

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра Електротехніки та електроенергетики

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

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

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

Розробка системи електропостачання вузла навантаження конверторного цеху
підприємства металургійної промисловості
(тема роботи)

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

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

Здобувач _____ Станіслав ОРЕШКЕВИЧ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я, прізвище)

Рецензент _____ /Світлана АРТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2026

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра Електротехніки та електроенергетики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Артем ЧЕРНЮК

(ім'я, прізвище)

_____ (підпис)

«__» _____ 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

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

Орешкевича Станіслава Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

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

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

1. Тема роботи: Розробка системи електропостачання вузла навантаження
конверторного цеху підприємства металургійної промисловості

керівник роботи Олійник Юлія Сергіївна, к.пед.н., доцент

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

затверджені наказом по Університету від «15» грудня 2025 року,

№ 4801-5/4400

2. Строк подання здобувачем роботи: «20» червня 2026 року

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

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

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

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

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

5. План роботи

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

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

Здобувач вищої освіти _____ Станіслав ОРЕШКЕВИЧ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

до бакалаврської роботи на тему

«Розробка системи електропостачання вузла навантаження конверторного цеху підприємства металургійної промисловості»

ОРЕШКЕВИЧА СТАНІСЛАВА

В дипломі розглянуто питання розробки системи електропостачання вузла навантаження конверторного цеху металургійного підприємства. Виконано аналіз технологічних особливостей виробництва, електричних навантажень цеху та вимог до надійності електропостачання споживачів.

Об'єктом дослідження є система електропостачання конверторного цеху металургійного підприємства.

Предметом дослідження є процеси проектування та вибору технічних рішень для забезпечення надійного та ефективного електропостачання виробничих споживачів конверторного цеху.

Проведено розрахунок електричних навантажень, визначено категорії надійності електроприймачів. Виконано вибір напруги розподілу електроенергії, силових трансформаторів, комутаційної апаратури, струмопроводів і кабельних ліній.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках мережі, здійснено перевірку вибраного обладнання за умовами термічної та електродинамічної стійкості.

Особливу увагу приділено питанням компенсації реактивної потужності. Визначено необхідну потужність компенсуючих пристроїв.

В розділі «Охорона праці» проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Розглянуто питання електробезпеки, пожежної безпеки та захисту персоналу під час експлуатації електротехнічного обладнання.

За результатами виконаних розрахунків розроблено систему електропостачання.

Ключові слова: електропостачання, електричні навантаження, трансформаторна підстанція, компенсація реактивної потужності, електроенергія, електроприймачі, баланс електроенергії, коротке замикання, електробезпека.

ABSTRACT

to the bachelor thesis on the topic

«Power supply of the technological equipment unit of the forging and stamping shop of the metalworking industry»

ORESHKEVYCH STANYSLAV

The diploma deals with the development of the power supply system of the load unit of the converter shop of the metallurgical enterprise. An analysis of the technological features of production, electrical loads of the workshop and requirements for the reliability of electricity supply to consumers was performed.

The object of the study is the power supply system of the converter shop of a metallurgical enterprise.

The subject of the study is the processes of designing and choosing technical solutions to ensure reliable and efficient power supply to production consumers of the converter shop.

The calculation of electrical loads was carried out, the reliability categories of electrical receivers were determined. The selection of electricity distribution voltage, power transformers, switching equipment, current pipelines and cable lines was made.

The calculation of short-circuit currents at characteristic points of the network was carried out, the selected equipment was checked under the conditions of thermal and electrodynamic stability.

Special attention is paid to issues of reactive power compensation. The required power of compensating devices has been determined.

In the section «Occupational safety», an analysis of dangerous and harmful production factors is carried out. The issues of electrical safety, fire safety and personnel protection during the operation of electrical equipment are considered.

Based on the results of the performed calculations, a power supply system was developed

Key words: power supply, electric loads, transformer substation, reactive power compensation, electricity, electric receivers, electricity balance, short circuit, electrical safety

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБ'ЄКТУ, ЩО ПРОЄКТУЄТЬСЯ	10
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	13
2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ	14
2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП)	15
2.2. Розрахунок потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ	21
2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умови вибору оптимального числа цехових трансформаторів	21
2.2.2. Визначення додаткової потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ з метою оптимального зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями РП	24
2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху	24
2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ	26
2.5. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)	28
2.6. Вибір марки і перетини струмоведучих частин	33
2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів і струмоведучих частин на стійкість дії струмів короткого замикання	35
2.7.1. Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання	39

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ					
					Розробка системи електропостачання вузла навантаження конверторного цеху підприємства металургійної промисловості			Літ.	Маса	Масштаб
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Орешкевич С.В.			Пояснювальна записка			ЗЕА-Е22		
Перевір.		Олійник Ю.С.								
Т. Контр.					Пояснювальна записка			ЗЕА-Е22		
Реценз.										
Н. Контр.					Пояснювальна записка			ЗЕА-Е22		
Затверд.		Чернюк А.М.								

2.7.2. Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці к.з.	40
2.8. Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП	43
2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження	45
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	50
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	47
3.1. Загальні положення з охорони праці	47
3.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	47
3.3. Електробезпека при експлуатації електроустановок	48
3.4. Захист від ураження електричним струмом	48
3.5. Пожежна безпека	49
3.6. Виробнича санітарія та мікроклімат	49
3.7. Освітлення виробничих приміщень	49
3.8. Заходи безпеки при експлуатації системи електропостачання	49
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	51
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕП – електроприймач
СЕП – система електропостачання
ПП – промислове підприємство
ТП – трансформаторна підстанція
КТП – комплектна трансформаторна підстанція
ПС – підстанція
ГПП – головна понижувальна підстанція
ППВ – підстанція глибокого введення
КРП – компенсація реактивної потужності
ЯЕЕ – якість електричної енергії
ДЖ – джерело живлення
ККП- комплектна конденсаторна установка
ДРП – джерело реактивної потужності
РП – реактивна потужність
КП – конденсаторний пристрій
К.з. – коротке замикання
СВЧ – струмоведучі частини
АПВ – автоматичний повітряний вимикач

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Одним із пріоритетних завдань сучасної електроенергетики є зменшення енергоємності національної економіки, що досягається шляхом впровадження ефективних заходів з енергозбереження. Важливим напрямом вирішення цієї проблеми є раціональне використання наявних енергетичних ресурсів та скорочення непродуктивних витрат електроенергії.

