних компенсуючих пристроїв для ТП №1.

Тангенс кута зсуву фаз до компенсації реактивної потужності:

$$\operatorname{tg}\varphi_{p.ц} = \frac{Q_{p.ц}}{P_{p.ц}} = \frac{3232,4}{3928,6} = 0,82.$$

де $Q_{p.ц}$, $P_{p.ц}$ – розрахункова активна та реактивна потужності групи цехів (для ТП №1, див. табл. 2.2).

Необхідна сумарна потужність компенсуючих пристроїв $Q_{\kappa.у}$, визначається за формулою:

$$Q_{\kappa.у} = P_{p.ц} \cdot (\operatorname{tg}\varphi_{p.ц} - \operatorname{tg}\varphi_e), \text{ квар}, \quad (3.9)$$

де $\operatorname{tg}\varphi_e$ – коефіцієнт потужності, що задається системою.

Приймаємо $\operatorname{tg}\varphi_e = 0,38$, тоді для ТП №1

$$Q_{\kappa.у} = 3928,6 \cdot (0,82 - 0,38) = 1728,6 \text{ квар},$$

В якості джерел реактивної потужності використовуємо конденсаторні установки типу КРМ-0,4-900-9 УЗ ($U_{\text{ном}}=400\text{В}$, $Q_{\text{ном}}=900$ квар), тобто сумарна компенсуюча потужність конденсаторних установок складе $Q_{\text{н.к.у}}=1800$ квар.

Аналогічно виконаємо розрахунок для інших ТП. Результати вибору компенсуючих пристроїв напругою 0,4 кВ зведемо в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

*Результати розрахунку КРП в мережі 0,4 кВ
для двотрансформаторних ТП*

№ ТП	$P_{p.ц}$, кВт	$Q_{p.ц}$, квар	$tg\phi_{p.ц}$	Q_P , квар	Тип	Кількість	$Q_{нкв}$ квар
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3928,6	3232,4	0,82	1728,6	КРМ-0,4-900-9 УЗ	2	900
2	2151,17	2523,39	1,17	1705,94	КРМ-0,4-850-9 УЗ	1	850
3	1128,56	1328,39	1,17	899,53	КРМ-0,4-450-9 УЗ	1	450
4	4044,4	4140,38	1,02	2603,5	КРМ-0,4-650-7 УЗ	4	650
5	4112,15	3280,1	0,79	1717,4	КРМ-0,4-900-9 УЗ	2	900
6	1445	1785,72	1,23	1236,6	КРМ-0,4-650-7УЗ	1	650
7	2806,6	3463,36	1,23	2396,85	КРМ-0,4-600-7УЗ	4	600
8	3440,08	3359,69	0,97	2052,46	КРМ-0,4-1000-5 УЗ	2	1000
9	1997,14	1531,54	0,76	772,62	КРМ-0,4-800-8 УЗ	1	800

3.3. Уточнення числа та потужності трансформаторів 10/0,4 кВ з урахуванням компенсації реактивної потужності

На заключному етапі проводиться коригування розрахункових навантажень сформованих раніше груп цехів та потужностей трансформаторів ТП з урахуванням встановлення конденсаторних установок. Розрахункові значення реактивної та повної потужностей (навантажень) групи цехів з урахуванням встановлення компенсуючих пристроїв визначаються за формулами:

$$Q_{p.ц.к} = Q_{p.ц} - Q_{нк.у}, \text{ квар}; \quad (3.10)$$

$$S_{p.ц.к} = \sqrt{P_{p.ц}^2 + Q_{p.ц.к}^2}, \text{ кВ}\cdot\text{А}. \quad (3.11)$$

Для прикладу, ТП №1

$$Q_{p.ц.к} = 3232,4 - 1800 = 1432,4 \text{ квар};$$

$$S_{p.ц.к} = \sqrt{3928,6^2 + 1432,4^2} = 4181,6 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Визначаємо фактичний коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$k_{з.ф} = \frac{4181,6}{2 \cdot 3150} = 0,66.$$

Аналогічно проводимо уточнення для інших груп цехів та зводимо результати до табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Кількість та потужність цехових трансформаторів з урахуванням КРП

№ ТП	Категорія	P_p , кВт	$Q_{p.ц.к}$, квар	$S_{p.ц.к}$, кВ·А	n_{TP}	$S_{т.ном.}$, кВ·А	$K_{зф}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	I	3928,6	1432,4	4181,6	2	3150	0,66
2	I	2151,2	817,4	2301,2	2	1600	0,71
3	I	1128,6	428,9	1207,3	2	1000	0,60
4	I	4044,4	1536,9	4326,6	2	3150	0,68
5	I-II-III	4112,2	1562,6	4399	2	3150	0,69
6	I	1445	1785,7	2297,1	2	1600	0,71
7	I	2806,6	1066,5	3002,4	2	2500	0,60
8	I-II-III	3440,1	1307,2	3680,1	2	2500	0,73
9	I-II	1997,1	758,9	2136,5	2	1600	0,66

Порівняльний аналіз результатів, наведених у табл. 3.2 (без КРП) та 3.5 (з урахуванням КРП), показує, що проведення заходів щодо компенсації реактивної потужності дає такий позитивний ефект:

- На ТП №5, ТП №8, ТП №9 знижений коефіцієнт завантаження трансформаторів, що задовільняє вимоги ПУЕ до систем електропостачання;
- На ТП №1, ТП №2, ТП №3, ТП №4, ТП №7 вибрали трансформатори на меншу потужність;
- У ТП № 6 компенсація реактивної потужності не потрібна.

4. РОЗРАХУНОК СУМАРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА СТОРОНІ 10 КВ

Для визначення сумарної потужності навантаження на стороні 10 кВ, до розрахункової потужності на стороні 0,4 кВ додається потужність високовольтних споживачів, втрати потужності в цехових трансформаторах та втрати потужності в конденсаторних низьковольтних установках.

4.1. Обчислення втрат потужності в трансформаторах 10/0,4 кВ

Для розрахунку втрат активної потужності у трансформаторах використовуємо їх паспортні дані, наведені в табл. 3.3, та таку формулу:

$$\Delta P_m = n \cdot (\Delta P_{x.x} + k_{з.ф}^2 \cdot \Delta P_{к.з.}), \quad (4.1)$$

де $\Delta P_{x.x}$ – втрати холостого ходу трансформатора, кВт;

$\Delta P_{к.з.}$ – втрати короткого замикання трансформатора, кВт;

n – кількість трансформаторів на підстанції, шт.;

$k_{з.ф.}$ – фактичний коефіцієнт завантаження трансформатора (табл. 3.5).

Для ТП №1:

$$\Delta P_m = 2 \cdot (5 + 0,66^2 \cdot 19) = 26,6 \text{ кВт.}$$

Втрати реактивної потужності в трансформаторах обчислюються за формулою:

$$\Delta Q_m = n \cdot \left(\sqrt{\frac{i_0 \cdot S_{т.ном}}{100} - \Delta P_{x.x}^2} + k_{з.ф}^2 \cdot \frac{u_k \cdot S_{т.ном}}{100} \right), \quad (4.2)$$

де i_0 – струм холостого ходу трансформатора, %;

u_k – напруга короткого замикання трансформатора, %.

Для ТП №1:

$$\Delta Q_m = 2 \cdot \left(\sqrt{\frac{0,8 \cdot 3150}{100} - 5^2} + 0,66^2 \cdot \frac{6 \cdot 3150}{100} \right) = 165,1 \text{ квар.}$$

Результати розрахунку втрат потужності в цехових трансформаторах для інших ТП зводимо в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати розрахунку втрат потужності в трансформаторах 10/0,4 кВ

№ групи	Тип трансформатора	S _{т.ном} кВ·А	ΔP _{х.х} , кВт	ΔP _{к.з} , кВт	u _к , %	i ₀ , %	K _{з.ф}	ΔP _т , кВт	ΔQ _т , квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ТСН-3150/10	3150	5	19	6	0,8	0,66	26,6	165,1
2	ТСН-1600/10	1600	4	15,5	6	0,8	0,66	21,50	71,68
3	ТСН-1000/10	1000	1,75	8,3	6	0,8	0,65	10,51	27,78
4	ТСН-3150/10	3150	5	19	6	0,8	0,73	30,25	108,73
5	ТСН-3150/10	3150	5	19	6	0,8	0,73	30,25	108,73
6	ТМЗ 1600/10	1600	2,65	16,5	6	1	0,52	14,22	41,73
7	ТМЗ 2500/10	2500	3,75	26	6	0,8	0,65	29,47	83
8	ТМЗ 2500/10	2500	3,75	26	6	0,8	0,77	38,33	108,58
9	ТМЗ 1600/10	1600	2,65	16,5	6	1	0,69	21	61,48
Всього:								224,15	712,33

4.2. Розрахунок втрат потужності в конденсаторних установках 0,4 кВ

Активні втрати в конденсаторних установках обчислюються за формулою:

$$\Delta P_{н.к.у} = 4,5 \cdot Q_{н.к.у} \cdot 10^{-3}, \quad (4.3)$$

де $Q_{н.к.у}$ – установлена потужність конденсаторної установки, квар.

Для ТП №1:

$$\Delta P_{н.к.у} = 4,5 \cdot 1800 \cdot 10^{-3} = 8,1 \text{ кВт.}$$

Розрахунок втрат потужності в конденсаторних установках для інших груп цехів виконується аналогічно, результати їх наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Результати розрахунку втрат потужності в конденсаторних установках

№ТП	Тип установки	Q _{ку.ном} , квар	ΔP _{ку} , кВт
1	2	3	4
1	КРМ-0,4-900-9 УЗ	2x900	8,1
2	КРМ-0,4-850-9 УЗ	850	7,67
3	КРМ-0,4-450-9 УЗ	450	4,04
4	КРМ-0,4-650-7 УЗ	650	11,71
5	КРМ-0,4-900-9 УЗ	2x900	7,72
6	-	-	-
7	КРМ-0,4-600-7УЗ	4x600	10,78
8	КРМ-0,4-1000-5 УЗ	2x1000	9,23
9	КРМ-0,4-800-8 УЗ	800	3,47
Всього:			66,63

4.3. Розрахунок сумарного навантаження з урахуванням компенсації реактивної потужності на стороні 10 кВ

Активне розрахункове навантаження на стороні 10 кВ обчислюємо за формулою:

$$P_p = P_{p,0,4\Sigma} + P_{p,10\Sigma} + \Delta P_{m\Sigma} + \Delta P_{ky\Sigma}, \quad (4.4)$$

де $P_{p,0,4\Sigma}$ – сумарне активне розрахункове навантаження низьковольтних споживачів, кВт (табл. 2.1);

$P_{p,10\Sigma}$ – сумарне активне розрахункове навантаження низьковольтних споживачів, кВт (табл. 2.5);

$\Delta P_{m\Sigma}$ – сумарні втрати активної потужності в цехових трансформаторах, кВт (табл. 4.1);

ΔP_{ky} – втрати активної потужності в конденсаторних установках, кВт (табл. 4.2).

Результати розрахунку дають наступне

$$P_p = 22598,2 + 19208 + 224,15 + 66,63 = 42097,7 \text{ кВт.}$$

Реактивне розрахункове навантаження на стороні 10 кВ обчислюємо за формулою:

$$Q_p = Q_{p,0,4\Sigma} + Q_{p,10\Sigma} + \Delta Q_{m\Sigma}, \quad (4.5)$$

де $Q_{p,0,4\Sigma}$ – сумарне реактивне розрахункове навантаження низьковольтних споживачів з урахуванням КРП, квар (табл. 3.4);

$Q_{p,10\Sigma}$ – сумарне реактивне розрахункове навантаження високовольтних споживачів, квар (табл. 2.5);

$\Delta Q_{m\Sigma}$ – сумарні втрати реактивної потужності в цехових трансформаторах, квар (табл. 4.1).

Таким чином,

$$Q_p = 7448,43 + 15490,7 + 712,33 = 23681,46 \text{ квар.}$$

Перевіримо, чи є необхідність компенсації реактивної потужності на стороні 10 кВ. Для цього визначаємо $tg\varphi_n$ об'єкту електропостачання.

$$\operatorname{tg}\varphi_n = \frac{Q_p}{P_p} = \frac{23681,46}{42097,7} = 0,56.$$

Оскільки це значення більше, ніж задає енергосистема (прийняте в розрахунку $\operatorname{tg}\varphi_e = 0,38$), в період максимуму навантаження, на цей випадок в мережі 10 кВ є синхронні двигуни за допомогою яких компенсується реактивна потужність.

$$Q_{к.у10} = P_p \cdot (\operatorname{tg}\varphi_n - \operatorname{tg}\varphi_e) = 42097,7 \cdot (0,56 - 0,38) = 7684,33 \text{ квар.}$$

Повну розрахункову потужність навантаження на шинах 10 кВ заводу обчислимо за формулою:

$$S_p = \sqrt{P_{p.10}^2 + (Q_{p.10} - Q_{к.у.10})^2}. \quad (4.5)$$

Підставляючи значення, отримаємо

$$S_p = \sqrt{42097,7^2 + (23681,46 - 7684,33)^2} = 45034,7 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

5. ВИБІР НОМІНАЛЬНИХ НАПРУГ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІЗАВОДСЬКОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Напруги ділянок електричної мережі промислового підприємства вибираються внаслідок техніко-економічного порівняння варіантів. При виборі кінцевого проєктного рішення, прийнятого на основі порівняння варіантів, необхідно віддавати перевагу варіанту з більш високою напругою. У більшості випадків проєктувальник визначає напруги в межах двох найближчих за шкалою номінальних значень напруги, для яких і порівнюються варіанти. У ряді випадків вихідні дані для проєктування призводять до однозначного вибору номінальної напруги без детальних техніко-економічних розрахунків.

При навчальному проєктуванні намічається один з можливих варіантів номінальних напруг на трьох ділянках системи електропостачання – зовнішній, внутрішній та внутрішньоцеховий без економічних порівнянь з іншими варіантами на підставі наступних міркувань.

При виборі номінальної напруги зовнішньої ділянки мережі приймаються до уваги існуючі напруги можливих джерел живлення енергосистеми, відстань від цих джерел до підприємства та навантаження підприємства в цілому.

У живильних та розподільчих (міжцехових) мережах невеликих та середніх підприємств застосовуються номінальні напруги 6 та 10 кВ. Як правило, слід застосовувати напругу 10 кВ як більш економічну. Напруга 6 кВ використовується при переважній більшості електроприймачів напругою 6 кВ на підприємстві. У ряді випадків електропостачання ЕП з напругою 6 кВ здійснюється по живильних лініях напругою 10 кВ з подальшою трансформацією на напругу 6 кВ.

Напругу 660 В як внутрішньоцехову, доцільно застосовувати на тих підприємствах, де за умовами розташування цехового технологічного обладнання або навколишнього середовища не можна або важко наблизити цехові трансформаторні підстанції до ЕП. Крім того, дана напруга має переваги на підприємствах з великою питомою щільністю електричних навантажень,

зконцентрованими потужностями та з великою кількістю двигунів у діапазоні потужностей від 200 до 600 кВт. Найбільш доцільним є поєднання напруги 660 В з первинною напругою 10 кВ.

Номінальну напругу можна попередньо визначити за відомими потужністю P , МВт, що передається, і довжиною лінії L , км, за формулою Стілла:

$$U_{ном} = 4,34 \cdot \sqrt{L + 16 \cdot P}. \quad (5.1)$$

Ця формула прийнятна для ліній довжиною до 250 км і потужностей, що передаються, до 60 МВт. У разі великих потужностей, що передаються на відстань до 1000 км, використовується формула А.М. Залеського:

$$U_{ном} = \sqrt{P + (100 + 15 \cdot \sqrt{L})}. \quad (5.2)$$

Г.А. Іларіонов запропонував для попереднього визначення $U_{ном}$ наступний вираз:

$$U_{ном} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}}. \quad (5.3)$$

На відміну від емпіричних виразів Стілла та Залеського, формула Іларіонова дає задовільні результати для всієї шкали номінальної напруги від 35 до 1150 кВ.

Керуючись наведеним вище, виберемо напругу зовнішнього електропостачання заводу, використовуючи формулу Іларіонова для визначення доцільної напруги повітряної лінії (ПЛ) електропередачі.

$$U_{ном} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{27} + \frac{2500}{42097,7}}} = 232 \text{ кВ.}$$

Вибираємо мережу живлення ГПП на напругу 220 кВ.

Вибираємо внутрішню розподільчу мережу заводу на напругу 10 кВ, оскільки наявні споживачі на 10 кВ і це буде більш економічно.

В якості внутрішньоцехової напруги для живлення ЕП напругою до 1 кВ приймемо напругу 380 В (для живлення невеликих електродвигунів та освітлювальних установок 380/220 В).

6. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Вибравши номінальну напругу повітряних ліній найдоцільніше визначити переріз цих ліній.

Передачу електроенергії від джерела живлення до приймального пункту промислового підприємства здійснюють повітряними або кабельними лініями. Переріз проводів і жил кабелів вибирають за технічними та економічними умовами.

До технічних умов відносять вибір перерізів по нагріванню розрахунковим струмом, умовам коронування, механічної міцності, нагрівання від короткочасного виділення тепла струмом короткого замикання (КЗ), втрат напруги в нормальному та післяаварійному режимах.

Економічні умови вибору полягають у визначенні перерізу лінії, приведені витрати на спорудження якої будуть мінімальними.

Вибір перерізів по нагріванню здійснюють за розрахунковим струмом. Для паралельно працюючих ліній, як розрахунковий струм, приймають струм післяаварійного режиму, коли одна лінія живлення вийшла з ладу. За довідниковими матеріалами, залежно від розрахункового струму, визначають найближчий більший стандартний переріз. Вибраний переріз має відповідати конкретним умовам навколишнього середовища способу прокладання проводів та кабелів.

Обчислимо переріз повітряних ліній електропередачі за економічно вигідною густиною струму.

Визначимо максимальний струм лінії за формулою:

$$I_{\text{макс}} = \frac{S_{\text{нав}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{S_{\text{р.}\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}. \quad (6.1)$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{45034,7}{\sqrt{3} \cdot 220} = 118,2 \text{ А.}$$

По табл. 2.1 [3] за значенням $T_{\text{макс}} = 4300$ год/рік, для алюмінієвих неізолюваних проводів, рекомендована економічна густина струму становить $j_{\text{ек}} = 1,1 \text{ А/мм}^2$.

Наближений економічний переріз визначається за формулою:

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{макс}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{118,2}{1,1} = 107,45 \text{ мм}^2. \quad (6.2)$$

Вибираємо найближчий стандартний переріз проводу, рівний 120 мм^2 (провід марки АС-120/19).

7. ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА ОБ'ЄКТУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

7.1. Вибір числа та потужності трансформаторів живильної підстанції 220 кВ

Найчастіше зовнішнє електропостачання об'єкта напругою 10 чи 6 кВ здійснюється від понижувальної підстанції з вхідною напругою 220 кВ. Підстанція підстанція розташовується як поза об'єктом електропостачання, так і на його території. В останньому випадку вона зветься головною понижувальною підстанцією (ГПП). Даний завод відноситься до підприємств середньої встановленої потужності (тобто, потужність підприємства знаходиться в межах від 5 до 75 МВт). У зв'язку з цим приймаємо схему електропостачання з одним приймальним пунктом електроенергії, тобто з одним ГПП.