Підвищення ефективності використання електричної енергії сприяє не лише зниженню економічних витрат, а й зменшенню негативного впливу енергетики на навколишнє середовище. Тому боротьба з нераціональним споживанням енергії є важливою складовою сучасної енергетичної політики, спрямованої на забезпечення екологічної безпеки, економічної стабільності та енергетичної незалежності держави.

Одним із ключових шляхів досягнення економії електроенергії є оптимізація режимів роботи електроенергетичних систем та електростанцій, що дозволяє підвищити ефективність виробництва, передачі та розподілу електричної енергії.

Ефективність функціонування сучасних промислових підприємств значною мірою залежить від надійності та економічності систем електропостачання. Особливо високі вимоги до якості електроенергії та безперервності живлення висуваються на підприємствах металургійної промисловості, де технологічні процеси характеризуються значними електричними навантаженнями та високою вартістю простоїв обладнання. Досягнення високих техніко-економічних показників роботи підприємства забезпечується раціональною побудовою системи електропостачання, правильним вибором електрообладнання, мінімізацією втрат електроенергії та впровадженням сучасних технічних рішень.

Метою бакалаврської роботи є розробка системи електропостачання вузла навантаження конвертерного цеху підприємства металургійної промисловості, яка забезпечує необхідний рівень надійності, безпеки та економічності електропостачання виробничих споживачів.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено вирішення таких завдань: аналіз електричних навантажень цеху, вибір схеми електропостачання, визначення параметрів силового електрообладнання, розрахунок струмів короткого

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		8

замикання, вибір комутаційної апаратури та провідників, а також оцінка режимів роботи системи електропостачання.

Об'єктом дослідження є система електропостачання конвертерного цеху металургійного підприємства.

Предметом дослідження є процеси проектування, розрахунку та вибору технічних рішень для забезпечення надійного й ефективного електропостачання вузла навантаження конвертерного цеху.

Основним результатом роботи є розроблення технічно обгрунтованої системи електропостачання, що відповідає вимогам чинних нормативних документів та забезпечує надійне функціонування технологічного обладнання металургійного виробництва.

Велику частку електроприймачів становлять електроприводи загальнопромислових механізмів, які широко використовуються в різних галузях народного господарства. До них належать підйомно-транспортні машини, конвеєрні та потоково-транспортні системи, компресорні установки, насоси та вентилятори.

Забезпечення промислових споживачів електричною енергією необхідної кількості та належної якості здійснюється системами електропостачання промислових підприємств, які включають мережі напругою до 1 кВ і вище, а також трансформаторні, перетворювальні та розподільчі підстанції.

Споживачі електроенергії характеризуються специфічними режимами роботи, що зумовлює підвищені вимоги до систем електропостачання, зокрема щодо надійності живлення, якості електроенергії, резервування та захисту окремих елементів мережі.

Під час проектування систем електропостачання необхідно техніко-економічно обгрунтувати вибір рівнів напруги, визначити електричні навантаження, підібрати тип, кількість і потужність трансформаторних підстанцій, визначити системи їх захисту, способи компенсації реактивної потужності та методи регулювання напруги.

Розв'язання зазначених питань є основою даної бакалаврської роботи.

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
						9
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБ'ЄКТУ, ЩО ПРОЄКТУЄТЬСЯ

Характеристика технологічного процесу дає змогу оцінити можливі втрати та економічні збитки у разі раптових порушень електропостачання, а також визначити категорійність вузлів навантаження за рівнем вимог до безперервності живлення. Крім того, аналіз технологічного процесу дозволяє виявити специфічні електричні навантаження та особливості їх роботи.

Отримані результати є основою для визначення кількості джерел живлення в схемах живлячих і розподільчих мереж, а також для обґрунтування необхідності впровадження мережної автоматики та засобів резервування.

В роботі розглядається конвертерний цех підприємства металургійної промисловості, до складу якого входять основні технологічні установки та механізми: конвертер, міксер, вентилятори, насосне обладнання, компресори, мостові крани, тельфери, зварювальні апарати, елеватори та конвеєрні системи з блокуваннями.

Вентилятори, насоси та компресорне обладнання працюють у тривалому режимі експлуатації. Рівень вимог до безперервності електропостачання таких електроприводів визначається їх функціональним призначенням та особливостями технологічного процесу виробництва.

В конвертерному цеху металургійного підприємства вентилятори, насоси та компресори відносяться до споживачів I категорії за надійністю електропостачання, оскільки їх зупинка може призвести до порушення технологічного процесу та значних виробничих втрат.

Підйомно-транспортні машини - до цієї групи електроприймачів, що розглядаються в бакалаврській роботі, належать мостові крани та тельфери. Для них характерний повторно-короткочасний режим роботи з відносною тривалістю включення (ТВ) у межах 15–60%.

Під час експлуатації крани та тельфери переміщуються спеціальними крановими шляхами та отримують живлення через відкриті контактні провідники - тролєї. За ступенем надійності електропостачання підйомно-транспортні механізми відносяться до електроприймачів другої категорії.

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		10

Установки електрозварювання.

До цієї групи електроприймачів, що розглядаються в дипломній роботі, належать зварювальні машини шовного зварювання.

Для електрозварювання використовується як постійний струм, що отримується від перетворювачів, так і змінний струм промислової частоти 50 Гц, а також струми зниженої (2–10 Гц) та підвищеної (100–360 Гц) частоти.

Установки електрозварювання, що працюють на змінному струмі промислової частоти, створюють значні ускладнення для системи електропостачання промислового підприємства через такі особливості:

- ✓ навантаження є однофазним;
- ✓ потужність окремих зварювальних агрегатів може досягати 1200 кВА;
- ✓ низький коефіцієнт потужності (0,3–0,35 для дугового зварювання та 0,2–0,6 для контактного);
- ✓ повторно-короткочасний режим роботи з малими значеннями тривалості вмикання та значними піковими навантаженнями.

За вимогами до безперервності електропостачання установки електрозварювання відносяться до електроприймачів першої категорії.

Освітлювальні установки.

Як джерела електричного світла на промислових підприємствах застосовуються лампи розжарювання, галогенні лампи, люмінесцентні та ртутні кварцові лампи. Їх встановлена потужність може змінюватися в широких межах і залежить від масштабів виробничих приміщень та рівня необхідної освітленості.

На промислових підприємствах використовуються системи загального та комбінованого освітлення, що поєднує загальне і місцеве освітлення робочих зон. За функціональним призначенням освітлення поділяється на робоче та аварійне.

Аварійне освітлення належить до споживачів першої категорії за надійністю електропостачання, оскільки забезпечує безпеку персоналу та можливість завершення або безпечної зупинки технологічного процесу у разі порушення основного живлення.

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		11

Зм.	Арх.ш.	№ док.м.	Підпис	Дата
ЕГ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ				
				Арх.ш.
				12

Таблиця 1.1. - Вихідні дані

Електроприймачі напругою до 1 кВ																
Привід повороту конвертора		Привід нахилу міксера		Вентилятор и		Насоси, компресори		Крани, тельфери, ПВ=25%		Крани, тельфери ПВ=40%		Зварювальні машини шовної зварки (потужність дана в кВА)		Елеватори, конвейери зблоковані		Площа цеху
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	F, м ²
$\frac{320}{1000}$	$\frac{5}{80}$	$\frac{90}{1650}$	$\frac{10}{120}$	$\frac{65}{1100}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{40}{2200}$	$\frac{10}{300}$	$\frac{25}{300}$	$\frac{5}{30}$	$\frac{175}{630}$	$\frac{5}{80}$	$\frac{40}{1400}$	$\frac{10}{50}$	$\frac{20}{650}$	$\frac{3}{50}$	8000

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

В розділі виконано аналіз технологічного процесу конвертерного цеху підприємства металургійної промисловості, що є основою для подальшого проектування системи електропостачання. Встановлено, що характер виробництва визначається наявністю потужних та різнотипних електроприймачів із різними режимами роботи та вимогами до безперервності живлення.

Проведений аналіз дозволив встановити категорійність основних груп електроприймачів. Зокрема, вентилятори, насоси та компресорне обладнання віднесені до споживачів I категорії, оскільки їх зупинка призводить до порушення технологічного процесу та значних економічних втрат. Підйомно-транспортні механізми (крани та тельфери) віднесені до II категорії за надійністю електропостачання та характеризуються повторно-короткочасним режимом роботи. Установки електрозварювання, враховуючи їх специфіку навантаження та високу відповідальність процесів, віднесені до споживачів I категорії. Освітлювальні установки, зокрема аварійне освітлення, також належать до I категорії, оскільки забезпечують безпеку персоналу та безаварійну зупинку технологічного обладнання.

Встановлено, що електричні навантаження конвертерного цеху є нерівномірними за характером, мають значні пікові значення та суттєву частку відповідальних споживачів, що зумовлює підвищені вимоги до надійності системи електропостачання.

Отримані результати аналізу технологічного процесу є вихідними даними для подальшого вибору структури системи електропостачання, визначення кількості джерел живлення, схем електропостачання, а також обґрунтування заходів резервування та застосування мережної автоматики.

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		13

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

Електричні навантаження являють собою величини потужності P , кВт, Q , квар та струму I , А, які змінюються в часі за певними закономірностями залежно від режиму роботи споживачів.

На основі значень електричних навантажень здійснюється вибір основних параметрів елементів системи електропостачання, зокрема визначається кількість і потужність силових трансформаторів на всіх рівнях СЕП, параметри комутаційної апаратури, а також перерізи струмоведучих частин.

Точність визначення розрахункових електричних навантажень суттєво впливає на техніко-економічні показники проєктованої СЕП. Завищення розрахункових навантажень призводить до надлишкових капітальних вкладень, нерационального використання обладнання та погіршення режимів роботи системи за активною потужністю.

Зниження електричних навантажень може призвести до перевантаження окремих елементів електроустановок, прискореного старіння ізоляції, скорочення строку служби обладнання та зниження загальної надійності системи електропостачання.

З урахуванням електричної віддаленості проєктованого вузла навантаження, яка визначається кількістю ступенів трансформації між цеховими трансформаторними підстанціями та основними джерелами живлення - шинами вторинної напруги 6 (10) кВ головної понижувальної підстанції (ГПП) або підстанції глибокого введення (ПГВ), - особливого значення набуває правильне визначення розрахункових навантажень та параметрів елементів СЕП.

В розрахунках застосовується метод впорядкованих діаграм, який на сьогодні є основним при виконанні технічного та робочого проєктування СЕП.

Відповідно до цього методу, розрахункове активне навантаження електроприймачів визначається на основі середнього навантаження з урахуванням коефіцієнта розрахункового навантаження за відповідним виразом:

$$P_p = K_p \cdot \sum P_{сзм}, \text{ кВт} \quad (2.1.)$$

Розрахунковий коефіцієнт навантаження K_p визначається як функцію n і $K_{\text{Гр.серваж}}$ (ефективного числа ЕП і групового коефіцієнта використання).

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		14

2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП)

Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів

Розрахунок виконується для однієї характерної групи електроприймачів як приклад. Результати аналогічних розрахунків для інших характерних груп наведені в таблиці 2.1.

Для електродвигунів, які працюють у повторно-короткочасному режимі (ПКР), паспортна потужність приводиться до еквівалентної потужності тривалого режиму роботи ($TB = 100\%$). Таке приведення здійснюється за відповідним розрахунковим виразом, що враховує фактичну тривалість вмикання електроприймача:

$$P_{Hi} = P_{паспi} \cdot \sqrt{TB_i}, \text{ кВт} \quad (2.2.)$$

$$P_{Hi} = S_{Hi} \cdot \cos\varphi_i \sqrt{TB_i}, \text{ кВт} \quad (2.3.)$$

Для кранів і тельферів з $TB = 25\%$: $P_H = 300 \cdot \sqrt{0,25} = 150$ (кВт).