Оскільки на заводі переважають споживачі I та II категорій надійності, ГПП підприємства має виконуватися двотрансформаторною. Номінальне навантаження кожного трансформатора такої підстанції зазвичай визначається аварійним режимом роботи підстанції. А саме, потужність трансформаторів вибирається такою, щоб при виході з роботи одного з них, трансформатор з допустимим аварійним перевантаженням, що залишився в роботі, міг

забезпечити нормальне електропостачання споживачів. При аварійних режимах допускається перевантаження трансформаторів на 40 % на час максимуму, загальною добовою тривалістю не більше 6 годин на протязі не більше ніж 5 діб. На час перевантаження повинні бути вжиті заходи щодо посилення охолодження трансформатора (включені вентилятори дуття, резервні охолоджувачі тощо). Вибір номінальної потужності трансформатора ГПП проводиться з урахуванням його здатності до перевантаження.

$$S_{т.ном} \geq S_{т.розр} \cdot$$

За формулою (3.2) обчислимо розрахункову потужність трансформатора при $k_3 = 0,7$:

$$S_{тр} = \frac{45034,7}{0,7 \cdot 2} = 32167,64 \text{кВ} \cdot \text{А}.$$

З ряду стандартних потужностей понижуючих трансформаторів вибираємо трансформатори номінальною потужністю $S_{т.ном} = 40$ МВА. У цьому випадку коефіцієнт завантаження трансформатора у нормальному режимі роботи (в роботі перебувають обидва трансформатори) становитиме:

$$k_{з.н} = \frac{S_p}{n_{тр} \cdot S_{т.ном}} = \frac{45034,7}{2 \cdot 40000} = 0,56,$$

а в аварійному режимі роботи (в роботі залишився один трансформатор):

$$k_{з.а} = \frac{S_p}{n_{тр} \cdot S_{т.ном}} = \frac{45034,7}{40000} = 1,13 < 1,4.$$

З урахуванням досить великої необхідної потужності, в якості трансформаторів ГПП, доцільно вибрати сучасні трансформатори з розщепленою вторинною обмоткою. Застосування таких трансформаторів дозволяє знизити струми короткого замикання на стороні 10 кВ. Вибираємо трансформатори типу ТРДН-40000/220 фірми "BEZ TRZNSFORMATORY" (трансформатор трифазний з розщепленою обмоткою, примусовою циркуляцією повітря та природною циркуляцією масла, з пристроєм регулювання напруги під навантаженням), основні параметри якого наведено у табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Паспортні характеристики трансформатора ТРДН-40000/220

Тип	$S_{т.ном},$ МВ·А	Номинальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга кз, %	Струм х.х., %
		ВН	НН	$P_{кз}$	$P_{хх}$		
ТРДН-40000/220	40	230	11	170	50	12	0,9

7.2. Вибір місця розташування ГПП

Обґрунтований вибір типу та потужності трансформаторів ГПП, а також правильне розміщення підстанції є основою для раціональної побудови системи електропостачання.

Вибір місця розташування підстанції здійснюється на основі генерального плану заводу. Вибір місця розташування ГПП починається з побудови картограми навантажень. Картограма є розміщенням на схематичному плані підприємства (рис. 7.1) кіл, площа яких відповідає в обраному масштабі розрахунковим навантаженням. За центри кіл приймаються центри ваги фігур, що зображують цехи на плані. Радіуси кіл картограми визначаються за формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{S_{p.i}}{\pi \cdot m}}, \quad (7.1)$$

де m – масштаб, виходячи з якого будуються кругові діаграми навантажень структурних підрозділів, наприклад, цехів (зазвичай для навантаження 0,4 і 10 кВ приймається значення $m=0,5$ кВ·А/мм²).

Координати центру електричних навантажень для розміщення джерела живлення (ГПП) можна визначити за формулами:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n S_{p.i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n S_{p.i}}, \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n S_{p.i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n S_{p.i}}, \quad (7.2)$$

де x_i, y_i – координати центру навантаження i -го цеху;

S_{pi} – розрахункові навантаження цехів.

Результати розрахунків наведені у табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Дані для побудови картограми електричних навантажень

№ ТП	Найменування цехів в ТП	$S_{рнi}$, кВА	r_i , мм	Y_i , м	X_i , м	$S_{рнi} \cdot X_i$ кВА·м	$S_{рнi} \cdot Y_i$ кВА·м
Навантаження 0,4 кВ							
1	1	4439,704	53,17	170	35	155389,64	754749,68
2	2	2493,037	39,84	120	35	87256,295	299164,44
3	3	1308,58	28,87	70	35	45800,3	91600,6
4	4	4603,757	54,15	20	35	161131,495	92075,14
5	5, 11,12,15,17	4616,921	54,22	280	35	161592,235	1292737,88
6	6	1688,193	32,79	155	250	422048,25	261669,915
7	7	3278,186	45,69	155	320	1049019,52	508118,83
8	8,16,18,19	3895,243	49,81	100	250	973810,75	389524,3
9	9,10,13,14,20	2214,324	37,55	165	250	553581	365363,46

Розрахунок за наведеними вище формулами показує, що центр електричних навантажень знаходиться в точці з координатами $X_0 = 150$ м; $Y_0 = 140$ м. На рис. 7.1 наведено схематичний план заводу із зазначенням розрахункового розташування центру електричних навантажень. За розрахунковими даними центр навантажень підприємства знаходиться максимально близько до завантажених цехів, тому місце розміщення ГПП зміщуємо вище і правіше. Нові координати центру ГПП: $X'_0 = 160$ м; $Y'_0 = 150$ м.

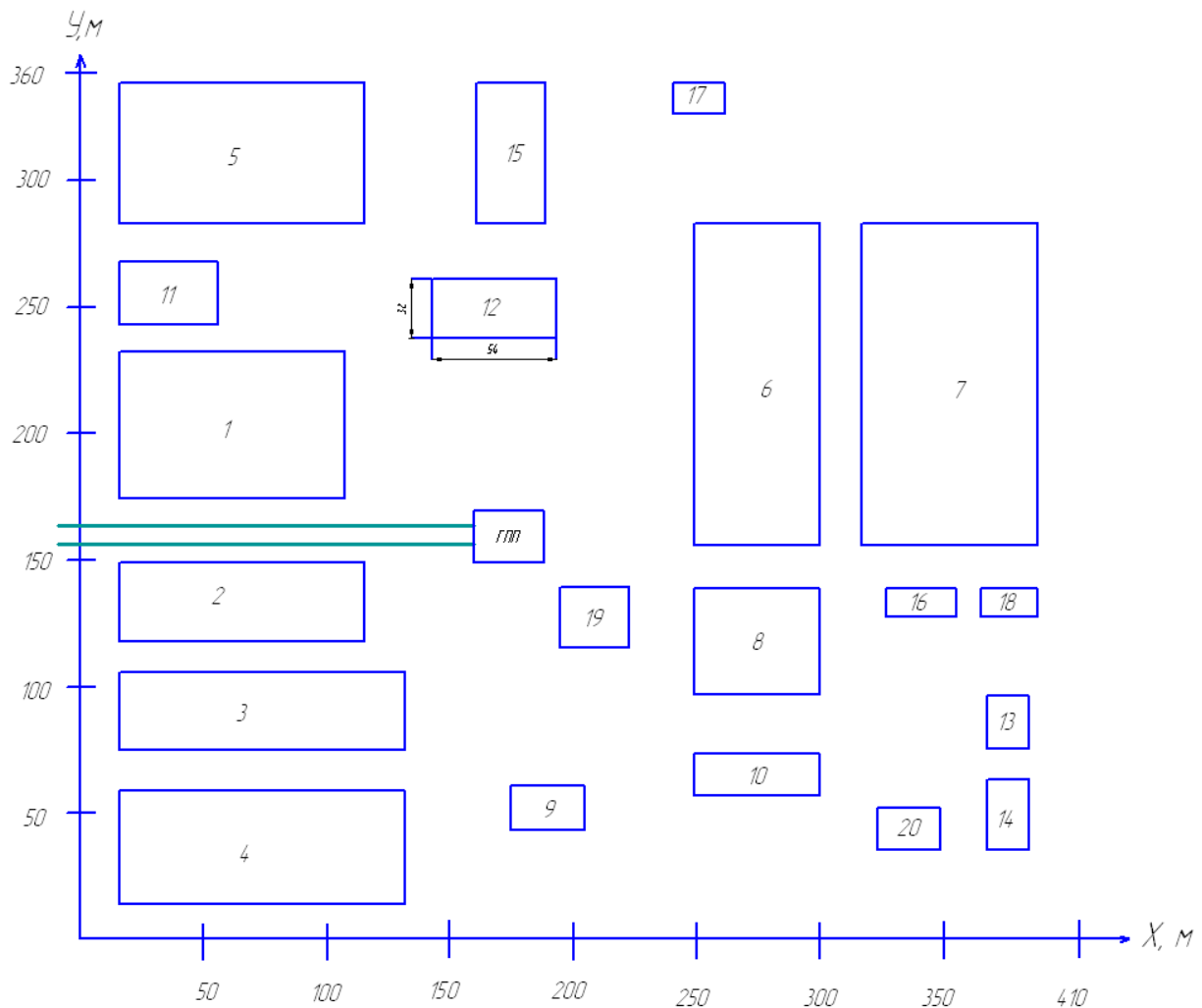


Рис. 7.1. Схема розташування ГПП

7.3. Вибір схеми ГПП та мережі внутрішнього електропостачання

При побудові схеми електропостачання виходимо з принципу максимально можливого наближення високої напруги до електроустановок споживачів та застосування мінімальної кількості ступенів проміжної трансформації. Зважаючи на наявність споживачів I-ої категорії за ступенем безперебійності живлення, передбачаємо секціонування шин ГПП та живлення кожної секції по окремій лінії. Резервування живлення окремих категорій споживачів закладено у самій схемі електропостачання. Для цього всі елементи схеми (лінії, трансформатори, апаратура) несуть у нормальному режимі постійне навантаження, а в післяаварійному режимі (після відключення пошкоджених ділянок) приймають на себе живлення споживачів, що залишилися в роботі з урахуванням допустимих для цих елементів

навантажень. При секціонуванні всіх ланок системи електропостачання, починаючи від шин ГПП, передбачено встановлення на них системи АВР (автоматичного введення резерву) для підвищення надійності живлення. При цьому в нормальному режимі роботи забезпечується роздільна робота елементів системи електропостачання, що знижує рівень струмів короткого замикання, полегшує і здешевлює комутаційну апаратуру та спрощує релейний захист.

За способом приєднання ГПП до лінії живлення вона є тупиковою. Тому розподільчий пристрій (РП)-220 кВ ГПП доцільно виконати за схемою «два блоки лінія-трансформатор з вимикачами та неавтоматичною перемичкою з боку ЛЕП». Ця схема більш надійна в експлуатації, ніж схема з відокремлювачами та короткозамикачами, особливо в зимовий час. Перемичка дозволяє зберегти в роботі обидва трансформатори при пошкодженні однієї з ліній живлення, а також забезпечити живлення ГПП на час ревізії чи ремонту силового трансформатора. Однолінійна електрична схема РП 220 кВ, виконаного з урахуванням вищевикладених вимог наведена на рис. 7.2.

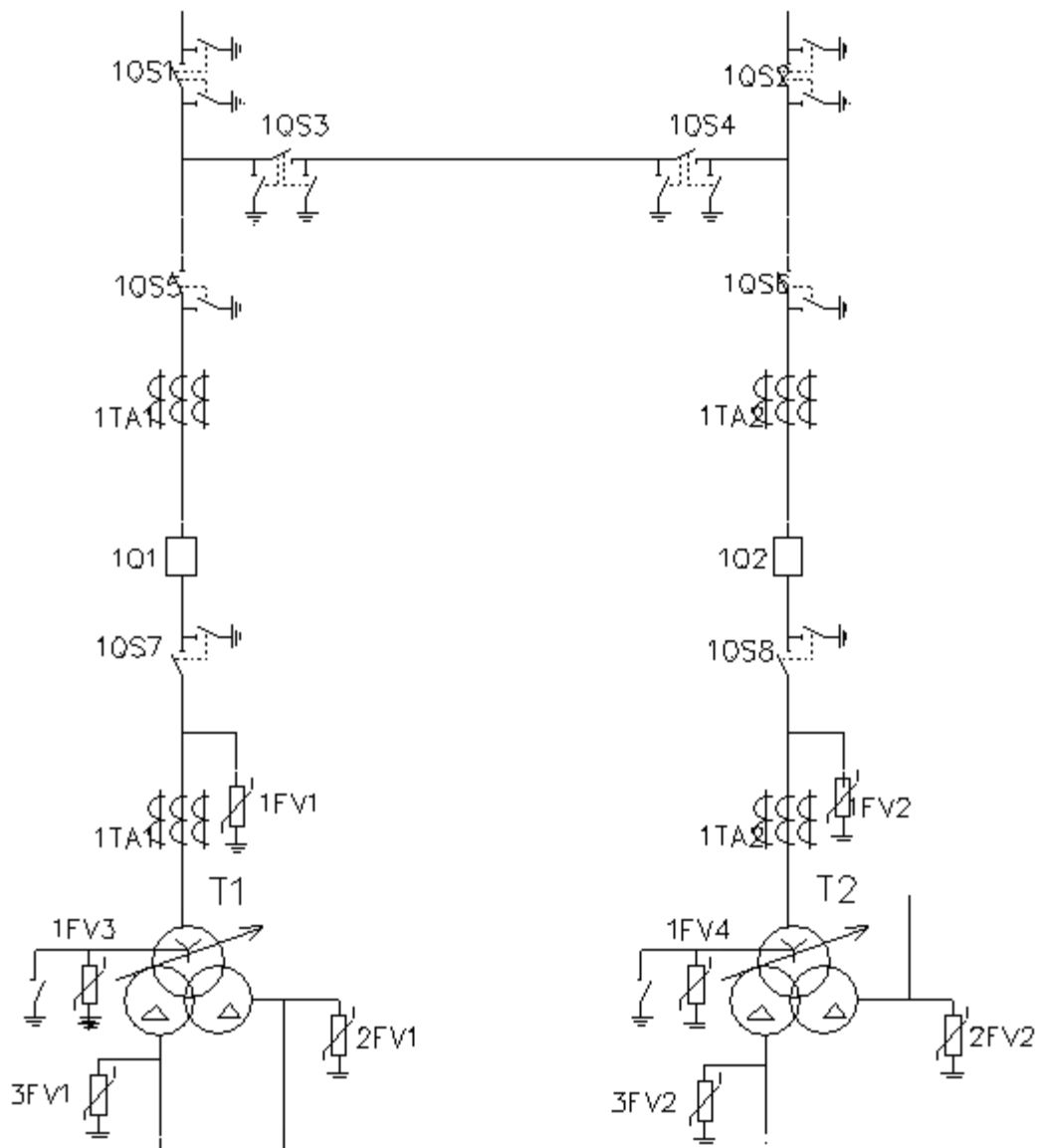


Рис. 7.2. Схема РП-220 кВ ГПП

8. ВИБІР СХЕМИ ВНУТРІЗАВОДСЬКОЇ МЕРЕЖІ

Характерною особливістю схем внутрішньозаводського розподілу електроенергії є велика розгалуженість мережі та наявність великої кількості комутаційно-захисної апаратури, що значно впливає на техніко-економічні показники і на надійність системи електропостачання.

З метою створення раціональної схеми розподілу електроенергії потрібно врахувати багато факторів, таких як конструктивного виконання мережевих вузлів схеми, способу передавання (каналізації) електроенергії, струмів КЗ за різних варіантів тощо.

При проєктуванні схеми важливе значення має правильне вирішення питань живлення силових і освітлювальних навантажень у нічний час, у вихідні та святкові дні. Для взаємного резервування рекомендується використовувати шинні та кабельні перемички між найближчими підстанціями, а також між кінцями мереж низької напруги, що живляться від різних трансформаторів.

Загалом схеми внутрішньозаводського розподілу електроенергії мають ступінчасту побудову. Вважається недоцільним застосування схем з числом ступенів більше двох-трьох, оскільки в цьому випадку ускладнюється комутація та захист мережі. На невеликих за потужністю підприємствах рекомендується застосовувати одноступінчасті схеми.

Схема розподілу електроенергії має бути пов'язана з технологічною схемою об'єкта. Живлення приймачів електроенергії різних паралельних технологічних потоків має здійснюватися від різних джерел: підстанцій, РП, різних секцій шин однієї підстанції. Це необхідно для того, щоб при аварії не зупинялися обидва технологічні потоки. У той же час взаємопов'язані технологічні агрегати повинні приєднуватися до одного джерела живлення, щоб при зникненні живлення всі приймачі електроенергії були одночасно знеструмлені.

При побудові загальної схеми внутрішньозаводського електропостачання необхідно приймати варіанти, що забезпечують раціональне використання

комірок розподільчих пристроїв, мінімальну довжину розподільчої мережі, максимум економії комутаційно-захисної апаратури.

Внутрішньозаводський розподіл електроенергії виконують за магістральною, радіальною або змішаною схемою. Вибір схеми визначається категорією надійності споживачів електроенергії, їх територіальним розміщенням, особливостями режимів роботи. Радіальними схемами є такі, в яких електроенергія від джерела живлення передається безпосередньо до приймального пункту. Найчастіше застосовують радіальні схеми з числом ступенів трохи більше двох.

Одноступінчасті радіальні схеми застосовують на невеликих і середніх по потужності підприємствах, для живлення зосереджених споживачів (насосні станції, печі, перетворювальні установки, цехові підстанції), розташованих у різних напрямках від центру живлення. Радіальні схеми забезпечують глибоке секціонування всієї системи електропостачання, починаючи від джерел живлення і закінчуючи збірними шинами до 1 кВ цехових підстанцій.

Живлення великих підстанцій і підстанцій або РП з великою перевагою споживачів I категорії здійснюють щонайменше двома радіальними лініями, що відходять від різних секцій джерела живлення.

Окремо розташовані одноступінчасті підстанції потужністю 400-630 кВ·А отримують живлення по одиночних радіальних лініях без резервування, якщо відсутні споживачі I та II категорій та за умови прокладання лінії можливий її швидкий ремонт. Якщо окремі підстанції мають споживачів II категорії, їх живлення має здійснюватися двокабельною лінією з роз'єднувачами на кожному з них.

Двоступінчасті радіальні схеми з проміжними РП застосовують на великих і середніх за потужністю підприємствах для живлення через РП великих пунктів споживання електроенергії, оскільки недоцільно завантажувати основний центр живлення підприємства з дорогими комірками РП великою кількістю дрібних ліній, що відходять. Від вторинних РП живлення подається на цехові підстанції без збірних шин високої напруги. У цьому

випадку використовують глухе приєднання трансформаторів або передбачають вимикач навантаження, рідше – роз'єднувач. Комутаційно-захисну апаратуру при цьому встановлюють на РП.