Для кранів і тельферів з $TB = 40\%$: $P_H = 630 \cdot \sqrt{0,40} = 398,4$ (кВт).

Номинальну потужність зварювальних трансформаторів визначаємо таким чином:

$$P_H = 1400 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{0,25} = 490 \text{ (кВт)}.$$

Підсумок: $\sum_i^m P_{Hi}$, кВт,

де m - число характерних груп ЕП.

Для кожної характерної групи електроприймачів визначається середнє змінне навантаження за найбільш завантажену зміну. Цей показник характеризує середній рівень споживання електричної потужності протягом розрахункового періоду та використовується як вихідний параметр для подальшого визначення розрахункових навантажень. Розрахунок виконується за відповідним виразом:

$$P_{сзми} = P_{Hi} \cdot K_{Hi}, \text{ кВт} \quad (2.4)$$

$$Q_{сзми} = P_{Hi} \cdot \operatorname{tg}\varphi_i, \text{ квар} \quad (2.5)$$

де K_{Hi} - коефіцієнт використання i - тої характерної групи ЕП;

$\operatorname{tg}\varphi_i$ - коефіцієнт реактивної потужності i - тої характерної групи ЕП, відповідний коефіцієнту активної потужності.

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		15

Для цеху в цілому визначаються сумарні значення середнього навантаження за найбільш завантажену зміну шляхом підсумовування відповідних показників усіх груп електроприймачів. Отримані результати використовуються для подальших розрахунків параметрів системи електропостачання та вибору основного електрообладнання:

$$\sum_i^m P_{сзмі} = \sum_i^m P_{Hi} \cdot K_{Hi}, \text{кВт} \quad (2.6)$$

$$\sum_i^m Q_{сзмі} = \sum_i^m P_{Hi} \cdot tg\varphi_i, \text{квар} \quad (2.7)$$

$$P_{сзмі} = 1000 \cdot 0,22 = 220 \text{ кВт}; \quad Q_{сзмі} = 220 \cdot 1,33 = 292,6 \text{ квар}$$

Для сукупності електроприймачів визначається середньозважений (груповий) коефіцієнт використання, який характеризує ступінь завантаження обладнання та враховує особливості режимів роботи окремих споживачів. Розрахунок цього коефіцієнта виконується за відповідною формулою

$$K_{гр} = \frac{\sum_i^m P_{сзмі}}{\sum_i^m P_{Hi}} = \frac{3363,7}{7638,4} = 0,44$$

Значення $K_{гр}$ заносяться в таблицю 2.1.

Визначення ефективного числа ЕП

Абсолютний максимум групового графіка навантаження, який є вихідним параметром для вибору елементів системи електропостачання за умовами нагрівання, залежить від багатьох випадкових факторів. До них належать кількість електроприймачів у розрахунковому вузлі, їх встановлені потужності, режими роботи та інші характеристики, що впливають на формування сумарного навантаження.

Для спрощення розрахунку максимального навантаження використовується поняття ефективного числа електроприймачів $n_{еф}$. Під ефективним числом електроприймачів розуміють таку умовну кількість однакових за встановленою потужністю та режимом роботи електроприймачів, яка створює той самий розрахунковий максимум навантаження, що й реальна група електроприймачів, які відрізняються між собою за потужністю та характером роботи. Використання цього показника дозволяє суттєво спростити процедуру визначення розрахункових електричних навантажень.

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
						16
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективне число електроприймачів для всього вузла навантаження визначається за відповідним розрахунковим виразом, який враховує сумарний вплив усіх електроприймачів на формування максимального навантаження системи:

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^m P_{Hi}}{P_{H\text{max}}} = \frac{2 \cdot 7638,4}{300} = 50,9$$

де $P_{H\text{max}}$ - одинична номінальна потужність найбільш потужного ЕП в розрахунковому вузлі.

Значення $n_{\text{еф}}$ заносимо у відповідну таблицю 2.1.

Визначення коефіцієнта розрахункового навантаження K_p

Залежно від середньозваженого (групового) коефіцієнта використання K_{igr} та ефективного числа $n_{\text{еф}}$ електроприймачів визначається коефіцієнт розрахункового навантаження, який використовується для подальших електричних розрахунків системи електропостачання.

$$K_{igr} = 0,44; n_{\text{еф}} = 50,9. \text{ Отже, } K_p = 0,7.$$

Під активним розрахунковим максимальним навантаженням P_p розуміють умовне сталие за величиною та незмінне в часі навантаження, яке за своєю тепловою дією еквівалентне реальному змінному навантаженню та створює такий самий вплив на елементи системи електропостачання.

Активне розрахункове навантаження групи електроприймачів напругою до 1 кВ визначається за відповідним розрахунковим виразом:

$$P_p = K_p \cdot \sum_i^m P_{сзми}, \text{ кВт} \quad (2.8)$$

$$P_p = 0,7 \cdot 3363,7 = 2354,6 \text{ кВт}$$

З урахуванням специфіки споживання електроприймачами реактивної потужності, яка слабо залежить від рівня активного навантаження, приймаємо наступне припущення:

$$Q_p = \sum_i^m Q_{сзми}, \text{ квар} \quad (2.9)$$

$$Q_p = 3371,3 \text{ квар}$$

Повне розрахункове навантаження, яке формується силовими електроприймачами, визначається за відповідним розрахунковим виразом:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА} \quad (2.10)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
						17
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_p = \sqrt{2356,4^2 + 3371,3^2} = 4113,2 \text{ кВА}$$

Значення струмового розрахункового навантаження, яке використовується для вибору перерізу струмоведучих частин та параметрів електричних апаратів, визначається за відповідним розрахунковим виразом:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \text{ А} \quad (2.11)$$

$$I_p = \frac{4113,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6256,7 \text{ А}$$

де $U_{\text{ном}}$ - номінальна напруга в даній ділянці мережі, кВ.

Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів

Розрахункові навантаження освітлювальних електроприймачів визначаються на основі встановленої потужності освітлювальних установок із урахуванням коефіцієнта попиту для даної групи споживачів:

$$P_{\text{р.осв.}} = P_{\text{н.осв.}} \cdot K_{\text{поп.осв.}} \cdot K_{\text{ПРА}}, \text{ кВт} \quad (2.12)$$

$$Q_{\text{р.осв.}} = P_{\text{р.осв.}} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ квар} \quad (2.13)$$

де $K_{\text{поп.осв.}}$ - коефіцієнт попиту освітлювальних установок;

$K_{\text{поп.осв.}} = 0,95$ для виробничих будівель, що складаються з окремих крупних прольотів;

$K_{\text{ПРА}}$ - коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пускорегулючій апаратурі (ПРА) газорозрядних ламп;

$K_{\text{ПРА}} = 1,1$ для ламп типу ДРЛ (ртутно-кварцові лампи з виправленою кольоровістю) і ДРН (металлогалогені).

$\text{tg}\varphi$ відповідає $\cos\varphi$; $\cos\varphi = 0,95 \div 0,97$; $\text{tg}\varphi = 0,33$.

Встановлена потужність електричного освітлення:

$$P_{\text{н.осв.}} = P_{\text{пит.}} \cdot F \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (2.14)$$

$$P_{\text{н.осв.}} = 20 \cdot 1000 \cdot 10^{-3} = 20 \text{ кВт}$$

де $P_{\text{пит.}}$ - питома щільність освітлювального навантаження;

$P_{\text{пит.}} = 20 \text{ Вт/м}^2$ для виробничих цехів.

F - площа цеху, м^2 ; $F = 1000 \text{ м}^2$.

$P_{\text{розр.осв.}} = 20 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 20,9 \text{ кВт}$; $Q_{\text{розр.осв.}} = 20,9 \cdot 0,33 = 6,9 \text{ квар}$

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
						18
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1. - Розрахунок електричних навантажень напругою до 1 кВ

Вихідні дані						Довідкові дані		Середнєзм. навантаження за найбільш завантажену зміну		Ефективне число ЕП, $n_{\text{еф}}$	Коефіцієнт розрахункового навантаження K_p	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий струм, I_p, A
№ п/п	Найменування характерних груп ЕП	К-ть n , шт	Паспортні дані характерних груп ЕП		Ном потуж. характерних груп ЕП	Коефіцієнт використання, $K_{\text{вик}}$	$\cos\varphi / \text{tg}\varphi$	$P_{\text{серзм.}}$, кВт	$Q_{\text{серзм.}}$, квар			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	
			Одного ЕП $P_{n\text{min}}/P_{n\text{т}}$, кВт	Загальна на $P_{\text{пасп.}}$, кВт	$P_{\text{ном.}}$, кВт										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Привід повороту конвертора	320	$\frac{5}{80}$	1000	1000	0,22	$\frac{0,6}{1,33}$	220	292,6	-	-	-	-	-	-
2	Привід нахилу міксера	90	$\frac{10}{120}$	1650	1650	0,22	$\frac{0,6}{1,33}$	363	482,8	-	-	-	-	-	-
3	Вентилятори	65	$\frac{1}{50}$	1100	1100	0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	715	536,3	-	-	-	-	-	-
4	Насоси, компресори	40	$\frac{10}{300}$	2200	2200	0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	1430	1072,5	-	-	-	-	-	-
5	Крани, тельфери, ТВ = 25%	25	$\frac{5}{30}$	300	150	0,18	$\frac{0,45}{1,98}$	27	53,5	-	-	-	-	-	-

ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ

6	Крани, тельфери, ТВ = 40%	175	$\frac{5}{80}$	630	398,4	0,18	$\frac{0,45}{1,98}$	71,7	141,9	-	-	-	-	-	-
7	Зварювальні машини шовної зварки (потуж. в кВА)	40	$\frac{10}{50}$	1400	490	0,3	$\frac{0,35}{2,68}$	147	393,9	-	-	-	-	-	-
8	Елеватори, конвейери зблоковані	20	$\frac{3}{50}$	650	650	0,6	$\frac{0,7}{1,02}$	390	397,8	-	-	-	-	-	-
9	РАЗОМ силові ЕП	775	-	-	7638,4	$K_{и.зр.} =$ 0,44	-	3363, 7	3371,3	50,9	0,7	2354 ,6	3371 ,3	4113, 2	-
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху F=1000 м ²)	-	-	-	20	-	-	-	-	-	$K_{п.осв.}$ =0,95	176, 2	55,2	-	-
11	ВСЬОГО по цеху	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2530 ,8	3426 ,5	4259, 8	6479 ,8

ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ

2.2. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв в мережі напругою до 1 кВ

Сумарна розрахункова потужність компенсуючих конденсаторних пристроїв (ККП) напругою до 1 кВ визначається за критерієм мінімуму витрат у два послідовні етапи розрахунку.

✓ На першому етапі здійснюється вибір економічно доцільної кількості цехових трансформаторних підстанцій, тобто визначається потужність ККП на рівні 0,38 кВ, яка забезпечує оптимальне число трансформаторів цехових ТП, у квар.

✓ На другому етапі визначається додаткова необхідна потужність ККП-0,38 кВ з метою зниження втрат потужності в трансформаторах цехових ТП та в мережах напругою вище 1 кВ, які виникають через перетоки реактивної потужності через цехові підстанції, у квар.

Сумарна реактивна потужність ККП-0,38 кВ дорівнює:

$$Q_{\text{нк}} = Q_{\text{нк1}} + Q_{\text{нк2}}, \text{ квар} \quad (2.15)$$

де $Q_{\text{нк1}}$ і $Q_{\text{нк2}}$ - сумарні потужності ККУ-0,38 кВ, визначувані на двох вказаних етапах розрахунку.

Сумарна потужність ККП-0,38 кВ розподіляється між окремими трансформаторами цехових трансформаторних підстанцій пропорційно їх реактивному навантаженню.

2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умови вибору оптимального числа цехових трансформаторів

Вибір кількості та потужності цехових трансформаторів здійснюється одночасно з підбором засобів компенсації реактивної потужності на основі техніко-економічних розрахунків. При цьому враховуються питома щільність навантаження, величина активного розрахункового навантаження, а також інші фактори, що визначаються технічними умовами проектування.