Магістральні схеми розподілу електроенергії застосовують у тому випадку, коли споживачів багато і радіальні схеми недоцільні. Основна перевага магістральної схеми полягає у скороченні ланок комутації. Магістральні схеми доцільно застосовувати при розташуванні підстанцій на території підприємства, близьким до лінійного, що сприяє прямому проходженню магістралей від джерела живлення до споживачів і тим самим скорочується довжина магістралі.

Недоліком магістральних схем є низька надійність у порівнянні з радіальними схемами, оскільки виключається можливість резервування на низькій напрузі однострансформаторних підстанцій при живленні по одній магістралі. Рекомендується жити від однієї магістралі не більше двох-трьох трансформаторів потужністю 2500-1000 кВ·А і не більше чотирьох-п'яти при потужності 630-250 кВ·А.

При магістральних схемах живлення цехових підстанцій на вводі до трансформатора встановлюють дешевшу комутаційну апаратуру у вигляді вимикача навантаження або роз'єднувача. Якщо потрібно забезпечити вибіркоче відключення трансформатора при його пошкодженні або якщо захист на головному вимикачі не чутливий при пошкодженні трансформатора, то послідовно з вимикачем навантаження або роз'єднувачем встановлюють запобіжник типу ПК, призначений для відключення пошкодженого трансформатора без порушення роботи інших.

У практиці проектування та експлуатації рідко застосовують схеми внутрішньозаводського розподілу електроенергії, побудовані тільки за радіальним або лише за магістральним принципом. Поєднання переваг радіальних та магістральних схем дозволяє створити систему електропостачання з найкращими техніко-економічними показниками.

Живлення ТП та РП за наявності навантажень споживачів I категорії передбачається не менше ніж двома радіальними лініями. Живлення двотрансформаторних ТП слід здійснювати від різних секцій ГПП. На стороні вторинної напруги таких ТП передбачається автоматичне введення резерву (АВР) за допомогою секційного автоматичного вимикача.

Магістральні схеми доцільні при розподілених навантаженнях, при близькому до лінійного розташуванні ПС на території підприємства, що сприятиме можливому прямому проходженню магістралей від ГПП до ТП або РП без зворотних потоків енергії та довгих обходів.

Для підвищення надійності електропостачання близько розташовані ТП доцільно живити від різних магістралей. Якщо ТП розташовуються поблизу РП, доцільно їх приєднання до цього РП.

На основі вищевикладеного приймаємо радіальну одноступінчасту схему розподілу електроенергії, живлення цехів I і II категорії проводиться, як мінімум, двома кабельними лініями; цехів та III категорій по одиночним КЛ. Цехи, в яких встановлюються вбудовані трансформатори живляться безпосередньо від ГПП, а цехи III категорії, тобто ті цехи, які при необхідності можна відключити заживлюються або від РП, або від РП, що стоїть окремо.

9. ВИБІР ПЕРЕРІЗІВ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ НАПРУГОЮ 10 КВ

Вибір кабеля для живлення цехів від головної понижувальної підстанції до цехових трансформаторних підстанцій вибирається по наступних умовах:

1. По тривало допустимому струму.
2. По економічній густині струму.
3. Перевірці за втратою напруги.

Потім перевіряється на термічну дію струмів КЗ (після їх розрахунку).

1. Виконаємо розрахунок вибору високовольтного кабелю від ГПП до першої трансформаторної підстанції ГПП-ТП1.

Вибір кабелю по тривало допустимому струму

Визначаємо максимальний струм післяаварійного режиму:

$$I_{PA} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{CP}} = \frac{4181,6}{\sqrt{3} \cdot 10} = 241,4 \text{ А.} \quad (9.1)$$

Максимальний розрахунковий струм нормального режиму:

$$I_P = \frac{I_{PA}}{2} = \frac{241,4}{2} = 120,7 \text{ А.} \quad (9.2)$$

Умови вибору кабелю по допустимому струму:

$$I_{доп} \geq \frac{I_P}{K_t \cdot K_{II} \cdot K_{ПВ}} = \frac{120,7}{0,84 \cdot 0,85 \cdot 1} = 169 \text{ А.} \quad (9.3)$$

$$I_{доп} \geq \frac{I_{PA}}{K_t \cdot K_{II} \cdot K_{ПВ} \cdot K^*} = \frac{241,4}{0,84 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1,3} = 260 \text{ А.} \quad (9.4)$$

де K_t – температурний коефіцієнт, що враховує умови навколишнього середовища по відношенню до розрахункових;

K_{II} – поправочний коефіцієнт на кількість кабелів, що прокладаються в одній траншеї одночасно;

$K_{ПВ}$ – коефіцієнт тривалості включення, при тривалому навантажувальному режимі роботи, що характерний для всього високовольтного обладнання.

Вибираємо кабель марки NA2XS(F)2Y 6/10kV з алюмінієвими жилами, номінальним перерізом жили 1x120RM/16 з $I_{доп} = 283 \text{ А}$ – при прокладанні в землі. Дані кабелі застосовуються в ґрунтах з підвищеною вологістю, в сирих і частково затоплюємих приміщеннях, в кабельних колекторах.

Вибір кабелю по економічній густині струму

Розрахунковий переріз:

$$F_{min} = \frac{I_P}{j_{ЕК}} = \frac{120,7}{1,4} = 86,2 \text{ мм}^2, \quad (9.5)$$

де $j_{ЕК} = 1,4$ – економічна густина струму, що залежить від числа годин роботи в році T_{max} .

Вибираємо кабель марки NA2XS(F)2Y 6/10kV з алюмінієвими жилами, номінальним перерізом жили 1x120RM/16 з $I_{доп} = 283 \text{ А}$.

Перевірка кабелю по втраті напруги (розрахунки зробимо на 100 м довжини)

Визначаємо опір кабелю:

$$R_K = \frac{L \cdot R_0}{n} = \frac{0,1 \cdot 0,246}{1} = 0,0246 \text{ Ом}; \quad (9.6)$$

$$X_K = \frac{L \cdot X_0}{n} = \frac{0,1 \cdot 0,07}{1} = 0,007 \text{ Ом}, \quad (9.7)$$

де L – довжина кабельної лінії, км; R_0 і X_0 – питомі опори кабелю, Ом/км.

Втрата напруги в кабелі складе:

$$\Delta U_K = \frac{P_P \cdot R_K + Q_P \cdot X_K}{U_H} = \frac{3928,6 \cdot 0,0246 + 1432,4 \cdot 0,007}{10} = 10,7 \text{ В} \quad (9.8)$$

Якщо втрата напруги у відсотках не більше 5 % кабель проходить по втраті напруги:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U_K}{U_{НОМ}} \cdot 100\% \leq 5\% \quad (9.9)$$

$$\Delta U \% = \frac{10,7}{10000} \cdot 100\% = 0,11 \leq 5\% .$$

Вибір кабелю для інших трансформаторних підстанцій виконується аналогічно і всі отримані розрахункові значення заносимо в табл. 9.1.

2. Виконаємо розрахунок вибору високовольтного кабелю для високовольтних двигунів.

Знайдемо струм для ліній до високовольтних електродвигунів, за формулою:

$$I_P = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} \text{ А}, \quad (9.10)$$

де $P_{НОМ}$ – номінальна потужність електродвигуна, кВт, $U_{НОМ}$ – номінальна напруга електродвигуна, кВ, $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності, η – ККД.

- Для СД потужністю 1600 кВт:

$$I_P = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,85 \cdot 0,94} = 115,6 \text{ А}.$$

Вибираємо кабель марки NA2XS(F)2Y 6/10kV з алюмінієвими жилами, номінальним перерізом жили 1x35RM/16 з $I_{\text{доп}} = 145 \text{ А}$.

Вибір кабелю по економічній густині струму

Розрахунковий переріз:

$$F_{\text{min}} = \frac{I_P}{j_{EK}} = \frac{115,6}{1,4} = 82,5 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель марки NA2XS(F)2Y 6/10kV з алюмінієвими жилами, номінальним перерізом жили 1x95RM/16 з $I_{\text{доп}}=248\text{А}$.

- Для СД потужністю 630 кВт:

$$I_P = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9 \cdot 0,932} = 43,38 \text{ А}.$$

Вибираємо кабель марки NA2XS(F)2Y 6/10kV з алюмінієвими жилами, номінальним перерізом жили 1x35RM/16 з $I_{\text{доп}} = 145 \text{ А}$.

Вибір кабелю по економічній густині струму

Розрахунковий переріз:

$$F_{\text{min}} = \frac{I_P}{j_{EK}} = \frac{43,38}{1,4} = 30,9 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель марки NA2XS(F)2Y 6/10kV з алюмінієвими жилами, номінальним перерізом жили 1x35RM/16 з $I_{\text{доп}} = 145 \text{ А}$.

Для інших високовольтних синхронних і асинхронних двигунів меншої потужності ніж 630 кВт, а саме для 500 кВт, 400 кВт та 315 кВт, вибираємо кабель марки NA2XS(F)2Y 6/10kV з алюмінієвими жилами, номінальним перерізом жили 1x35RM/16 з $I_{\text{доп}} = 145 \text{ А}$.

Таблиця 9.1

Вибір перерізу високовольтних кабелів від ГПП до ТП

№ ТП	$I_{p(a)}$, А	I_p , А	K_3	K_{II}	K_{IV}	K^*	$I_{доп1}$, А	$I_{доп2}$, А	Переріз жили, допустимий струм	$F_{мін}$, мм ²	Переріз жили, допустимий струм	X_0 , Ом/км	R_0 , Ом/км	X_k , Ом	R_k , Ом	δU , В	δU , В
ТП1	241,4	120,7	0,84	0,85	1	1,3	169	260	1x120RM/16 $I_{доп}=283A$	86,2	1x120RM/16 $I_{доп}=283A$	0,07	0,246	0,007	0,0246	10,7	0,11
ТП2	132,8	66,5	0,84	0,85	1	1,3	93,2	143,1	1x35RM/16 $I_{доп}=145A$	47,5	1x50RM/16 $I_{доп}=171A$	0,083	0,82	0,0083	0,082	18,3	0,18
ТП3	69,5	34,8	0,84	0,85	1	1,3	48,7	74,9	1x35RM/16 $I_{доп}=145A$	24,9	1x35RM/16 $I_{доп}=145A$	0,087	0,89	0,0087	0,089	10,4	0,1
ТП4	249,8	124,9	0,84	0,85	1	1,3	174,9	269,1	1x120RM/16 $I_{доп}=283A$	89,2	1x120RM/16 $I_{доп}=283A$	0,07	0,246	0,007	0,0246	11	0,11
ТП5	253,6	126,8	0,84	0,85	1	1,3	177,6	273,2	1x120RM/16 $I_{доп}=283A$	90,6	1x120RM/16 $I_{доп}=283A$	0,07	0,246	0,007	0,0246	11,2	0,11
ТП6	132,5	66,3	0,84	0,85	1	1,3	92,8	142,8	1x35RM/16 $I_{доп}=145A$	47,4	1x50RM/16 $I_{доп}=171A$	0,083	0,82	0,0083	0,082	13,3	0,13
ТП7	173	86,5	0,84	0,85	1	1,3	121,1	186,4	1x70RM/16 $I_{доп}=208A$	61,8	1x70RM/16 $I_{доп}=208A$	0,08	0,443	0,008	0,0443	13,3	0,13
ТП8	212,1	106	0,84	0,85	1	1,3	148,5	228,5	1x95RM/16 $I_{доп}=248A$	75,7	1x95RM/16 $I_{доп}=248A$	0,078	0,311	0,0078	0,0311	11,7	0,12
ТП9	123,2	61,6	0,84	0,85	1	1,3	86,3	132,7	1x35RM/16 $I_{доп}=145A$	44	1x50RM/16 $I_{доп}=171A$	0,083	0,82	0,0083	0,082	17	0,2

10. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

У електричних мережах можуть бути різні види коротких замикань (КЗ), що супроводжуються різким збільшенням струму. Все електроустаткування, яке встановлюється в системах електропостачання, має бути стійким до струмів КЗ та вибиратися з урахуванням цих струмів. Основні причини виникнення коротких замикань у мережі:

- пошкодження ізоляції окремих частин електроустановок;
- неправильні дії обслуговуючого та експлуатаційного персоналу;
- перекриття електричною дугою струмопровідних частин.

Короткі замикання в мережі можуть супроводжуватися припиненням живлення споживачів, приєднаних до місць КЗ; порушенням нормальної роботи інших споживачів (підключених до непошкоджених ділянок мережі), внаслідок зниження напруги на цих ділянках; порушення нормальної роботи енергетичної системи.

Для запобігання коротким замиканням і зниження збитків, які вони викликають, необхідно:

- своєчасно усувати причини, що викликають короткі замикання;

- зменшувати час дії захисту від коротких замикань; • застосовувати швидкодіючі вимикачі;

- правильно обчислювати значення струмів коротких замикань і коректно вибирати компоненти електричної мережі.

Розрахунковим видом КЗ для вибору електроустаткування є трифазне коротке замикання. При визначенні значень струмів КЗ у даній роботі не враховується наступне:

- зсув по фазі ЕРС та зміна частоти обертання роторів синхронних машин;
- струм намагнічування систем генераторів, трансформаторів та електродвигунів;

- насичення магнітних систем генераторів, трансформаторів та електродвигунів;

- емнісна провідність повітряних та кабельних ліній;
- відмінність значень надперехідних опорів по поздовжній та поперечній осях синхронних машин;
- можлива несиметрія трифазної системи;
- вплив нерухомого навантаження на струми КЗ;

Прийняті допущення дають можливість зробити розрахунок з похибкою, яка не виходить за допустимі межі 10 %. Крім того, у високовольтних мережах не враховуються активні опори елементів. Схема для розрахунку струмів КЗ показана на рис. 10.1, схема заміщення – рис. 10.1.

Розрахунок струмів КЗ у мережах системи електропостачання заводу виконаємо у відносних одиницях з використанням шкали середніх значень напруг. Приймаємо базисну потужність $S_{\sigma} = S_k = 3000$ МВА. За базисну напругу приймаємо середню експлуатаційну напругу того ступеня, де визначається струм КЗ: $U_{\sigma 1} = 230$ кВ – напруга ВН трансформатора; $U_{\sigma 2} = 11$ кВ – напруга ПН трансформатора.

Послідовність розрахунку струмів КЗ наступна. По-перше, обчислюються значення базисних струмів за формулою:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} \quad (10.1)$$

У даному випадку для точок К1 і К2 отримуємо

$$I_{\sigma 1} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 230} = 7,53 \text{ кА};$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 11} = 157,48 \text{ кА}.$$