Потужність цехових трансформаторів визначається на основі питомої щільності навантаження цеху та повного розрахункового навантаження вузла, що задається у кВА:

$$\gamma = \frac{S_p}{F}, \text{ кВА/м}^2 \quad (2.16)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		21

За питомої щільності навантаження понад $0,2 - 0,3 \text{ кВА/м}^2$ та сумарної потужності понад $3000 - 4000 \text{ кВА}$ доцільно застосовувати цехові трансформатори номіналом $1600 - 2500 \text{ кВА}$. Якщо значення питомої щільності та загального навантаження є нижчими за вказані межі, рекомендується використовувати трансформатори потужністю $400 - 1000 \text{ кВА}$.

Для трансформаторів цехових підстанцій, як правило, приймаються такі коефіцієнти завантаження:

✓ для цехів із переважанням навантаження I категорії при двотрансформаторних підстанціях - $\beta = 0,65 - 0,7$;

✓ для цехів із переважанням навантаження II категорії при підстанціях із взаємним резервуванням трансформаторів - $\beta = 0,7 - 0,8$;

✓ для цехів із навантаженням II категорії за умови можливості використання централізованого резерву трансформаторів, а також для цехів III категорії - $\beta = 0,9 - 0,95$.

В дипломі виконується розрахунок внутрішньоцехової системи електропостачання конвертерного цеху металургійного підприємства. У складі цеху наявні електроприймачі як I, так і II категорії за надійністю електропостачання.

Електроприймачі I категорії забезпечуються живленням від двох незалежних джерел живлення з можливістю короткочасної перерви електропостачання лише на період автоматичного введення резерву (АВР). Для електроприймачів II категорії також передбачається живлення від двох незалежних джерел, однак допускається перерва електропостачання на час ручного переключення на резервне живлення.

Для живлення електроприймачів I та II категорій доцільно застосовувати однострансформаторні цехові підстанції $10-6/0,4-0,23 \text{ кВ}$ за умови резервування живлення через перемички низької напруги, пропускна здатність яких повинна забезпечувати живлення найбільш відповідальних споживачів.

Використання однострансформаторних підстанцій дозволяє максимально наблизити їх до центрів електричних навантажень, що скорочує довжину розподільчих мереж, зменшує втрати електроенергії та підвищує ефективність її передавання. Двотрансформаторні цехові підстанції рекомендується застосовувати при зосереджених навантаженнях, питомій щільності навантаження понад $\gamma \geq 0,2 \text{ кВА/м}^2$ або при переважанні електроприймачів I категорії.

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		22

Порядок визначення кількості цехових трансформаторів полягає в наступному. Для кожної технологічно об'єднаної групи трансформаторів однакової потужності мінімально необхідна їх кількість для забезпечення живлення активного максимального розрахункового навантаження визначається за відповідним розрахунковим виразом:

$$N_{min} = \frac{P_{розр.сил.} + P_{розр.осв.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} \pm \Delta N, \text{ шт} \quad (2.17)$$

де $P_{розр.сил.} + P_{розр.осв.}$ - розрахунковий максимум активного навантаження (від силових і освітлювальних ЕП) даної групи трансформаторів;

β - коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$S_{н.тр.}$ - номінальна потужність трансформаторів;

ΔN - добавка до найближчого більшого цілого числа трансформаторів.

$$N_{min} = \frac{2530,8}{0,8 \cdot 1660} + 0,03 = 2 \text{ шт}$$

Економічно оптимальне число трансформаторів визначається:

$$N_{опт} = N_{min} + m = 2 + 0 = 2 \text{ шт}$$

де m - додаткове число трансформаторів, яке залежить від N_{min} і ΔN .

За обраним економічно оптимальним числом трансформаторів визначається максимальна реактивна потужність, що доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ, у квар:

$$Q_T = \sqrt{(\beta \cdot N_{опт} \cdot S_{н.тр.})^2 - (P_{розр.сил.} + P_{розр.осв.})^2}, \text{ квар} \quad (2.18)$$

$$Q_T = \sqrt{(0,8 \cdot 2 \cdot 1660)^2 - (2530,8)^2} = 385,6 \text{ квар}$$

Сумарна потужність низьковольтних батарей конденсаторів (НБК), що забезпечує економічно оптимальну кількість трансформаторів, визначається за відповідним розрахунковим виразом у квар:

$$Q_{нк1} = Q_{розр.} - Q_T, \text{ квар} \quad (2.19)$$

$$Q_{нк1} = 3426,5 - 385,6 = 3040,9 \text{ квар}$$

Потужність НБК, що доводиться на один трансформатор:

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк1}}{N_{опт}}, \text{ квар} \quad (2.20)$$

$$Q'_{нк1} = \frac{3040,9}{2} = 1520,5 \text{ квар}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		23

По цьому значенню вибираємо стандартне значення комплектних конденсаторних установок $Q'_{\text{НК1.дов.}} : 2 \text{ ККУ-0,38-600-150} + 2 \text{ ККУ-0,38-150-50}$.

Сумарна потужність ККУ для даної групи з оптимальною кількістю цехових трансформаторів становить:

$$Q'_{\text{НК1.дов.}} = N_{\text{онт}} \cdot Q'_{\text{НК1.дов.}}, \text{ квар}; \quad Q'_{\text{НК1.дов.}} = 2 \cdot (2 \cdot 600 + 2 \cdot 150) = 3000 \text{ квар.}$$

2.2.2. Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ в цілях оптимального зниження втрат активної потужності, які спричинені перетіканнями РП

Визначення потужності низьковольтних батарей конденсаторів (НБК) з метою забезпечення оптимального зменшення втрат потужності:

$$Q_{\text{НК2}} = Q_{\text{неск.}} - \gamma \cdot N_{\text{опт}} \cdot S_{\text{н.тр.}}, \text{ квар} \quad (2.21)$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, визначуваний залежно від коефіцієнтів K_1 і K_2 і схеми живлення цехових ТП по кривих, виходячи із значень K_1 [1] і K_2 [1].

$$K_1 = 12; K_2 = 7; \gamma = 0,44.$$

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі напругою до 1 кВ:

$$Q_{\text{неск.}} = (Q_{\text{розр.сил.}} + Q_{\text{розр.осв.}}) - Q'_{\text{НК.дов.}}, \text{ квар} \quad (2.22)$$

$$Q_{\text{неск.}} = 3426,5 - 3000 = 426,5 \text{ квар}$$

Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів $Q_{\text{неск.}}, \text{ квар}$:

$$Q_{\text{НК2}} = 426,5 - 0,44 \cdot 2 \cdot 1600 = -981,5 \text{ квар}$$

Оскільки $Q_{\text{НК2}} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність $Q_{\text{НК2}}$ приймаємо $= 0$.