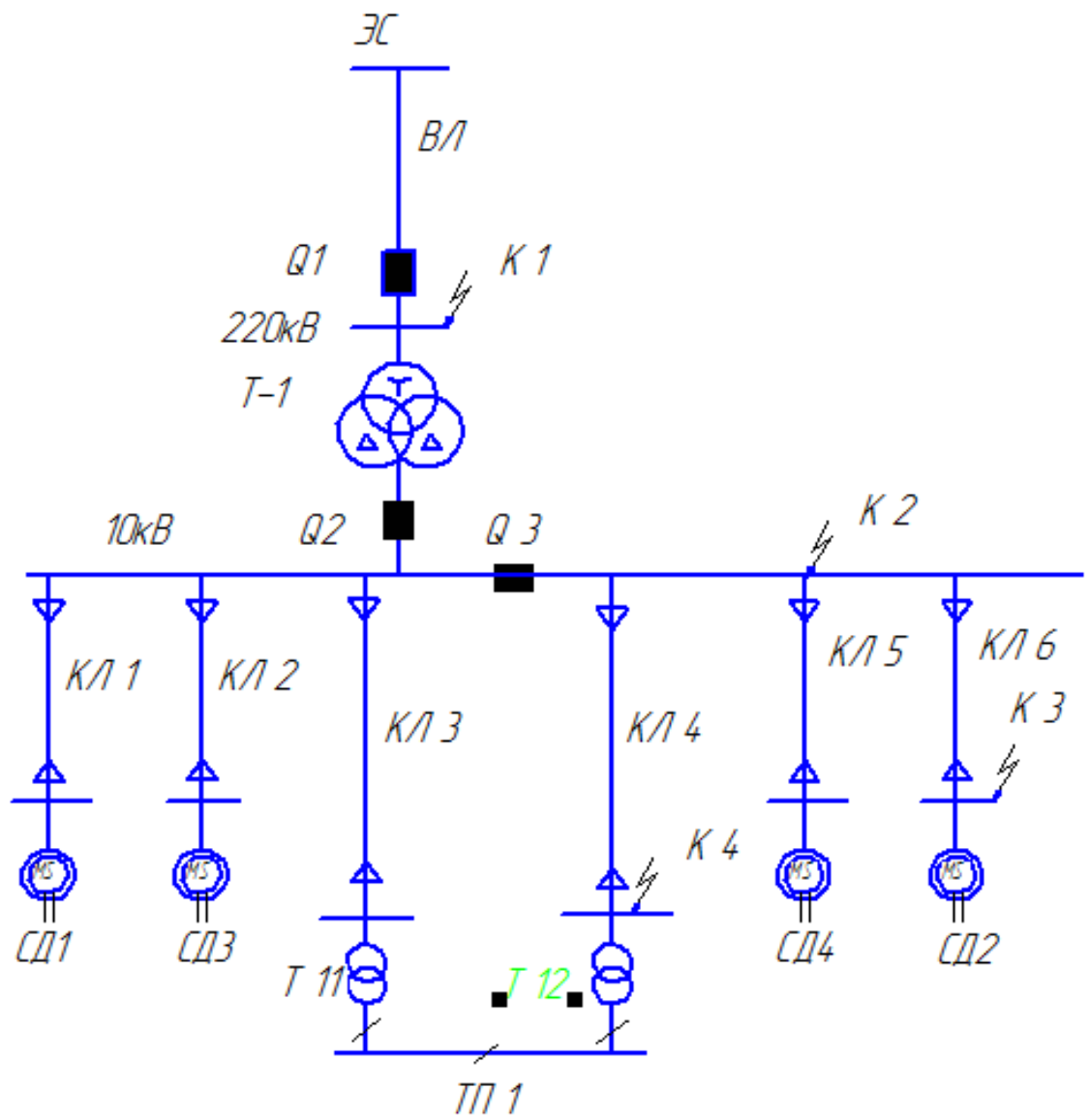


Рис. 10.1 Розрахункова схема для струмів КЗ

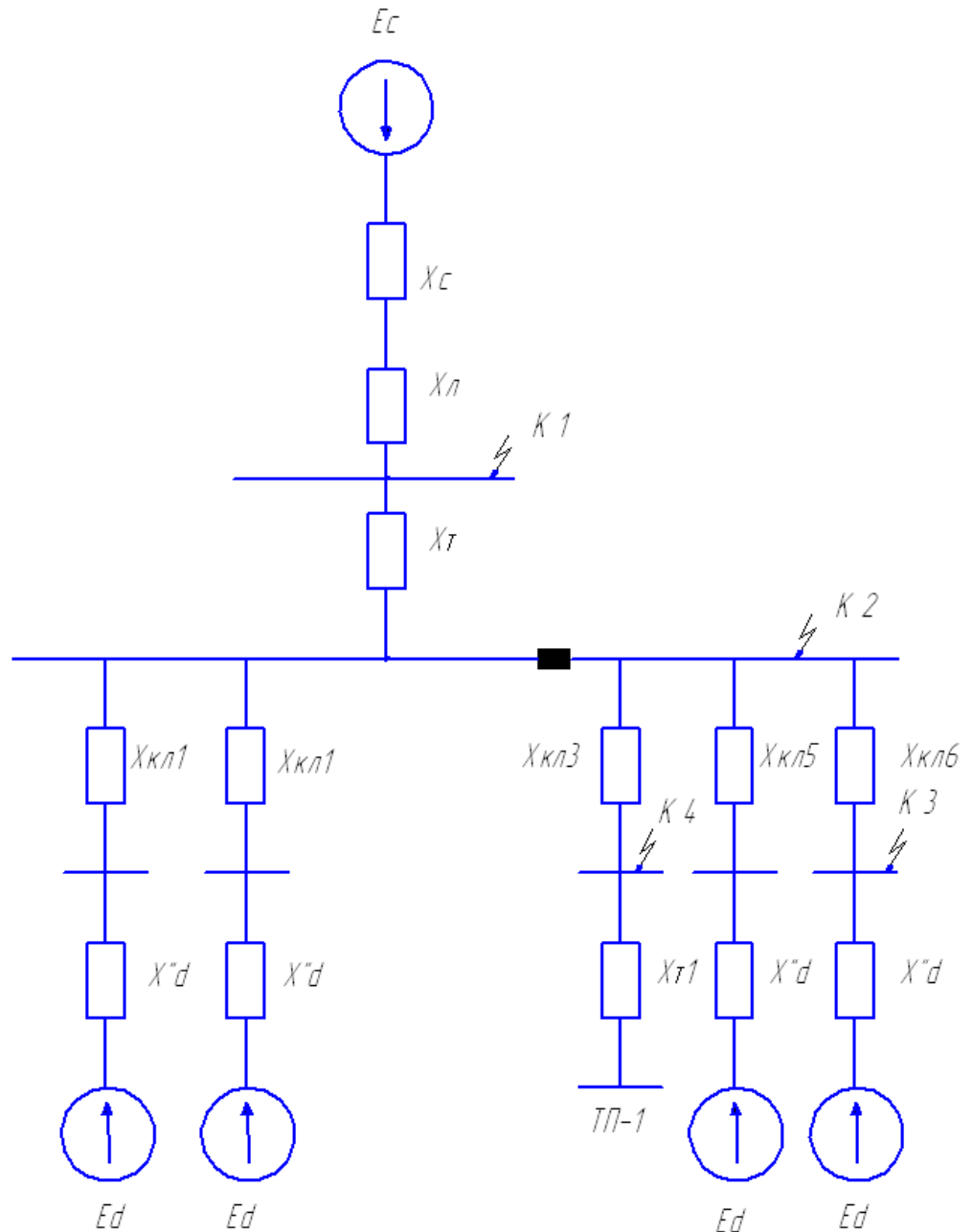


Рис. 10.2. Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ

Далі у відносних одиницях розраховуються опори елементів системи. Відповідно до схеми заміщення (рис. 10.2) обчислюються наступні опори.

1. Опір системи:

$$x_c = \frac{S_{\sigma}}{S_k} = \frac{3000}{3000} = 1 \text{ в.о.} \quad (10.2)$$

2. Опір повітряної лінії:

$$x_l = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 20 \cdot \frac{3000}{230^2} = 0,45 \text{ в.о.}, \quad (10.3)$$

де L – довжина лінії, км; x_0 – питомий опір лінії, Ом/км.

3. Опір обмотки високої напруги трансформатора:

$$x_{m.в} = 0,125 \cdot \frac{u_{к(в-н)} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{m.ном}} = 0,125 \cdot \frac{12 \cdot 3000}{100 \cdot 40} = 1,125 \text{ в.о.}, \quad (10.4)$$

де u_k – напруга короткого замикання трансформатора, %; $S_{m.ном}$ – номінальна потужність трансформатора, МВА.

4. Опір обмотки низької напруги трансформатора:

$$x_{m.н} = 1,75 \cdot \frac{u_{к(в-н)} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{m.ном}} = 1,75 \cdot \frac{12 \cdot 3000}{100 \cdot 40} = 15,75 \text{ в.о.} \quad (10.5)$$

5. Загальний опір трансформатора:

$$x_m = x_{m.в} + x_{m.н} = 1,125 + 15,75 = 16,875 \text{ в.о.} \quad (10.6)$$

6. Опір кабельних ліній від ГПП до високовольтних двигунів СД за формулою (10.3):

$$x_{кл} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}}^2} \text{ в.о.},$$

$$x_{кл1,6} = 0,082 \cdot 0,2 \cdot \frac{3000}{11^2} = 0,4 \text{ в.о.}; \quad x_{кл2,5} = 0,086 \cdot 0,2 \cdot \frac{3000}{11^2} = 0,42 \text{ в.о.}$$

7. Опір кабельних ліній від ГПП до ТП-1:

$$x_{кл3,4} = 0,08 \cdot 0,8 \cdot \frac{3000}{11^2} = 1,58 \text{ в.о.}$$

На наступному етапі обчислюються початкові значення періодичної складової струмів КЗ за формулою:

$$I_{noi} = \frac{E_{\Sigma i}}{x_{\Sigma i}} \cdot I_{\bar{\sigma} i}, \quad (10.7)$$

де $x_{\Sigma i}$ – сумарний опір до точки КЗ, в.о.

$E_{\Sigma i}$ – сумарна ЕРС джерел живлення, в.о.

Для точки К1:

$$x_{\Sigma 1} = x_c + x_l = 1 + 0,45 = 1,45 \text{ в.о.};$$

$$I_{no1} = \frac{1}{1,45} \cdot 7,53 = 5,19 \text{ кА.}$$

Для точки К2:

$$x_{\Sigma 2} = x_{\Sigma 1} + x_m = 1,45 + 16,875 = 18,325 \text{ в.о.};$$

$$I_{no2} = \frac{1}{18,325} \cdot 157,48 = 8,59 \text{ кА.}$$

За наявності високовольтних електродвигунів для точки К2 слід враховувати струм підживлення від них.

Для точки К3:

$$x_{\Sigma 3} = x_{\Sigma 2} + x_{кл6} = 18,325 + 0,4 = 18,725 \text{ в.о.}$$

Початкове значення періодичної складової струму К3 для точки К3 без урахування підживлення від електродвигунів

$$I_{no3} = \frac{1}{18,725} \cdot 157,48 = 8,41 \text{ кА.}$$

Для точки К4:

$$x_{\Sigma 4} = x_{\Sigma 2} + x_{кл4} = 18,325 + 1,58 = 19,905 \text{ в.о.}$$

Початкове значення періодичної складової струму К3 для точки К4 без урахування підживлення від електродвигунів

$$I_{no4} = \frac{1}{19,905} \cdot 157,48 = 9,91 \text{ кА.}$$

На заключному етапі розрахунку струмів визначаються значення ударних струмів К3 за наступною формулою:

$$i_{yi} = \sqrt{2} \cdot I_{noi} \cdot K_{yi}, \quad (10.8)$$

Де значення ударного коефіцієнта K_y наводяться в довідниках.

- для точки К1:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 5,19 \cdot 1,8 = 13,21 \text{ кА};$$

- для точки К2:

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 8,59 \cdot 1,92 = 23,32 \text{ кА};$$

- для точки К3:

$$i_{y3} = \sqrt{2} \cdot 8,41 \cdot 1,8 = 21,4 \text{ кА};$$

- для точки К4:

$$i_{y4} = \sqrt{2} \cdot 9,91 \cdot 1,7 = 23,82 \text{ кА}.$$

При виборі високовольтних вимикачів необхідно знати значення аперіодичної складової струму КЗ в момент початку розходження дугогасних контактів вимикачів. Розрахунок цього значення проводиться за формулою:

$$i_{ai} = \sqrt{2} \cdot I_{noi} \cdot e^{\frac{t_0}{T_{ai}}}, \quad (10.9)$$

де T_a – постійна часу загасання аперіодичного складової струму КЗ, значення якої наводяться в довідниках, t_0 – усереднене значення власного часу відключення вимикача (для сучасних вимикачів біля 0,01 с).

- для точки К1:

$$i_{at1} = \sqrt{2} \cdot 5,19 \cdot e^{\frac{0,01}{0,05}} = 6,01 \text{ кА};$$

- для точки К2:

$$i_{at2} = \sqrt{2} \cdot 8,59 \cdot e^{\frac{0,01}{0,12}} = 11,1 \text{ кА};$$

- для точки К3:

$$i_{at3} = \sqrt{2} \cdot 8,41 \cdot e^{\frac{0,01}{0,05}} = 9,74 \text{ кА};$$

- для точки К4:

$$i_{at4} = \sqrt{2} \cdot 9,91 \cdot e^{\frac{0,01}{0,03}} = 10,8 \text{ кА};$$

Ступінь термічної дії теплового імпульсу струму КЗ на провідники та електричні апарати визначається за допомогою інтегралу Джоуля:

$$B_{ki} = \int_0^{t_{відкл}} i_{K3i}^2 dt, \quad (10.10)$$

де i_{k3} – струм короткого замикання; $t_{відкл}$ – розрахунковий час КЗ.

Оцінити значення цього інтарвалу можна, скориставшись формулою:

$$B_{ki} = I_{noi}^2 \cdot (t_{відкл} + T_{ai}), \quad (10.11)$$

Розрахунок за нею дає такі приблизні значення інтеграла Джоуля:

- для точки К1:

$$B_{\kappa 1} = 5,19^2 \cdot (0,17 + 0,05) = 5,92 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- для точки К2:

$$B_{\kappa 2} = 8,59^2 \cdot (1,2 + 0,12) = 97,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- для точки К3:

$$B_{\kappa 3} = 8,41^2 \cdot (1,2 + 0,05) = 88,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- для точки К4:

$$B_{\kappa 4} = 9,91^2 \cdot (1,2 + 0,03) = 120,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Врахування впливу струму К3 синхронних двигунів

До розподільчого пристрою 10 кВ підключено два СД потужністю 630 кВт (при розімкненому секційному вимикачі).

Визначаємо номінальний струм двигуна

$$I_n = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} \text{ А}, \quad (10.13)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність електродвигуна, кВт, $U_{ном}$ – номінальна напруга електродвигуна, кВ, $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності, η – ККД.

$$I_{н630} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9 \cdot 0,932} = 43,38 \text{ А}.$$

Струм короткого замикання від СД визначається за формулою:

$$I_{ноДВ} = \frac{1}{X_{\delta в}} \cdot \sum_{i=1}^n I_{ном.ДВ} = \frac{1}{0,15} \cdot 2 \cdot 43,38 = 0,6 \text{ кА}, \quad (10.13)$$

де $X_{\delta в}$ – початковий надперехідний опір двигуна, $X_{\delta в} = \frac{1}{K_n} = \frac{1}{6,5} = 0,15$;

K_n – кратність пускового струму двигуна.

Отримані раніше значення розрахунку струмів К3, з урахуванням підживлення від синхронних двигунів в точках К2, К3 та К4, зводимо в табл. 10.1.

Таблиця 10.1

Результати розрахунку струмів короткого замикання

Розрахункова точка КЗ	$I_{н.о}$ кА	i_y кА	$i_{a.б}$ кА	$B_{к}$ кА ² ·с
К1	5,19	13,21	6,01	5,92
К2	9,19	23,4	11,9	111,5
К3	9,01	21,5	10,4	101,5
К4	10,51	25,3	11,5	135,9

11. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ

11.1. Вибір обладнання розподільчого пристрою 220 кВ

Апарати та провідники системи електропостачання повинні мати достатню міцність ізоляції для надійної роботи в тривалому режимі та при короткочасових перенапругах; витримувати нагрівання струмами тривалих режимів; мати стійкість до струмів короткого замикання і механічну міцність. При їх виборі має аналізуватися техніко-економічна доцільність. У табл. 10.1 наведено умови та результати вибору високовольтних апаратів для відкритого розподільчого пристрою (ВРП) 220 кВ, що відповідають вищезазначеним вимогам. Апарати вибрано з урахуванням розрахункових значень струму КЗ (табл. 10.1).

У табл. 11.1 прийнято такі позначення: $U_{ном}$ – номінальне значення напруги апарата; $U_{мер}$ – номінальне значення напруги мережі; $I_{ном}$ – номінальне значення струму апарата; $I_{макс}$ – максимальне значення струму післяаварійного режиму ланцюга, у якому встановлено апарат; $I_{відк}$ – номінальний струм відключення (відключаюча здатність апарату); $i_{дин}$ – струм електродинамічної стійкості апарату; $I_{мс}$, $t_{мс}$ – струм і час термічної стійкості апарату.

Максимальне значення струму в післяаварійному режимі для комутаційних апаратів первинного кола силового трансформатора визначається формулою:

$$I_{\max} = \frac{S_{\text{т.ном}} \cdot k_n}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{40000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 220} = 147 \text{ А}, \quad (11.1)$$

де $S_{\text{т.ном}}$ – номінальна потужність трансформатора; $k_n = 1,4$ – допустимий коефіцієнт перевантаження трансформатора.

Таблиця 11.1

Зведена таблиця по вибору апаратів ВРП-220 кВ

Тип обладнання	Умова вибору	Розрахункові величини	Довідникові величини	Перевірка умови
Вимикач ВГТ-220П* - 40/2500 УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мер}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$ $I_{\text{відк.}} \geq I_{\text{но}}$ $i_{\text{дин}} \geq i_y$ $I_{\text{тс}} \cdot t_{\text{тс}} \geq B_k$	$U_{\text{мер}} = 220 \text{ кВ}$ $I_{\text{макс}} = 147 \text{ А}$ $I_{\text{но}} = 5,19 \text{ кА}$ $i_y = 13,21 \text{ кА}$ $B_k = 5,92 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$ $I_{\text{отк.}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА}$ $I_{\text{тс}}^2 \cdot t_{\text{тс}} = 25^2 \cdot 3 =$ $= 1875 \text{ кА}^2\text{с}$	$220 \text{ кВ} = 220 \text{ кВ}$ $2500 \text{ А} > 147 \text{ А}$ $40 \text{ кА} > 5,19 \text{ кА}$ $102 \text{ кА} > 13,21 \text{ кА}$ $1875 \text{ кА}^2\text{с} > 5,92 \text{ кА}^2\text{с}$
Роз'єднувач РГ-2-220/1000 УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мер}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$ $i_{\text{дин}} \geq i_y$ $I_{\text{тс}} \cdot t_{\text{тс}} \geq B_k$	$U_{\text{мер}} = 220 \text{ кВ}$ $I_{\text{макс}} = 147 \text{ А}$ $i_y = 13,21 \text{ кА}$ $B_k = 5,92 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$ $i_{\text{дин}} = 120 \text{ кА}$ $I_{\text{тс}}^2 \cdot t_{\text{тс}} = 31,5^2 \cdot 3 =$ $= 2977 \text{ кА}^2\text{с}$	$220 \text{ кВ} = 220 \text{ кВ}$ $1000 \text{ А} > 147 \text{ А}$ $120 \text{ кА} > 13,21 \text{ кА}$ $2977 \text{ кА}^2\text{с} > 5,92 \text{ кА}^2\text{с}$
Роз'єднувач РГ-1-220/1000 УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мер}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$ $i_{\text{дин}} \geq i_y$ $I_{\text{тс}} \cdot t_{\text{тс}} \geq B_k$	$U_{\text{мер}} = 220 \text{ кВ}$ $I_{\text{макс}} = 147 \text{ А}$ $i_y = 13,21 \text{ кА}$ $B_k = 5,92 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$ $i_{\text{дин}} = 120 \text{ кА}$ $I_{\text{тс}}^2 \cdot t_{\text{тс}} = 31,5^2 \cdot 3 =$ $= 2977 \text{ кА}^2\text{с}$	$220 \text{ кВ} = 220 \text{ кВ}$ $1000 \text{ А} > 147 \text{ А}$ $120 \text{ кА} > 13,21 \text{ кА}$ $2977 \text{ кА}^2\text{с} > 5,92 \text{ кА}^2\text{с}$
Обмежувач перенапруги ОПН-П/ЗЭУ- 220/146/2 УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мер}}$	$U_{\text{мер}} = 220 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$	$220 \text{ кВ} = 220 \text{ кВ}$
Заземлювач нейтралі ЗРП-220 П УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мер}}$	$U_{\text{мер}} = 220 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$	$220 \text{ кВ} = 220 \text{ кВ}$

Маркування вибраних комутаційних апаратів розшифровується так:

- **високовольтний вимикач ВГТ-220П* -40/2500 УХЛ1:** ВГ – вимикач елегазовий; Т – конструктивне виконання; 220 – номінальне значення напруги, кВ; 40 – номінальний струм відключення, кА; 2500 – номінальне значення струму, А; УХЛ1 – кліматичне виконання та категорія розміщення.
- **роз'єднувач РГ-2-220/1000УХЛ1:** РГ – роз'єднувач горизонтально поворотний; 2 – кількість заземлювачів; 220 – номінальне значення напруги,

кВ; 1000 номінальне значення струму, А; УХЛ1 – кліматичне виконання та категорія розміщення.

При виборі інших апаратів ВРП-220 кВ слід враховувати особливості їх маркування:

- **О П Н – Х Х / Х / Х У Х Л 1**: О П Н – обмежувач перенапруги нелінійний; Х Х – тип обмежувача; Х – клас напруги мережі; Х – найбільша тривало допустима робоча напруга; У Х Л 1 – кліматичне виконання.
- **ТВТ-(*)-(**)-(***)-(****)**: ТВТ – трансформатор струму вбудований у вимикач; (*) – клас напругияження; (**) – категорія довжини шляху витікання зовнішньої ізоляції; (***) – клас точності; (****) – кліматичне виконання.
- **ТФЗМ-(*)-(**)**: Т – трансформатор струму; Ф – фарфорова ізоляція між первинною та вторинною обмотками; З – має сердечник у спеціальному виконанні для захисту від замикань на землю; М – модернізований; (*) – клас напруги; (**) – кліматичне виконання та категорія розміщення.
- **Заземлювач нейтралі ЗРП-220 П УХЛ1**: З – заземлювач; Р – рублячого типу; П – полімерна ізоляція і фарфорова ізоляція; П – ступінь забруднення ізоляції.

11.2. Вибір обладнання розподільчого пристрою 10 кВ

Закритий розподільний пристрій (ЗРП-10 кВ) здійснює прийом та розподіл електричної енергії трифазного змінного струму в мережі підприємства з номінальною напругою 10 кВ. ЗРП доцільно укомплектувати сучасними комірками типу К-104М із вакуумними вимикачами ВВ/TEL-10. Їх застосування дозволяє скоротити час, потрібний на проектування, монтаж та налагодження розподільчого пристрою.

Вихідні дані для вибору обладнання 10 кВ:

- Напруга мережі $U_{мер} = 10$ кВ;
- Періодична складова струму КЗ: $I_{по} = 8,59$ кА (табл. 10.1);
- Ударний струм $i_y = 23,32$ кА (табл. 10.1);
- Тепловий імпульс струму $B_k = 124,7$ кА²·с (табл. 10.1).

Крім того, для вибору обладнання необхідно розрахувати максимальні струми тривалого післяаварійного режиму електрообладнання. Струм для комірки лінії, що відходить до ТП №1 розраховується за формулою (11.1):

$$I_{\text{максТП1}} = \frac{S_{\text{т.ном}} \cdot k_n}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{3150 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 10} = 254,6 \text{ А,}$$

де $S_{\text{т.ном}}$ – номінальна потужність трансформатора ТП, кВ·А; $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга мережі на стороні ВН, кВ.

Струм для комірок відхідних ліній до високовольтних електродвигунів, за формулою:

$$I_{2,3,4,5\text{макс}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9 \cdot 0,932} = 43,38 \text{ А,} \quad (11.2)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електродвигуна, кВт, $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга електродвигуна, кВ, $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності, η – ККД.

Струм для ввідних комірок ЗРП 10 кВ:

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot \frac{40000}{2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1616,62 \text{ А.}$$

Секційна комірка розраховується на 50 % від струму ввідної комірки:

$$I_{\text{макс}} = \frac{1616,62}{2} = 808,31 \text{ А.}$$

Умови та результати вибору апаратів ЗРП 10 кВ, представлені в табл. 11.2.

Зведена таблиця по вибору апаратів ЗРП-10 кВ

Тип обладнання	Умова вибору	Розрахункові величини	Довідникові величини	Перевірка умови
1	2	3	4	5
Ввідний вимика ВВ/TEL-10-20/2000УХЛ2	$U_{ном} \geq U_{мер}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_y$ $I_{тс} \cdot t_{тс} \geq B_k$	$U_{мер} = 10$ кВ $I_{макс} = 1616,6$ А $I_{по} = 8,59$ кА $i_y = 23,32$ кА $B_k = 124,7$ кА ² с	$U_{ном} = 10$ кВ $I_{ном} = 2000$ А $I_{отк} = 21$ кА $i_{дин} = 54$ кА $I_{тс}^2 \cdot t_{тс} = 1200$ кА ² с	10 кВ = 10 кВ 2000 А > $1616,6$ А 21 кА > $8,59$ кА 54 кА > $23,32$ кА 1200 кА ² с > $124,7$ кА ² с
Секційний вимикач ВВ/TEL-10-20/1000УХЛ2	$U_{ном} \geq U_{мер}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_y$ $I_{тс} \cdot t_{тс} \geq B_k$	$U_{мер} = 10$ кВ $I_{макс} = 808,31$ А $I_{по} = 8,59$ кА $i_{уд} = 23,32$ кА $B_k = 124,7$ кА ² с	$U_{ном} = 10$ кВ $I_{ном} = 1000$ А $I_{отк} = 20$ кА $i_{дин} = 51$ кА $I_{тс}^2 \cdot t_{тс} = 1200$ кА ² с	10 кВ = 10 кВ 1000 А > $808,31$ А 20 кА > $8,59$ кА 51 кА > $23,32$ кА 1200 кА ² с > $124,7$ кА ² с
Вимикачі ВВ/TEL-10-20/630УХЛ2 відхідних ліній до двигунів	$U_{ном} \geq U_{мер}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_y$ $I_{тс} \cdot t_{тс} \geq B_k$	$U_{мер} = 10$ кВ $I_{макс} = 43,38$ А $I_{по} = 8,59$ кА $i_y = 23,32$ кА $B_k = 124,7$ кА ² с	$U_{ном} = 10$ кВ $I_{ном} = 630$ А $I_{отк} = 20$ кА $i_{дин} = 51$ кА $I_{тс}^2 \cdot t_{тс} = 1200$ кА ² с	10 кВ = 10 кВ 630 А > $43,38$ А 20 кА > $8,59$ кА 51 кА > $23,32$ кА 1200 кА ² с > $124,7$ кА ² с
Вимикач ВВ/TEL-10-20/630УХЛ2 відхідних ліній до ТП-1	$U_{ном} \geq U_{мер}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_y$ $I_{тс} \cdot t_{тс} \geq B_k$	$U_{мер} = 10$ кВ $I_{макс} = 254,61$ А $I_{по} = 8,59$ кА $i_y = 23,32$ кА $B_k = 124,7$ кА ² с	$U_{ном} = 10$ кВ $I_{ном} = 630$ А $I_{отк.в} = 20$ кА $i_{дин} = 51$ кА $I_{тс}^2 \cdot t_{тс} = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² с	10 кВ = 10 кВ 630 А > $254,61$ А 20 кА > $8,59$ кА 51 кА > $23,32$ кА 1200 кА ² с > $124,7$ кА ² с
Обмежувач перенапруги ОПН-КР/TEL-10УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{мер}$	$U_{мер} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ	10 кВ = 10 кВ

11.3. Вибір обладнання цеху холодної прокатки №1

Вибір шинопроводів цеху холодної прокатки №1

Шинопроводи вибираються за номінальною напругою та номінальним струмом $I_{ном.ш}$, причому:

$$I_{ном.ш} \geq I_{р.ф} \geq I_{р.мах}, \quad (11.3)$$

де $I_{р.мах}$ – робочий максимальний струм; $I_{р.ф}$ – розрахунковий струм форсованого (післяварійного) режиму.

Визначаються розрахункові струми:

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (11.4)$$

де n – кількість шинопроводів.

$$I_p = \frac{1233,58}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,4} = 1787,8 \text{ А};$$

$$I_p = \frac{2529,5}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,4} = 3655,34 \text{ А}.$$

Для ШМА 1 вибираються прямокутні алюмінієві шини КТА-40 (160×20) з допустимим струмом $I_{дон} = 4000$ А. Дані щодо вибору перерізів шин живлення споживачів цеху холодної прокатки зведено до табл. 11.3.

Таблиця 11.3

Вибір шинопроводів

№ п/п	ШИНИ	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ·А	I_p , А	S , мм ²	$I_{доп}$, А
1	ШМА 1	520+295+420+ 457,5+244,95	332+315,76+369,6+ 407,7+160,16	617,37+432,67+559,46 + 627,21+292,79	3655,34	160x20	4000
2	ШМА 2	733+583+653	669,13+443+511,71	995,11+732,27+830,37	3706,88	160x20	4000

Розташування обладнання у цеху холодної прокатки № 1 виконано згідно технологічного процесу, що відбувається в ньому. Все електрообладнання цеху розраховане на змінний трифазний струм та напругу 380 В промислової частоти. Навколишнє середовище у цеху нормальне. Розташування приймачів стаціонарне, нерівномірне, тому електропостачання виконується комплектними магістральними шинопроводами типу ШМА та силовими розподільчими пунктами.

Для прийому та розподілу електроенергії до груп споживачів трифазного змінного струму промислової частоти напругою 380 В застосовують силові розподільчі шкафи та пункти. Мікроклімат у цеху нормальний, тобто температура не перевищує +30 °С, відсутній технологічний пил, газу та пари, що здатні впливати на нормальну роботу електроустаткування.

Для цехів з нормальними умовами навколишнього середовища виготовляють шкафи серії СП-62, ШРС-2П1У3, ШРС-53У3 та ШРС-54У3. Поряд із зазначеними силовими шкафами застосовують розподільчі пункти серії ПР-9000. У розподільчі пункти вбудовано автоматичні вимикачі для автоматизації керування. Силові пункти і шкафи вибирають з урахуванням умов повітряного середовища та числа приймачів електроенергії, що до них підключаються. Для кабелю від трансформатора Т30, Т31 до ШРА 1,2 розподільчого пристрою вибираємо автоматичний вимикач серії ВА 75-47.

Вимикачі серії ВА призначені для підведення електричного струму в нормальному режимі та відключення струму при коротких замиканнях, перевантаженнях та недопустимих зниженнях напруги, а також для нечастих (епізодичних до 6 разів на добу) оперативних включень та відключень електричних кіл та розраховані для експлуатації в електроустановках з номінальною напругою до 440 В постійного струму та напругою до 660 В змінного струму частотою 50 і 60 Гц.

Загальні характеристики автоматичних вимикачів серії ВА 75-47:

- Номінальна напруга електричного кола: до 660 В змінного струму частотою 50-60 Гц; до 440 В постійного струму;
- Номінальний струм теплового розщеплювача – регулюється ступенями (0,63-0,8-1,0 від номінального струму автоматичного вимикача);
- номінальний струм автоматичного вимикача – 4000 А;
- Ступінь захисту вимикача – IP20.

Автоматичний вимикач можна розраховувати двома методами: за силою струму споживачів або за перерізом проводки, що використовується.

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} - \text{для трифазних споживачів};$$

$$I_p = \frac{P_p}{U_{ном}} - \text{для однофазних споживачів}.$$

Дані по вибору автоматичних вимикачів наведено в табл. 11.4.

Вибір автоматичних вимикачів

№	Назва обладнання	Тип автомату	I _p , А	I _{ном.розщ.} , А
1	Конвеєр гарячекатаних рулонів	ВА 55-43 344710	1625	2000
2	Безперервний травильний агрегат	ВА55-41 (344750)	875	1000
3	П'ятиклітьовий стан нескінченної прокатки	ВА55-41 (344750)	1000	1000
4	Дресирувальний стан травлених гарячекатаних смуг	ВА55-41 (344750)	750	1000
5	Ковпакові відпалювальні печі	ВА55-43 344750	1500	1600
6	Ковпакові печі для відпалу розпушених рулонів	ВА 55-43 344710	1625	2000
7	Агрегат для розпушування рулонів перед відпалом	ВА 5139 630	575	630
8	Одноклітьовий дресирувальний стан 2030	ВА 5139 630	625	630
9	Агрегати повздовжнього різання з лініями упаковки	ВА04-36 340010	350	400
10	Агрегати поперечного різання	ВА0436 340010	200	200
11	Агрегати повздовжнього різання	ВА 0436 340010	200	200
12	Агрегати упаковки	ВА57-39 340010-20	375	400
13	Агрегат електролітичного очищення	ВА 5139 630	575	630
14	Агрегат безперервного відпалу	ВА57-39 340010-20	450	500
15	Агрегат гарячого цинкування	ВА57-39 340010-20	400	400
16	Агрегат електролітичного цинкування	ВА57-39 340010-20	450	500
17	Агрегат покриття полімерною плівкою	ВА 0436 340010	162,5	200
18	Передавальний візок вантажопідйомністю 80 т	ABB 1-полюсний S201 C32	21,25	32
19	Ножиці	SH201LC10	6,25	10
20	Ножиці для вирізки проб	SH201LC10	5,5	10
21	Ваги	SH201LC20	18,75	20

11.4. Вибір силових пунктів

Силові пункти і шкафи вибираються з урахуванням числа приймачів електроенергії, що підключаються до силового пункту та їх розрахункового навантаження (розрахунковий струм групи електроприймачів, що

підключаються до силового пункту, повинен бути не більше номінального струму пункту).

Електроприймачі підключаються безпосередньо до силового пункту за допомогою кабелів або проводів, прокладених у трубах, коробах чи металорукавах.

Приєднання силових пунктів до магістрального шинопроводу здійснюється кабельною перемичкою, що з'єднує ввідний автомат пункту з відгалужувальною секцією ШМА.

Розташування приймачів на ділянках стаціонарне та нерівномірне, тому схема електропостачання виконується із застосуванням силових розподільчих пунктів типу ПР-9332.

12. ПЕРЕВІРКА ВИБРАНИХ ПЕРЕРІЗІВ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПРОВІДНИКІВ ДО ДІЇ СТРУМІВ КЗ

На заключному етапі проводиться перевірка теплової дії струму КЗ. Для цього розраховується мінімально допустимий за термічним впливом переріз провідників.

$$F_{\text{мін}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} \quad (12.1)$$

де $B_{\text{к}}$ – тепловий імпульс, береться із табл. 10.1; C – значення теплової константи, приймаємо $C = 95 \text{ А} \cdot \text{с}^{0,5} / \text{мм}^2$.

Для повітряних ліній електропередачі

$$F_{\text{мін}} = \frac{\sqrt{5,92 \cdot 10^6}}{95} = 25,6 \text{ мм}^2.$$

Отже вибраний нами переріз повітряної лінії 150 мм^2 задовільняє умові термічної стійкості.

Для кабельних ліній 10 кВ:

$$F_{\text{мін}} = \frac{\sqrt{135,9 \cdot 10^6}}{95} = 122,7 \text{ мм}^2.$$

Отже, до встановлення приймаємо кабельні лінії NA2XS(F)2Y 6/10kV з алюмінієвими жилами, номінальним перерізом жили 1x150RM/16 з $I_{\text{доп}}=315\text{A}$.

13. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА

13.1. Обсяг релейного захисту на ГПП

Необхідний обсяг засобів захисту й автоматики вибираємо відповідно до вимог. Пристрої РЗ силових трансформаторів передбачаємо для наступних видів пошкоджень і ненормальних режимів роботи:

1. Багатофазні замикання в обмотках і на виводах;
2. Однофазні замикання на землю й на виводах;
3. Виткові замикання в обмотках, обумовлених зовнішнім КЗ і перевантаженням;
4. Підвищення рівня масла;
5. Однофазні замикання на землю й на виводах у мережах 6 кВ, якщо трансформатор живить мережа, у якій відключення однофазних замикань на землю необхідно по вимогах безпеки (струм замикання на землю перевищує 30 А).

На трансформаторах ГПП обсяг РЗ відповідно до ПУЕ приймаємо наступний:

1. ПДЗ (від внутрішніх пошкоджень);
2. МСЗ (від наскрізних струмів КЗ);
3. Газовий захист (від внутрішніх пошкоджень і перевантаження);
4. МСЗ на окремих обмотках 10 кВ;
5. Захист від перевантаження;
6. Захист від ОКЗ на стороні 220 кВ;
7. Термосигналізація при підвищенні температури масла у верхніх шарах.

Трансформатори КТП окремого захисту не мають. Виконано загальний захист для трансформатора й КЛ, що живлять трансформатор. Приймаємо наступні види захистів:

1. Струмова відсічка;
2. МСЗ.

Для СД передбачається пристрої захисту, що діють при багатofазних КЗ на виводах і в обмотках статора; перевантаженнях, викликаних технологічними причинами; зникненні або тривалому зниженні напруги; від ОКЗ на землю.

Відповідно до ПУЕ для захисту СД потужністю 1600 кВт застосовуємо наступні види захистів:

1. ПДЗ;
2. МСЗ;
3. Захист від асинхронного ходу;
4. Захист від ОКЗ;
5. Захист від мінімальної напруги.

13.2. Перелік засобів автоматики ГПП

РЗ, автоматику, сигналізацію ГПП виконуємо на постійному струмі з використанням комплектних випрямних пристроїв УКПК. Для живлення ЦС використовується БПНС-2ВЗ, вихідна напруга – 220 В.

На ГПП виконуємо наступні автоматичні пристрої:

1. АВР секцій;
2. Автоматичне керування пристроєм РПН на силових трансформаторах;
3. Автоматичне керування обдуванням трансформаторів;
4. АЧР;
5. Автоматичні осцилографи для запису аварійних відключень силових трансформаторів.

13.3. Телекерування й телесигналізація

Засоби телекерування й телесигналізації повинні застосовуватися для диспетчерського керування територіально-розметаними електроустановками, зв'язаними загальним режимом роботи, і їхнього контролю. Обов'язковою

умовою застосування засобів є наявність техніко-економічної доцільності (підвищення ефективності диспетчерського керування, економічності й надійності керування, відмова від постійного чергового персоналу).

ГПП проектуємо без постійного оперативного персоналу. Вибір засобів телекерування й телесигналізації проводимо відповідно до ПУЕ.

Телевимірювання на вводах (струми й напруги) і на секціях ГПП.

Телеконтроль температури масла трансформаторів ГПП.

Встановлюємо пристрої телекерування й телесигналізації положення вимикачів вводу і секційних. Передбачаємо передачу аварійних і попереджувальних сигналів на диспетчерський пульт.

13.4. Розрахунок уставок релейного захисту

13.4.1. Види пошкоджень СД, вибір ТС

Основними видами пошкоджень синхронних електродвигунів є:

- багатофазні КЗ в обмотках статора;
- однофазні замикання обмотки статора на землю;
- подвійні замикання на землю (одна точка – у мережі, а інша – в одній з фаз статорної обмотки);
- замикання частини витків в одній фазі обмотки статора;
- обрив кола збудження;
- замикання на землю ланцюга збудження.

Захист електродвигунів необхідно виконувати найбільш простіший і надійний, що особливо важливо для двигунів напругою понад 6 кВ, оскільки відмова основного захисту навіть при надійній дії резервного захисту суміжного елемента може призвести до серйозних наслідків, що вимагають тривалого ремонту або повної заміни електродвигуна, а також порушенню усталеної роботи неущкодженого навантаження. Тому захист від багатофазних КЗ повинен бути обов'язково швидкодіючим з дією на відключення.

При зниженні напруги з наступним його відновленням відбувається самозапуск електродвигунів. Під самозапуском розуміється розворот до

підсинхронної частоти обертання й входження в синхронізм синхронних двигунів після відновлення живлення, відсутнього через короткочасне відключення джерела або короткочасного глибокого зниження напруги внаслідок короткого замикання на суміжних елементах мережі.

Для забезпечення самозапуску двигунів відповідальних механізмів і запобігання несинхронного включення застосовується захист від втрати живлення, у якості якого використовується, як правило, мінімальний захист напруги (доповнена часто на СД мінімальним захистом частоти із блокуванням по напрямку активної потужності). Захист діє на відключення або розбудження електродвигунів, щоб уникнути:

- несинхронного включення СД;
- повторного пуску після зупинки через тривалу (більше 1-9 с) відсутність напруги.

Ненормальним режимом синхронних двигунів (крім зазначених) є асинхронний хід, що з'являється внаслідок випадання СД із синхронізму.

При короткочасній втраті живлення з наступною дією пристроїв АПВ і АВР синхронні двигуни встигають випасти із синхронізму, оскільки повний цикл відключення - включення перевищує, як правило, 0,3-0,4 с.

З урахуванням того, що $I_{ном.СД} = 0,115 \text{ кА}$ вибираємо ТС фірми «SchneiderElectric» для ячейки *AD-1* типу *ARJP2/N2J* з наступними характеристиками (*ARJP2/N2J-10*): $U_{ном} = 10 \text{ кВ}$; $I_{ном1} = 150 \text{ А}$; $I_{ном2} = 5 \text{ А}$; $K_T = 0,5$; $I_{ном.терм.стійк.} = 40 \text{ кА (1 сек)}$; $i_{э.л.динам.стійк.} = 80 \text{ кА}$; $S_{ном2} = 10 \text{ ВА}$.