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Розташування цехових трансформаторів визначається щільністю електричних навантажень у цеху, схемою розміщення технологічного обладнання (з урахуванням можливого встановлення компенсуючих пристроїв всередині цеху), а також умовами мікроклімату, що зумовлені особливостями виробничого процесу.

В першу чергу рекомендується використання комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), які забезпечують незалежний від будівельних конструкцій монтаж. Розміщення КТП у безпосередній близькості до центрів навантаження

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
						24
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє зменшити витрати кольорових металів, скоротити довжину мереж та знизити втрати електроенергії в цехових електричних системах.

Максимальне наближення підстанцій до центрів електричних навантажень у поєднанні з їх розподіленою (дробленою) структурою дозволяє ще на етапі проектування ефективно вирішувати завдання енергоефективності та енергозбереження.

Місце встановлення КТП, їх кількість і потужність мають забезпечувати покриття розрахункових навантажень, враховувати умови навколишнього середовища, а також необхідний рівень надійності та безперервності електропостачання.

Залежно від зовнішніх умов і специфіки технологічного процесу компоновка цехових трансформаторних підстанцій може виконуватися у внутрішньоцеховому, вбудованому, прибудованому або окремо розташованому виконанні.

Оскільки розглянутий вузол навантаження представлений конвертерним цехом металургійного підприємства, прийнято схему внутрішньоцехового розміщення трансформаторів.

Внутрішньоцехові трансформаторні підстанції зазвичай встановлюють біля колон будівлі цеху, у зонах, що не потрапляють до робочої області мостових кранів. Це дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію та раціональне використання виробничого простору.

У виробництвах зі стаціонарним обладнанням цехові підстанції забезпечують глибоке введення напруги понад 1 кВ безпосередньо до зон споживання електроенергії. Це, у свою чергу, дозволяє зменшити протяжність мереж низької напруги, знизити витрати на їх будівництво та експлуатацію, а також скоротити втрати електроенергії в цехових мережах.

Двотрансформаторні комплектні трансформаторні підстанції (КТП), як правило, застосовуються за умов високої питомої щільності навантаження ($\gamma > 0,2 \text{ кВА/м}^2$), а також при наявності електроприймачів I категорії за надійністю електропостачання.

Потужність трансформаторів у складі двотрансформаторної КТП визначається з урахуванням допустимого рівня їх перевантаження (рисунок 2.1).

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		25

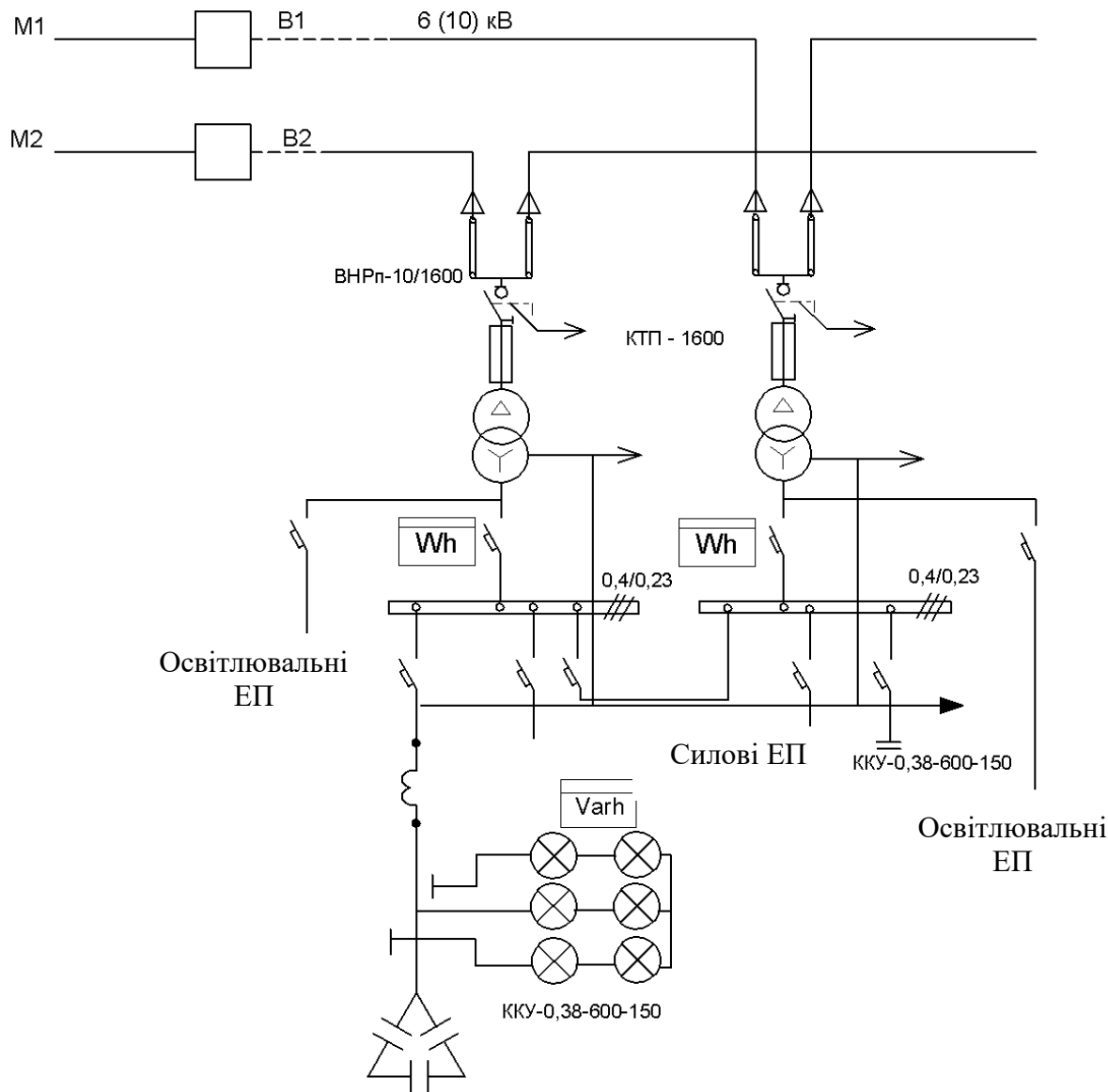


Рисунок 2.1 - Схема сумісного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРП в мережі до 1 кВ