13.4.2. Розрахунок уставки поздовжнього диференціального захисту СД

1. Струм спрацьовування реле диференційного струмового захисту вибирається за умовою забезпечення відлаштування захисту від струму небалансу при прямому пуску без струмообмежувальних пристроїв з урахуванням аперіодичної складової:

$$I_{c.з.} = \varepsilon \cdot k_{відл} \cdot k_a \cdot k_{одн} \cdot k_n \cdot I_{д.ном} , \quad (13.1)$$

де k_n – кратність пускового струму;

$k_{одн}$ – коефіцієнт однотипності трансформаторів струму;

ε – похибка трансформаторів струму;

k_a – коефіцієнт, що враховує аперіодичну складову, приймається рівним

2;

$k_{відл}$ – коефіцієнт відлаштування приймається рівним 1,8.

Тоді $I_{c.з.} = 0,1 \cdot 1,8 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 6,63 \cdot 115 = 137 \text{ A}$.

2. Струм спрацьовування реле:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot K_{CX}}{K_T} . \quad (13.2)$$

Тоді $I_{c.p.} = \frac{137 \cdot 1}{30} = 4,6 \text{ A}$.

3. Чутливість захисту:

$$k_{\psi} = \frac{I_{\min}^{(2)}}{I_{c,з}} . \quad (13.3)$$

Тоді $k_{\psi} = \frac{4}{0,137} = 29 > 1,5$.

13.4.3. Розрахунок уставки захисту від однофазного КЗ

Первинний струм спрацьовування $I_{c.з.}$ захисту вибирається з умови відлаштування захисту від кидка власного ємнісного струму при зовнішнім перемищенні на землю в такий спосіб:

$$I_{c,з} \geq k_{відл} \cdot k_{кид} \cdot I_C , \quad (13.4)$$

де $k_{відл}$ – коефіцієнт відлаштування, прийнятий рівним 1,3;

$k_{кид}$ – коефіцієнт, що враховує кидок власного, ємнісного струму електродвигуна, приймається рівним 3-4.

Значення власного ємнісного струму електродвигуна визначається:

$$I_C = \frac{6\pi \cdot f \cdot C \cdot U_H}{\sqrt{3}} . \quad (13.5)$$

При відсутності даних заводу-виготовлювача значення C , $мкФ$, можна приблизно визначити як:

$$C = \frac{40^4 \sqrt{S_H^3}}{3(U_H + 3600)^3 \sqrt{n}}. \quad (13.6)$$

$$\text{Тоді } C = \frac{40^4 \sqrt{1600^3}}{3(10000 + 3600)^3 \sqrt{250}} = 0,039 \text{ мкФ};$$

$$I_C = \frac{6\pi \cdot 50 \cdot 0,039 \cdot 10^{-6} \cdot 10000}{\sqrt{3}} = 0,212 \text{ А};$$

$$I_{c,3} \geq 1,3 \cdot 3 \cdot 0,212; \quad I_{c,3} \geq 1,12 \text{ А}.$$

13.4.4. Розрахунок вставок захисту від асинхронного ходу й перевантаження

Струм спрацьовування струмового реле захисту від перевантаження:

$$I_{c,p} = \frac{k_{відл} \cdot k_{cx} \cdot I_{д.ном}}{k_6 \cdot k_T}, \quad (13.7)$$

де $k_{омс}$ – коефіцієнт відлаштування, прийнятий рівним 1,1-1,2;

k_6 – коефіцієнт повернення, прийнятий рівним 0,85.

$$\text{Тоді } I_{c,p} = \frac{1,1 \cdot 1 \cdot 115}{0,85 \cdot 30} = 4,96 \text{ А}.$$

Час спрацьовування захисту від перевантаження:

$$t_{c,3} = 1,2 \cdot t_n, \quad (13.8)$$

де t_n – час пуску СД.

$$\text{Тоді } t_{c,3} = 1,2 \cdot 15 = 18 \text{ с}.$$

Час спрацьовування захисту від асинхронного ходу: $t_{c,3} = 20 \text{ с}$.

13.4.5. Вибір устаткування для захисту СД

Захисти виконуємо на мікропроцесорних модулях серії Seram, типу Seram 2000 M20. До складу входять блоки:

- Тепловий захист;
- Максимальний струмовий захист у фазах;

- Максимальний струмовий захист на землю;
- Несиметрія/складова зворотної послідовності;
- Блокування ротора/затягнутий пуск;
- Мінімальний струмовий захист;
- Число пусків;
- Блок захисту від асинхронного ходу.

13.4.6. Види пошкоджень силового трансформатора

Для трансформаторів, що встановлюються в мережах напругою 110 кВ, повинні передбачатися пристрої релейного захисту від багатозазних коротких замикань в обмотках і на виводах, однофазних коротких замикань в обмотці й на виводах, приєднаних до мережі із глухозаземленою нейтраллю, виткових замикань в обмотках, струмів в обмотках при зовнішніх КЗ і перевантаженнях, знижень рівня масла в маслонаповнених трансформаторах і в маслонаповнених вводах трансформаторів.

1) Захист від пошкоджень всередині кожуха й від знижень рівня масла. Тип захисту - газовий, реагуючий на утворення газів, що супроводжують пшкодження всередині кожуха трансформатора, у відсіку перемикача відпайок пристрою регулювання коефіцієнта трансформації (у відсіку РПН), а також діючий при надмірному зниженні рівня масла.

2) Захист від пошкоджень на виводах і від внутрішніх пошкоджень трансформатора. Поздовжній диференційний струмовий захист, що діє без витримки часу на відключення пошкодженого трансформатора від неушкодженої частини електричної системи й інших електроустановок за допомогою вимикачів.

3) Захист від струмів зовнішніх багатозазних КЗ.

Захист призначений для відключення зовнішніх багатозазних КЗ при відмові захисту або вимикача суміжного пошкодженого елемента, а також для виконання функцій ближнього резервування стосовно основних захистів

трансформатора (диференціальної й газової). Як захист трансформатора від струмів зовнішніх КЗ використовуються:

а) струмові захисти шин секцій РУ нижчої й середньої напруг, підключених до відповідних виводів трансформатора;

б) максимальний струмовий захист із пуском напруги, встановлений на стороні високої напруги (ВН) трансформатора, що захищається.

4) Захист від струмів зовнішніх замикань на землю на стороні високої напруги.

Захист передбачається для трансформаторів із глухим заземленням нейтралі обмотки високої напруги при наявності приєднань синхронних електродвигунів з метою резервування відключення однофазного КЗ у живильній лінії вимикачами низької (або низької й середньої) напруги трансформатора. Реле максимального струму захисту підключається до трансформатора струму, вбудованому в нульовий вивід обмотки ВН трансформатора.

5) Захист від струмів перевантаження.

Тривалість спрацьовування захисту повинна бути обрана приблизно на 30% більше тривалості пуску або самозапуску електродвигунів, що одержують живлення від трансформатора, що захищається, якщо ці процеси приводять до перевантаження трансформатора.

13.4.7. Вибір ТС для силового трансформатора

Виходячи з робочих струмів трансформатора $I_{ВН} = 105 \text{ А}$ й $I_{НН} = 2,31 \text{ кА}$ вибираємо ТС ТФЗМ-220Б-III $I_{Н1} = 300 \text{ А}$; $I_{Н2} = 5 \text{ А}$; $n_T = 60$ і ТШЛ-10 $I_{Н1} = 4000 \text{ А}$; $I_{Н2} = 5 \text{ А}$; $n_T = 800$.

Перевіримо вибрані трансформатори струму. Результати перевірки показані в табл. 13.1 і табл. 13.2.

Таблиця 13.1

Перевірка трансформатора струму ТФЗМ-220 Б-III

Найменування	Параметри		Формула вибору
	по каталозі	розрахункові	
$U_{ном}, кВ$	220	220	$U_{ном} \geq U_{уст}$
$I_{ном}, А$	300	105	$I_{ном} \geq I_{роз}$
$i_{динь}, кА$	30	23,4	$i_{ном.дин.} \geq i_{роз.дин.}$

Таблиця 10.2

Перевірка трансформатора струму ТШЛ-10

Найменування	Параметри		Формула вибору
	по каталозі	розрахункові	
$U_{ном}, кВ$	10	10	$U_{ном} \geq U_{уст}$
$I_{ном}, А$	4000	2310	$I_{ном} \geq I_{роз}$
$i_{динь}, кА$	81	13,21	$i_{ном.дин.} \geq i_{роз.дин.}$

13.4.8. Визначення уставок диференціального захисту силового трансформатора ГПП

Визначимо вставки й чутливість поздовжнього диференціального захисту силового трансформатора ГПП.

Первинний струм спрацьовування захисту з умови відлаштування від кидка струму намагнічування визначимо по формулі:

$$I_{C,3} = 1,5 \cdot I_{номВН} . \quad (13.9)$$

Тоді $I_{C,3} = 1,5 \cdot 105 = 157,5 \text{ А}$.

Розрахунковий струм спрацьовування реле, приведений до сторони ВН:

$$I_{C,P} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{C,3}}{K_{IBB}} . \quad (13.10)$$

Тоді $I_{C,P} = \frac{\sqrt{3} \cdot 157,5}{60} = 4,5 \text{ А}$.

Коефіцієнт чутливості розрахуємо по формулі 13.3:

$$K_{ч} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 10,5}{157,5 \cdot 230} = 2,009 > 2 .$$

13.4.9. Розрахунок вставок захисту від зовнішніх КЗ

Зробимо розрахунок захисту від зовнішніх КЗ на стороні 220 кВ.

Визначимо струм спрацьовування захисту від зовнішніх КЗ.

$$I_{C,3} = \frac{k_O}{k_B} \cdot I_{\max}, \quad (13.11)$$

де k_O й k_B – коефіцієнти відбудування й повернення, рівні відповідно 1,2 і 0,8;

I_{\max} – найбільший струм навантаження трансформатора.

$$\text{Тоді } I_{C,3} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 105 = 157,5 \text{ А.}$$

$$\text{Визначимо струм спрацьовування реле: } I_{C,P} = \frac{k_{cx} \cdot I_{C,3}}{K_{IBB} \cdot k_B}. \quad (13.12)$$

$$\text{Тоді } I_{C,P} = \frac{\sqrt{3} \cdot 157,5}{60 \cdot 0,85} = 5,3 \text{ А.}$$

Зробимо розрахунок захисту від зовнішніх КЗ на стороні 10 кВ.

Визначимо струм спрацьовування захисту від зовнішніх КЗ по формулі (13.11):

$$I_{C,3} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 2310 = 3465 \text{ А.}$$

Визначимо струм спрацьовування реле по формулі (13.12):

$$I_{C,P} = \frac{1 \cdot 3465}{800 \cdot 0,85} = 5,1 \text{ А.}$$

13.4.10. Розрахунок вставки захисту від перевантаження на стороні 10 кВ

Визначимо струм спрацьовування захисту від перевантаження по формулі (13.11),

$$\text{де } k_O \text{ й } k_B, \text{ рівні відповідно } 1,05 \text{ і } 0,85: I_{C,3} = \frac{1,05}{0,85} \cdot 2310 = 2854 \text{ А.}$$

Визначимо струм спрацьовування реле по формулі (13.12):

$$I_{C,P} = \frac{1 \cdot 2854}{800 \cdot 0,85} = 4,2 \text{ A}.$$

13.4.11. Розрахунок уставки захисту від зовнішніх замикань на землю на стороні 220 кВ

Визначимо первинний струм спрацьовування захисту.

$$I_{C,3} = (0,4 - 0,8) \cdot I_{ном,т}. \quad (13.13)$$

Тоді $I_{C,3} = 0,6 \cdot 105 = 63 \text{ A}$.

Визначимо струм спрацьовування реле по формулі (13.12):

$$I_{C,P} = \frac{63}{800 \cdot 0,85} = 0,1 \text{ A}.$$

13.4.12. Вибір устаткування для захисту силового трансформатора

Захисти виконуємо на мікропроцесорних модулях типу Seram 2000 T13.

До складу входять блоки:

- Теплового захисту;
- Максимальний струмовий захист у фазах;
- Максимальний струмовий захист на землю;
- Максимальної залишкової напруги;
- Спрямований максимальний струмовий захист;
- Спрямований максимальний струмовий захист на землю;
- Захист від замикань на землю;
- Захист у колі нейтралі;
- Захист у колі заземлення нейтралі.

14. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ І ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНДУКЦІЙНОЇ ТИГЕЛЬНОЇ ПЕЧІ

14.1. Загальні відомості про індукційні тигельні печі

Індукційні печі знайшли широке застосування при виплавці сталі в цехах дрібного лиття. У цей час випускаються печі: високочастотні (100 -200 кГц), середньої частоти (500 - 1000 Гц), промислової частоти (50 Гц).

В індукційній печі метал розплавляють у тиглі, розташованому усередині індуктора, що являє собою спіраль із декількома витками зі струмопровідного матеріалу. Через індуктор пропускають змінний струм; створюваний при цьому усередині індуктора перемінний магнітний потік наводить у металі вихрові струми, які забезпечують його нагріву й плавлення.

Щоб надмірно не збільшувати потужність живильного піч генератора в схему печі включають конденсатори, що компенсують індуктивний опір індуктора. Чим вище частота, тим менше потрібна ємність конденсаторної батареї.

Важливою особливістю індукційних печей є інтенсивна циркуляція рідкого металу, викликана взаємодією електромагнітних полів, порушуваних з одного боку струмами, що проходять по індуктору й, з іншого, вихровими струмами в металі.

Явище нагріву металевих тіл у змінних магнітних полях стало відомо ще в епоху перших робіт Фарадея над електромагнітною індукцією. Струми індукції, що виникають під впливом перемінного магнітного поля й які нагрівають їх, отримали назву струмів Фуко (по імені вченого) або вихрових струмів. Застосування вихрових струмів або індукційного нагріву для плавки чорних і кольорових металів відноситься до початку двадцятого століття.

Характер циркуляційних потоків показаний на рис. 14.1.

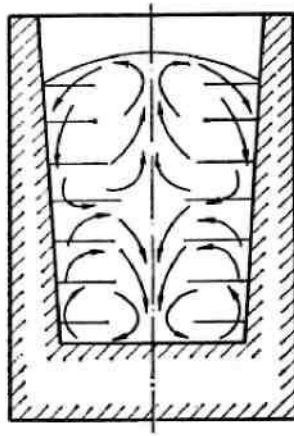


Рис. 14.1. Електродинамічна циркуляція металу в тиглі індукційної печі

Позитивний бік цього явища полягає в тому, що завдяки перемішуванню прискорюються плавлення й вирівнювання складу й температури металу, негативний – у тім, що поверхня металу виходить опуклою й може оголюватися, тому що шлак стікає до стінок тигля.

Ще однією особливістю індукційних печей є те, що щільність струмів, які індуктуються, досягає максимуму на поверхні металу біля стінок тигля й знижується в напрямку до осі тигля («поверхневий ефект»). У цьому поверхневому шарі виділяється найбільша кількість тепла, за рахунок якого плавиться шихта. Товщина шару металу з великою щільністю струмів, що індуктуються, обернено пропорційна кореню квадратному із частоти.

Індукційні печі мають такі переваги в порівнянні з дуговими:

- відсутні високотемпературні дуги, що зменшує поглинання водню й азоту й вигар металу при плавленні;
- незначний вигар легуючих елементів при переплаву легованих відходів;
- малі габарити печей, що дозволяють помістити їх у закриті камери й провадити плавку й розливання у вакуумі або в атмосфері інертного газу;
- електродинамічне перемішування, що сприяє одержанню однорідного по складу й температурі металу.

Основними недоліками індукційних печей є мала стійкість основної футерівки й низька температура шлаків, які нагріваються від металу; із-за холодних шлаків утруднене видалення фосфору й сірки при плавці.

Як відмічалось вище індукційні печі поділяють на:

- 1) такі, що живляться струмом підвищеної частоти;
- 2) такі, що живляться струмом промислової частоти (50 Гц).

У печах першого типу частота живильного струму зазвичай знижується в міру збільшенні ємності й діаметра тигля; малі (кілька кілограм і менше) печі живляться струмом із частотою від 50 до 1000 кГц, середньою й великі (ємністю до десятків тонн) струмами із частотою 0,5 - 10 кГц.

Індукційні печі промислової частоти отримують живлення через понижувальний трансформатор, що дає вторинну напругу в межах $100 \div 1000$ В. Зазначені печі мають мінімальну витрату електроенергії, простіші в обслуговуванні й вимагають менших виробничих площ. Печі мережевої частоти використовують для виплавки чавуну й сталі, не потребуючої тривалої витримки рідкого металу в тиглях. Середня питома витрата електроенергії в цих печах складає при виплавці чавуну - 550 кВт·год/т і сталі - 730 кВт·год/т. Юмність індукційних печей досягає 60 тон.

14.1.1. Устрій індукційної печі підвищеної частоти

Індукційна плавильна установка складається з печі з механізмом нахилу й живильного електрообладнання (генератора підвищеної частоти, батареї конденсаторів, щита управління й на великих печах - автоматичного регулятора електричного режиму).

Індукційна піч (див. рис. 14.2) являє собою своєрідний трансформатор, у якого первинною обмоткою служить індуктор 1 (див. рис. 1.2, а), а вторинною – металева шихта в тиглі 2. Шихту щільно укладають у тигель, виготовлений з вогнетривких матеріалів.

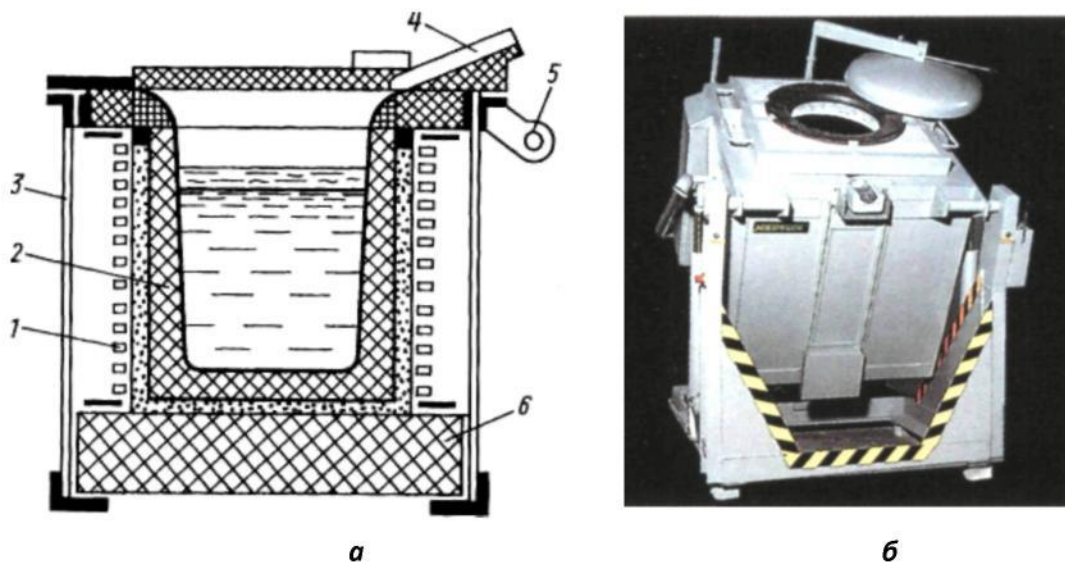


Рис. 14.2. Індукційна тигельна піч: а – схема: б – загальний вигляд

Тигель печі виготовляє набиванням або викладається цеглою. Для набивання використовують мелені вогнетривкі матеріали: основні (магнезит) або кислі (кварцит). Тигель знаходиться в індукторі, що представляє спіраль із визначеним числом витків з мідної трубки; усередині трубки циркулює охолоджуюча вода. Живиться індуктор від високочастотного генератора змінного струму. Струм, високої частоти індуктує потужні вихрові струми в металі, що перебувають у тиглі, при цьому метал швидко нагрівається й плавиться.

У тиглі відбувається електродинамічне перемішування металу під впливом індукційних вихрових струмів, що сприяє вирівнюванню хімічного складу металу й спливанню неметалічних включень.

Струм індуктора й частота регулюються автоматично залежно від стану металу в печі й ступені заповнення її шихтою. Печі середньої частоти дозволяють збільшувати потужність, що підводиться, у порівнянні з печами промислової частоти і це приводить до зниження часу розплавлення шихти.

Набивний тигель 2 з вогнетривкого порошку закріплений у каркасі 3 і встановлений на плиті 6 з вогнетривкого бетону. Випуск сталі провадиться через зливний носок 4 при повороті печі разом з каркасом щодо осі 5.

Каркас (кожух) печей невеликої ємності ($< 0,5$ т) роблять у формі прямокутного паралелепіпеда, використовуючи азбоцемент, дерево, виконуючи несучі ребра з кутків і смуг немагнітної сталі, дюралюмінію. У місцях з'єднання металевих елементів укладають ізоляційні прокладки для виключення виникнення кільцевих струмів. Індуктор у такому каркасі кріплять до верхньої і нижньої опорної азбоцементної плити.

Механізм нахилу призначений для нахилу печі при зливі металу. Метал з тигля зливають через зливний носок, повертаючи встановлений на двох цапфах каркас печі на кут до 95° . Нахил печі здійснюють лебідками, тельферами, а на великих печах встановлюють гідравлічний механізм нахилу.

Електричне обладнання служить для подачі живлення на індуктор індукційної печі. Спрощена електрична схема індукційної печі підвищеної частоти, що живиться від машинного або лампового генератора, показана на рис. 14.3.

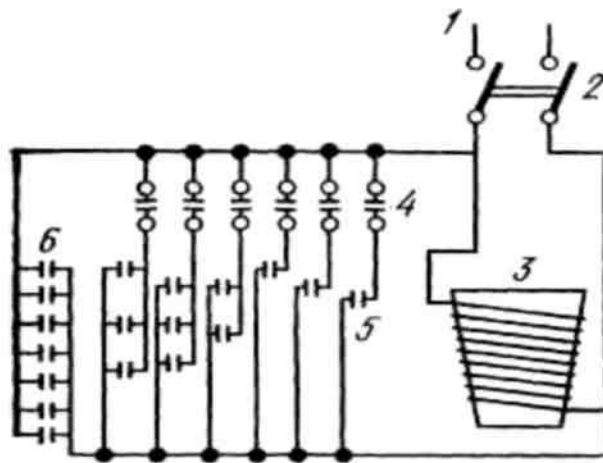


Рис. 14.3. Спрощена електрична схема індукційної печі

Змінний струм високої частоти від генератора 1 через вимикач 2 подається на індуктор 3, паралельно якому підключені конденсатори 5 і 6.

Конденсатори призначені для компенсації індуктивного опору індуктора й установки в цілому (компенсації реактивної потужності установки). У ланцюг

включені дві групи конденсаторів: конденсатори першої групи 6 підключені постійно; а конденсатори другої групи 5 включають якщо буде потреба.

У процесі плавки в міру нагріву шихти змінюються її питомий опір і магнітна проникність, що змінює індуктивний опір установки. Включаючи або відключаючи додаткові конденсатори домагаються рівності індуктивного і ємнісного опорів.

Як джерела живлення (перетворювачів частоти) використовують лампові й машинні генератори, тиристорні перетворювачі. Для живлення малих печей (< 30 ÷ 50 кг) застосовують лампові генератори, що виробляють струм із частотою від 30 кГц до декількох мегагерц; їхня потужність змінюється від 0,3 до 1000 кВт.

Більша частина промислових печей з тиглями ємністю 60 ÷ 100 кг і більше живляться від машинних генераторів. Їх випускають потужністю від 12 до 2500 кВт із частотою вироблюваного струму 0,5; 1; 2,4; 4; 8 і 10 кГц.

В останні роки як джерела живлення усе ширше застосовуються тиристорні перетворювачі частоти. Промисловість випускає тиристорні перетворювачі потужністю до 3200 кВт із частотою вироблюваного струму від 0,5 до 10 кГц.

Ці перетворювачі мають у порівнянні з машинними генераторами такі переваги: більш високий електричний к.к.д.; висока готовність до роботи; можливість автоматичної підтримки оптимального електричного режиму без переключення в силовому ланцюзі (не потрібно переключення конденсаторів, що спрощує конструкцію конденсаторної батареї); відсутність обертових частин і безшумність у роботі.

14.2. Вихідні дані для розрахунку тигельної печі

Вихідними даними для розрахунку тигельної печі, що використовується на даному заводі є:

а) матеріал – вуглецева сталь, середній розмір шматків шихти $d_{ш} = 0,04$ м; питомий електричний опір шихти $\rho_{ш} = 100 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, питомий опір розплаву

$\rho_2 = 137 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, щільність розплаву $\gamma_2 = 7,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; кінцева температура металу $t_k = 1600^\circ \text{C}$;

б) ємність печі $G = 160 \text{ кг}$, залишкова ємність тигля $\bar{G}_0 = 0$; тривалість процесу плавки та перегріву металу до кінцевої температури $\tau_{пл} = 0,66 \text{ год}$, тривалість допоміжних операцій $\tau_{од} = 0,14 \text{ год}$.

14.3. Визначення геометричних співвідношень та вибір частоти джерела живлення

Знаходимо корисний об'єм тигля за формулою:

$$V = G / \gamma_2 = 160 / 7200 = 0,022 \text{ м}^3. \quad (14.1)$$

З довідникових джерел, за оптимальними співвідношеннями між розмірами тиглів і індукторів сталеплавильних печей, визначаємо відносний коефіцієнт, який залежить від ємності печі:

$$\bar{h}_2 = h_2 / d_2; \bar{h}_2 = 1,4. \quad (14.2)$$

Розраховуємо внутрішній діаметр тигля:

$$D_2 = \sqrt[3]{4V / \pi \bar{h}_2} = \sqrt[3]{4 \cdot 0,022 / \pi \cdot 1,4} = 0,28 \text{ м}. \quad (14.3)$$

Визначаємо висоту розплаву в тиглі:

$$h_2 = D_2 \cdot \bar{h}_2 = 0,28 \cdot 1,4 = 0,39 \text{ м}. \quad (14.4)$$

Знаходимо висоту внутрішньої площини тигля:

$$h_T = (1,2 \div 1,4) \cdot h_2 = 0,28 \cdot 1,4 = 0,39 \text{ м}. \quad (14.5)$$

Визначаємо товщину футерування:

$$b_\phi = 0,08 \cdot \sqrt[4]{G} = 0,08 \cdot \sqrt[4]{160 \cdot 10^{-3}} = 0,051 \text{ м}. \quad (14.6)$$

З урахуванням теплової та електричної ізоляції знаходимо внутрішній діаметр індуктора:

$$D_1 = D_2 + 2b_\phi + b_{із} = 0,28 + 0,06 \cdot 2 = 0,40 \text{ м}. \quad (14.7)$$

Прийнявши $h_1 = 1,1$, визначимо висоту індуктора:

$$h_1 = h_2 \cdot \bar{h}_1 = 0,39 \cdot 1,1 = 0,43 \text{ м}. \quad (14.8)$$

Знаходимо мінімальну частоту джерела живлення:

$$f_{\min} \geq \pi \cdot 10^6 \frac{\rho_{III}}{\mu'_{III} \cdot d^2_{III}}. \quad (14.9)$$

Підставивши значення отримаємо

$$f_{\min} = \pi \cdot 10^6 \frac{100 \cdot 10^{-8}}{1,0 \cdot 0,04^2} = 1970 \text{ Гц}.$$

Приймаємо в якості робочої частоти $f = 2400 \text{ Гц}$.

14.4. Тепловий розрахунок печі

Ескіз печі для теплового розрахунку наведений в графічній частині магістерської роботи.

14.4.1. Теплові втрати через подину

Товщина шару набивки подини $\delta_1 = 0,08 \text{ м}$; азбестового шару $\delta_2 = 0,005 \text{ м}$; шару бетону подини $\delta_3 = 0,08 \text{ м}$; азбестоцементної плити $\delta_4 = 0,04 \text{ м}$.

Температурами на межах шарів задаємося: $t_1 = t_k = 1600^\circ \text{C}$, $t_2 = 1000^\circ \text{C}$, $t_3 = 900^\circ \text{C}$, $t_4 = 600^\circ \text{C}$, $t_5 = 200^\circ \text{C}$.

Середня за товщиною температура відповідного шару, $^\circ \text{C}$:

$$t_{1 \text{ cp}} = (1600 + 1000) / 2 = 1300; \quad t_{2 \text{ cp}} = (1000 + 900) / 2 = 950;$$

$$t_{3 \text{ cp}} = (900 + 600) / 2 = 750; \quad t_{4 \text{ cp}} = (600 + 200) / 2 = 400.$$

Середня розрахункова поверхня на межах відповідних шарів, м^2 :

$$S_{1 \text{ cp}} = 0,062; \quad S_{2 \text{ cp}} = 0,127; \quad S_{3 \text{ cp}} = 0,177; \quad S_{4 \text{ cp}} = 0,242; \quad S_{5 \text{ cp}} = 0,270$$

Середні значення коефіцієнтів теплопровідності шарів, що відповідають температурам $t_{1 \text{ cp}} \div t_{4 \text{ cp}}$, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ \text{C})$:

$$\gamma_{1 \text{ cp}} = 1,88; \quad \gamma_{2 \text{ cp}} = 0,37; \quad \gamma_{3 \text{ cp}} = 1,05; \quad \gamma_{4 \text{ cp}} = 0,35.$$

Визначаємо теплові опори шарів, $^\circ \text{C}/\text{Вт}$:

$$R_{Ti} = b_i / \lambda_i S_{i \text{ cp}}. \quad (14.10)$$

Тоді

$$R_{T1} = 0,68; \quad R_{T2} = 0,11; \quad R_{T3} = 0,43; \quad R_{T4} = 0,47.$$

Тепловий опір шару повітря на зовнішній поверхні подини при $\alpha_K = 15,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$:

$$R_{T5} = \frac{1}{15,7 \cdot 0,27} = 0,24 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} .$$

Визначаємо теплові втрати через подину:

$$P_{T.B} = \frac{T_K - T_0}{\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{\lambda_i \cdot S_{i \text{ cp}}} + \frac{1}{\alpha_{II} \cdot S_{II}}} = \frac{1600 - 20}{0,68 + 0,11 + 0,43 + 0,47 + 0,24} = 0,82 \text{ кВт} . \quad (14.11)$$

Перевіряємо температури на межах шарів за рівнянням:

$$T_{i+1} = T_i - P_{Ti} \cdot R_{Ti} . \quad (14.12)$$

$$t_2 = 1600 - 820 \cdot 0,68 = 1040 \quad t_3 = 1040 - 820 \cdot 0,11 = 950;$$

$$t_4 = 950 - 820 \cdot 0,43 = 598; \quad t_5 = 598 - 820 \cdot 0,47 = 212 .$$

Оскільки розбіжність розрахункових значень із значеннями, якими ми задавалися раніше, не перевищує 6 %, подальших уточнень можна не проводити.

14.4.2. Теплові втрати через бічні стінки тигля

Приймаємо товщину азбестового шару $\delta_a = 0,005 \text{ м}$ (внутрішній діаметр азбестового шару $d_3 = 0,39 \text{ м}$).

Приймаємо температуру на межі набивки та азбестового шару $t_2 = 600^\circ\text{C}$, а температуру ззовні азбестового шару $t_3 = 55^\circ\text{C}$.

Середнє значення температур шарів, $^\circ\text{C}$:

$$t_{cp \ 1} = (1600 + 600) / 2 = 1100; \quad t_{cp \ 2} = (600 + 55) / 2 = 327 .$$

Середні значення коефіцієнтів теплопровідності шарів, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$:

$$\lambda_{cp \ 1} = 1,95; \quad \lambda_{cp \ 2} = 0,21 .$$

Теплові втрати через бокову стінку:

$$P_{T.b} = \frac{2\pi \cdot 0,39 \cdot (1600 - 150)}{\frac{1}{1,95} \ln \frac{0,4 - 0,01}{0,28} + \frac{1}{0,21} \ln \frac{0,4}{0,4 - 0,01}} = 16,2 \text{ кВт} .$$

Перевірка температур:

$$t_2 = 1600 - 16,2 \cdot 10^3 \frac{\ln(0,39/0,28)}{2\pi \cdot 1,95 \cdot 0,43} = 600^\circ \text{C};$$

$$t_3 = 600 - 16,2 \cdot 10^3 \frac{\ln(0,40/0,39)}{2\pi \cdot 0,21 \cdot 0,43} = 53^\circ \text{C}.$$

14.4.3. Теплові втрати випромінюванням із дзеркала ванни

Ступінь чорноти розплаву приймаємо рівним $\varepsilon = 0,45$.

Коефіцієнт діафрагмування приймаємо $\xi = 0,66$.

Теплові втрати випромінюванням складуть:

$$P_{\text{випр}} = 0,45 \cdot 5,7 \left[\left(\frac{1173}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] \cdot \frac{\pi \cdot 0,28^2}{4} \cdot 0,66 = 1,95 \text{ кВт}.$$

14.4.4. Сумарні теплові втрати

$$P_{T\Sigma} = 16,2 \cdot 10^3 + 1,95 \cdot 10^3 + 0,82 \cdot 10^3 \approx 19 \text{ кВт}.$$

14.4.5. Корисна потужність, що йде на розплавлення та перегрів

Ентальпія при кінцевій температурі металу $q_K = 0,37 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}$

$$P_{\text{нов}} = q_K \cdot g_{\text{пл}} = 0,37 \cdot \frac{160}{0,66} = 89,6 \text{ кВт}. \quad (14.13)$$

Знаходимо тепловий ККД печі:

$$\eta_T = P_{\text{нов}} / P_2 = \frac{89,6}{(89,6 + 19,0)} = 0,825. \quad (14.14)$$

14.5. Електричний розрахунок індуктора у гарячому режимі

Знаходимо глибину проникнення струму в матеріал індуктора ($\rho_1 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$):

$$\Delta_1 = 503 \cdot \sqrt{\rho_1 / f} = 503 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-8} / 2400} = 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}. \quad (14.15)$$

Знаходимо активний та реактивний опір індуктора:

$$r_1 = x_{1B} = \rho_1 \frac{\pi \cdot D_1'}{\Delta_1 h_1} \cdot \frac{1}{\kappa_{3,I}} = 2 \cdot 10^{-8} \frac{\pi \cdot (0,40 + 1,45 \cdot 10^{-3})}{1,45 \cdot 10^{-3} \cdot 0,43} \cdot \frac{1}{0,9} = 0,047 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} / \text{виток}^2. \quad (14.16)$$

Глибина проникнення струму до матеріалу завантаження ($\rho_2 = 137 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$):

$$\Delta_2 = 503 \cdot \sqrt{137 \cdot 10^{-8} / 2400} = 12,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Визначаємо відносний радіус розплаву:

$$R'_2 = \frac{R_2 \sqrt{2}}{\Delta_2} = \frac{D_2}{\sqrt{2} \Delta_2} = \frac{0,28}{2 \cdot 12,0 \cdot 10^{-3}} = 16,5. \quad (14.17)$$

Визначаємо активний та реактивний опір завантаження:

$$r_2 = x_{2B} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\rho_2 \cdot D_2^2}{\Delta_2^2 \cdot h'_2} \cdot \psi_a = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{137 \cdot 10^{-8} \cdot 0,28^2}{(12 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,39} \cdot 0,06 = 0,257 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/виток}^2. \quad (14.18)$$

$$\psi_a = \psi_p = 0,06.$$

Знаходимо реактивний опір повітряного зазору:

$$x_3 = 2 \cdot \pi^3 \cdot \frac{D_1^2 - D_2^2}{h'_2} \cdot f \cdot 10^{-7} = 2 \cdot \pi^3 \cdot \frac{0,4^2 - 0,28^2}{0,39} \cdot 2400 \cdot 10^{-7} = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/виток}^2. \quad (14.19)$$

За співвідношенням $D_1/h_1 = 0,40/0,43 = 0,93$ значення коефіцієнта Нагаока:

$$\kappa_1 = 0,7.$$

Визначаємо реактивний опір порожнього індуктора:

$$x_{10} = 2 \cdot \pi^3 \cdot \frac{D_1^2 \cdot f}{h_1} \cdot 10^{-7} = 2 \cdot \pi^3 \cdot \frac{0,4^2}{0,43} \cdot 2400 \cdot 10^{-7} \cdot 0,7 = 3,87 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/виток}^2. \quad (14.20)$$

Знаходимо реактивний опір зворотнього замикання:

$$x_0 = x_{10} \cdot \frac{h_1}{h_1 - \kappa_1 h'_2} = 3,87 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,43}{0,43 - 0,7 \cdot 0,39} = 10,6 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/виток}^2. \quad (14.21)$$

Визначаємо коефіцієнт приведення параметрів завантаження до струму індуктора:

$$C_{\text{ПР}} = \frac{1}{\left(\frac{r_2}{x_0}\right)^2 + \left(1 + \frac{x_{2B} + x_3}{x_0}\right)^2} = \frac{1}{\left(\frac{0,257 \cdot 10^{-3}}{10,6 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + \left(1 + \frac{0,257 \cdot 10^{-3} + 3,1 \cdot 10^{-3}}{10,6 \cdot 10^{-3}}\right)^2} = 0,585. \quad (14.22)$$

Знаходимо приведені активний та реактивний опір завантаження:

$$r'_2 = C_{\text{ПР}} \cdot r_2 = 0,585 \cdot 0,257 \cdot 10^{-3} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/виток}^2. \quad (14.23)$$

$$x'_2 = C_{\text{ПР}} \cdot \left[(x_{2B} + x_3) + \frac{(x_{2B} + x_3)^2 + r_2^2}{x_0} \right]; \quad (14.24)$$

$$x'_2 = 0,585 \cdot \left[(0,257 \cdot 10^{-3} + 3,1 \cdot 10^{-3}) + \frac{(0,257 \cdot 10^{-3} + 3,1 \cdot 10^{-3})^2 + (0,257 \cdot 10^{-3})^2}{10,6 \cdot 10^{-3}} \right] = 2,59 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/виток}^2$$

Визначаємо еквівалентний активний та реактивний опір системи індуктор-розплав:

$$r_E = r_1 + r_2' = 0,047 \cdot 10^{-3} + 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,197 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/виток}^2. \quad (14.25)$$

$$x_E = x_{1B} + x_2' = 0,047 \cdot 10^{-3} + 2,59 \cdot 10^{-3} = 2,637 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/виток}^2. \quad (14.26)$$

$$z_E = \sqrt{r_E^2 + x_E^2} = \sqrt{(0,197^2 + 2,637^2)10^{-6}} = 2,640 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/виток}^2. \quad (14.27)$$

Заходимо електричний ККД індуктора з завантаженням:

$$\eta_E = r_2' / r_E = 0,15 \cdot 10^{-3} / 0,197 \cdot 10^{-3} = 0,76. \quad (14.28)$$

Визначаємо коефіцієнт потужності індуктора:

$$\cos\varphi = r_E / z_E = 0,197 \cdot 10^{-3} / 2,64 \cdot 10^{-3} = 0,075. \quad (14.29)$$

Активна потужність джерела живлення:

$$P_f = \frac{P_{нов}}{\eta_E \cdot \eta_T \cdot \eta_{доп}} = \frac{89,6}{0,76 \cdot 0,825 \cdot 0,9} = 159 \text{ кВт}. \quad (14.30)$$

Тут коефіцієнт $\eta_{доп}$, що враховує електричні втрати в короткій мережі, в конденсаторній батареї та інших елементах установки прийнятий рівним $\eta_{доп} \approx 0,9$.

Вибираємо тиристорний перетворювач частоти типу ТПЧ-160-2,4 потужністю 160 кВт.

Вихідну напругу джерела живлення приймаємо рівною $U = 900 \text{ В}$.

Визначаємо число витків індуктора при цій напрузі:

$$\varpi = 900 \sqrt{\frac{0,075}{(89,6 + 19,0) \cdot 10^3 \cdot 2,64 \cdot 10^{-3}}} = 14,5.$$

Знаходимо орієнтовну висоту індукуючого витка:

$$h_B' = \frac{h_1}{\varpi} \kappa_{3.1.} = \frac{0,43}{14,5} \cdot 0,9 = 26,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}. \quad (14.31)$$

По сортаменту вибираємо трубку $d = 26 \text{ мм}$ при числі витків $\omega = 14$.

Тоді, остаточно маємо коефіцієнт заповнення:

$$\kappa_{3.1.} = \frac{26 \cdot 10^{-3} \cdot 14}{0,43} = 0,85.$$

Номинальна напруга печі:

$$U_H = 900 \frac{14}{14,5} = 870 \text{ В}.$$

Визначаємо активний, реактивний та повний опори індуктора:

$$r_I = r_E \cdot \omega^2 = 0,197 \cdot 10^{-3} \cdot 14^2 = 0,038. \quad (14.32)$$

$$x_I = x_E \cdot \omega^2 = 2,637 \cdot 10^{-3} \cdot 14^2 = 0,515. \quad (14.33)$$

$$z_I = z_E \cdot \omega^2 = 2,64 \cdot 10^{-3} \cdot 14^2 = 0,516. \quad (14.34)$$

Знаходимо силу струму в індукторі:

$$I_1 = U / z_I = 870 / 0,516 = 1680 \text{ А}. \quad (14.35)$$

Визначаємо настил струму в індукторі:

$$H_I = I_1 \cdot \omega / h_1 = 1680 \cdot \frac{14}{0,43} = 54,7 \text{ кА/м}. \quad (14.36)$$

Знаходимо активну потужність, підведену до індуктора:

$$P_I = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 870 \cdot 1680 \cdot 0,075 = 109,5 \text{ кВт}. \quad (14.37)$$

14.6. Розрахунок водоохолодження індуктора

Визначаємо електричні втрати в індукторі:

$$P_{E.I.} \approx P_I \cdot \left[(1 - \eta_E) + 0,5 \cdot \frac{h_X}{h_1} \right] = 109,5 \cdot (1 - 0,76) = 26,3 \text{ кВт}. \quad (14.38)$$

Знаходимо сумарні втрати, що відводяться охолодженням індуктора:

$$P_{ОХОЛ} = P_{E.I.} + P_{Т.Б.} = 26,3 + 16,2 = 42,5 \text{ кВт}. \quad (14.39)$$

Прийнявши $t_{ВХ} = 20^{\circ} \text{С}$ і $t_{ВИХ} = 50^{\circ} \text{С}$, визначимо потрібну витрату охолоджувальної води:

$$Q_{ОХОЛ} = 0,24 \cdot \frac{P_{ОХОЛ}}{T_{ВИХ} - T_{ВХ}} \cdot 10^{-6} = 0,24 \cdot \frac{42,5 \cdot 10^3}{50 - 20} \cdot 10^{-6} = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (14.40)$$

Діаметр каналу охолодження при товщині стінки трубки 3 мм

$$D_B = 26 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \text{ а площа його перерізу}$$

$$S_B = \pi \cdot (20 \cdot 10^{-3})^2 / 4 = 314 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Визначаємо швидкість води в каналі охолодження:

$$v_B = 0,34 \cdot 10^{-3} / 314 \cdot 10^{-6} = 1,08 \text{ м/с}.$$

Кінематична в'язкість води $\nu_B = 0,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$

Число Рейнольдса $R_e = 1,08 \cdot 20 \cdot 10^{-3} / 0,75 \cdot 10^{-6} = 2,88 \cdot 10^4$

Відповідно, рух води буде турбулентним, тобто $R_e > 10^4$.

Визначаємо коефіцієнт тертя:

$$\xi = 0,316 / (R_e)^{0,25} = 0,316 / (2,88 \cdot 10^4)^{0,25} = 0,024. \quad (14.41)$$

Коефіцієнт опору повороту струменя при $D_1 / D_B = 0,40 / 0,02 = 20$ $\xi = 0,144$.

Коефіцієнт збільшення опору приймемо $\kappa_{III} = 2,5$.

Визначимо втрати напору по довжині трубки індуктора, кПа:

$$\Delta p = \varpi \frac{\nu_B^2}{2} \left(\xi \kappa_{III} \frac{l_B}{d_{B.E.}} + \zeta_{ПОВ} \right) = 14 \frac{1,08^2}{2} \left(0,024 \cdot 2,5 \frac{\pi(0,40 + 0,026)}{20 \cdot 10^{-3}} + 0,144 \right) \cdot 10^3 = 34. \quad (14.42)$$

$$\Delta p \langle \Delta p_{доп} = 200.$$

Теплопровідність води (при $t_{B,CP} = 35^\circ \text{C}$): $\lambda_B = 0,46 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$;

температуропровідність $a_B = 1,5 \cdot 10^{-7}$ і число Прандтля $P_r = 4,6$.

Критерій Нуссельта:

$$N_u = 0,023(2,88 \cdot 10^4)^{0,88} \cdot 4,6^{0,4} = 155.$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі від стінки індуктора до води:

$$\alpha_B = N_u \cdot \frac{\lambda_B}{d_{B.E.}} = 155 \cdot \frac{0,46}{20 \cdot 10^{-3}} = 3,57 \text{ кВт} / (\text{м} \cdot \text{К}). \quad (14.43)$$

Знаходимо величину втрат, які можуть бути відведені охолоджувальною водою:

$$P_B = \alpha_B (T_{CT} - T_{CP}) \Pi_B l_B \varpi \kappa_B = 3,57(60 - 35) \pi 20 \cdot 10^{-3} \cdot \pi 0,426 \cdot 14 \cdot 0,75 = 78,6 \text{ кВт}. \quad (14.44)$$

Оскільки дотримується умова $P_{охл} \langle P_B$, розрахунок охолодження можна закінчити.

14.7. Розрахунок конденсаторної батареї

Приймаємо конденсатор типу ЭСВ-1-2,4 з номінальною напругою 1000 В та ємністю 19,9 мкФ. Реактивна потужність конденсаторної батареї, необхідна для компенсації $\cos \varphi$ установки до $\cos \varphi_K$ (при живленні від ТПЧ $\cos \varphi_K \approx 0,6$).

$$P_{К.Б.} = 109,5 \cdot (tg\varphi - tg\varphi_K) = 1,6 \cdot 10^3 \text{ Вар} . \quad (14.45)$$

З урахуванням недовикористання банок по напрузі:

$$P_{К.Б.} = 1,6 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{1000}{870} \right)^2 = 2,1 \cdot 10^3 \text{ кВар} .$$

Визначаємо ємність конденсаторної батареї:

$$C_{К.Б.} = P_{К.Б.} / 2\pi \cdot f \cdot U_I^2 = \frac{2,1 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 2400 \cdot (870)^2} = 185 \text{ мФ} . \quad (14.46)$$

Знаходимо кількість банок:

$$N_{\delta} = 185 / 19,9 = 9,2 .$$

Приймаємо $N_{\delta} = 10$.

Виначаємо втрати в конденсаторній батареї:

$$P_{Е.Б.} = P_{К.Б.} \cdot tg\delta = 2,1 \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot 10^{-2} = 16,8 \text{ кВт} . \quad (14.47)$$

14.8. Енергетичний баланс установки

Визначимо електричні втрати в індукторі:

$$P_{Е.І.} = I_1^2 \cdot r_1 = (1680)^2 \cdot 0,047 \cdot 10^{-3} \cdot 14^2 = 25,8 \text{ кВт} . \quad (14.48)$$

Втрати в струмопроводі можна орієнтовно прийняти:

$$P_{СТР} = 0,05 \cdot P = 0,05 \cdot 160 = 8 \text{ кВт} . \quad (14.49)$$

Визначаємо потужність, що забирається від перетворювача:

$$P_f = P_{Е\Sigma} + P_2 = 25,8 + 16,8 + 8,0 + 89,6 + 19,0 = 160 \text{ кВт} . \quad (14.50)$$

Знаходимо електричні втрати у джерелі живлення:

$$P_{Д.Ж.} = P_f \cdot \left(\frac{1}{\eta_{ПР}} - 1 \right) = 160 \cdot \left(\frac{1}{0,92} - 1 \right) = 13,5 \text{ кВт} . \quad (14.51)$$

Визначаємо активну потужність, яку споживає установка від мережі:

$$P_M = P_f + P_{Д.Ж.} = 160 + 13,5 = 173,5 \text{ кВт} . \quad (14.52)$$

Знаходимо загальний ККД плавильної установки:

$$\eta_{\nu} = P_{ПОВ} / P_M = 89,6 / 173,5 = 0,52 . \quad (14.53)$$

Визначаємо питому витрату електроенергії:

$$q = q_K / \eta_Y = 0,37 \cdot 10^3 / 0,52 = 710 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}. \quad (14.54)$$

Знаходимо тривалість плавки:

$$\tau_{III} = G_{СЛ} \cdot q / P_M = 160 \cdot 710 \cdot 10^{-3} / 173,5 \cdot 10^3 = 0,66 \text{ год}. \quad (14.55)$$

Визначаємо продуктивність установки з розплавлення та перегріву:

$$g = G_{СЛ} / \tau_{III} = 160 \cdot 10^{-3} / 0,66 = 0,243 \text{ т} / \text{год}. \quad (14.56)$$

Фактична продуктивність (з урахуванням допоміжного часу $\tau_{ДОП}$):

$$g = G_{СЛ} / \tau_{III} = 160 \cdot 10^{-3} / (0,66 + 0,14) = 0,200 \text{ т} / \text{год}. \quad (14.57)$$

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розроблено ефективну систему електрозабезпечення ТОВ «Полтавський завод порошкової металургії» та виконано розрахунок теплових і електричних параметрів індукційної тигельної печі та розроблено принципову схему управління нею.

На підставі аналізу даних про споживачі електричної енергії Полтавського заводу порошкової металургії, вибрано відповідні методи та методики, що викладені у навчальній, довідниковій, нормативній і науково-технічній літературі по розрахунку електричних навантажень на стороні високої та низької напруги, вибору основного електрообладнання до схеми електрозабезпечення для надійної та ефективної її роботи як в нормальному так і аварійному режимах.

За результатами виконання магістерської роботи щодо вибору параметрів системи електрозабезпечення заводу порошкової металургії, на основі проведених розрахунків прийняті такі нижче наведені рішення.

1. Виконано розрахунки електричних навантажень заводу та цеху холодної прокатки №1 за методом коефіцієнту попиту. Повна розрахункова потужність заводу порошкової металургії з боку високої напруги трансформаторів ГПП з урахуванням компенсації реактивної потужності та втрат в трансформаторах склала 45035 кВА.

2. На підставі побудови картограми навантаження, визначено координати розміщення ГПП та цехових ТП за мінімумом приведених затрат в кабельних лініях. При такому розміщенні витрати на спорудження системи електрозабезпечення заводської мережі будуть мінімальними.

3. Прийнято мережу живлення ГПП напругою 220 кВ на підставі розрахунку по вибору доцільної напруги живлення заводу за формулою Іларіонова, яка склала 232 кВ.

4. Розподіл електричної енергії на напрузі 10 кВ виконано за радіальною одноступінчастою схемою, як більш економічною, при цьому враховано категорію за надійністю електропостачання цехів заводу.

5. В якості джерел реактивної потужності на стороні напругою 0,4 кВ використано конденсаторні установки типу КРМ. При розрахунках та аналізі даних по компенсації реактивної потужності, автором використано опубліковані його матеріали на 89 Міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті", 3-7 квітня 2023 р. – Київ: НУХТ. – Ч.2. Порівняльний аналіз результатів по виборі кількості та потужності цехових трансформаторів без КРП та з урахуванням КРП, показав, що проведення заходів щодо компенсації реактивної потужності дає такий позитивний ефект:

- На ТП №5, ТП №8, ТП №9 знижений коефіцієнт завантаження трансформаторів, що задовільняє вимоги ПУЕ до систем електропостачання;
- На ТП №1, ТП №2, ТП №3, ТП №4, ТП №7 дав змогу вибрати трансформатори на меншу потужність;
- У ТП № 6 компенсувати реактивну потужність не потрібно.

На період максимуму навантаження, на стороні напругою 10 кВ, компенсація реактивної потужності здійснюється за допомогою синхронних двигунів.

6. При розробці системи електрозабезпечення заводу використано сучасне електричне обладнання та апарати з урахуванням впливу струмів

короткого замикання, зокрема на стороні 220 кВ вибрано трансформатори типу ТРДН-40000/220 фірми "BEZ TRZNSFORMATORY", використано високовольтний елегазовий вимикач типу ВГТ-220П* -40/2500 УХЛ1; на цехових трансформаторних підстанціях прийнято трансформатори закритого типу – ТМЗ та сухі трансформатори типу ТСН фірми SIEMENS з литою ізоляцією GEAFOL. В якості комутаційних і захисних апаратів на стороні напругою 10 кВ використано вакуумні високовольтні вимикачі типу ВВ/TEL. Розподіл електричної енергії на напрузі 10 кВ виконано алюмінієвими кабельними лініями із ізоляцією зі зшитого поліетилену в поліетиленовій оболонці з повздожньою герметизацією типу NA2XS(F)2Y 6/10kV, остаточний номінальний переріз жили яких встановлено за результатами розрахунку струмів короткого замикання і складає 150 мм².

7. Вибрано захисні апарати та розподільчу апаратуру цеху холодної прокатки №1.

8. Для захисту системи електроспоживання заводу від аномальних режимів роботи використано пристрій релейного захисту, зокрема розроблено схему релейного захисту синхронного двигуна потужністю 1600 кВт на базі мікропроцесорних модулів серії Seram, типу Seram 2000 M20.

9. В спеціальній частині магістерської роботи виконано розрахунок теплових і електричних параметрів індукційної тигельної печі ємністю 160 кг, визначено геометричні її розміри, ККД, фактичну продуктивність та розроблено принципову схему управління нею.

Отже, можна зробити висновок, що спроектована система електрозабезпечення ТОВ «Полтавський завод порошкової металургії» відповідає всім вимогам ПУЕ, ПТЕ, ДБН та іншим чинним нормативно-технічним документам України і може забезпечити надійне, безперебійне та якісне електрозабезпечення споживачів електричної енергії заводу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Компенсація реактивної потужності при повторно-короткочасному графіку навантаження /Антон Жовтюк, Володимир Шестеренко, Олег Мащенко //Матеріали 89 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті", 3-7 квітня 2023 р.–Київ: НУХТ.–Ч.2.–С.291.
2. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підруч. /В.Є. Шестеренко. – Вінниця: Нова Книга, 2011.– 656 с.
3. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств: Навч. Посібник /О.М.Сірий, В.Є.Шестеренко.–К.: ІСДО, 1993.–592 с.
4. Сірий О.М. Системи електроспоживання: розрахунки, вибір обладнання: навч. посіб. /О.М.Сірий; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. університет харч. технол.–К.: НУХТ, 2011.–319 с.
5. Інтелектуальні електропостачальні системи та інтеграція відновлювальних джерел енергії [Електронний курс]: курс лекцій для здобувачів освітнього ступеня «магістр» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання» ден. та заоч. форм навч. Уклад.: В.Є.Шестеренко, О.А. Мащенко – К.: НУХТ, 2022. – 75 с.
6. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010, - 408 с.
7. Перехідні процеси в системах електропостачання /Півняк Г.Г., Винославський В.Н., Рибалко А.Я., Несен Л.И. та ін. – Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2000.
8. Плешков П.Г., Мануйлов В.Ф., Коновалов І.В. Релейний захист та автоматика систем електропостачання: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2008.

9. Разумний Ю.Т., Заїка В.Т., Степаненко Ю.В. Енергозбереження: Навч. посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2005.

10. Хай М.В., Бурштинський М.В., Харчишин Б.М. Електричні апарати. Низьковольтна апаратура розподілу, керування та захисту. Загальний курс. – Львів: Львівська політехніка, 2021 р. – 656 с.

11. Мазепа С.С., Марущак Я.Ю., Куцик А.С. Електрообладнання промислових підприємств, Львів: Магнолія, 2021 р. – 260 с.

12. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджені Наказом Мінва енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.

13. Релейний захист і автоматика: Навч. посібник /С.В.Панченко, В.С.Блиндюк, В.М. Баженов та ін.; за ред. В.М.Баженова. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – Ч.1. – 250 с.

14. Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем: навчальний посібник Ч.2 /уклад. Д.П.Козярьський, Е.В.Майструк, І.П.Козярьський. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-тет., 2019. – 130 с.

15. ДСТУ 3465–96. Якість електричної енергії. Терміни та визначення. Чинний від 1998–01–01. К.: Держстандарт України, 1996. – 35 с.

16. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Металургійна_промисловість_України.

17. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sivax.ua/shop/kabeli-i-provoda/silovye-kabeli/silovoy-kabel-Helukabel-NA2XSF2Y.html>.

18. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://energotransbud.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=161&Itemid=188.