2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Схема живлення цехових трансформаторів визначається їх кількістю, розміщенням у межах виробничого приміщення та категорією надійності електропостачання підключених навантажень. Відповідно до «Інструкції з проектування електропостачання промислових підприємств» рекомендується живлення цехових трансформаторів виконувати від подвійних наскрізних магістралей. При цьому кількість трансформаторів у одній магістралі становить 2–3

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		26

одиниці для трансформаторів потужністю 1600–2500 кВА та 3–4 одиниці для трансформаторів меншої потужності.

При використанні двотрансформаторних підстанцій їх живлення, як правило, здійснюється по радіальних лініях. Останнім часом, у разі розміщення трансформаторних підстанцій у центрах електричних навантажень мереж до 1 кВ, широкого поширення набула схема «блок трансформатор – магістраль» (БТМ), рисунок 2.2 а, б.

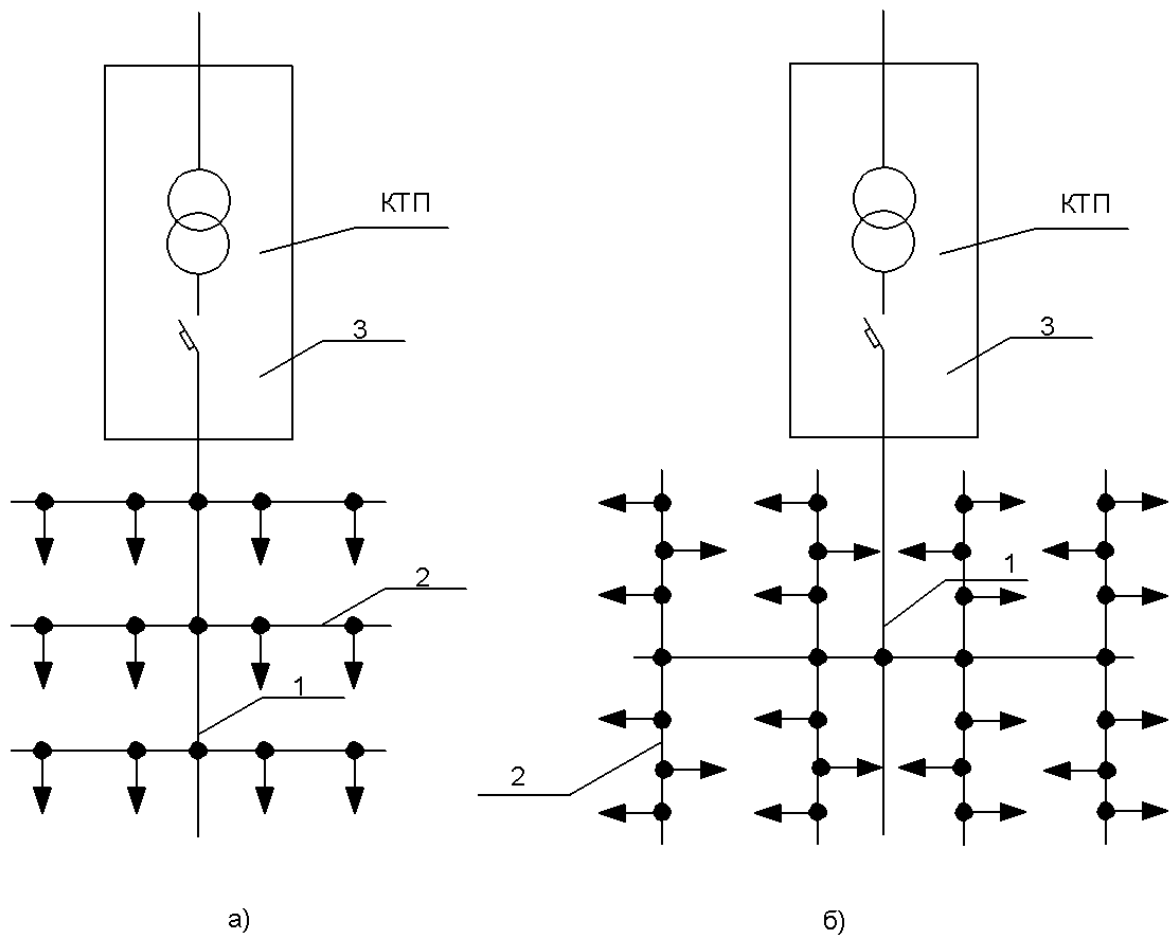
За структурною побудовою схеми внутрішньоцехових електричних мереж можуть бути радіальними, магістральними або змішаними.

При радіальній схемі електроприймачі низької напруги отримують живлення через окремі лінії, що відходять від розподільчого пристрою низької напруги трансформаторної підстанції. Такі схеми доцільно застосовувати при зосередженому характері навантажень із нерівномірним їх розміщенням по площі цеху, у вибухо- та пожежонебезпечних виробництвах, а також на насосних і компресорних станціях. Основною перевагою радіальних схем є висока надійність, оскільки вихід з ладу однієї лінії не впливає на роботу інших споживачів. Недоліком є значні витрати на струмоведучі елементи та збільшення капітальних вкладень.

Магістральні схеми доцільні при відносно рівномірному розміщенні електроприймачів по площі цеху, а також для живлення груп обладнання єдиної технологічної лінії. Їх перевагою є використання шинопроводів, що забезпечує індустріалізацію монтажних робіт. Водночас вони мають нижчу надійність порівняно з радіальними схемами, оскільки аварія на магістралі призводить до знеструмлення всіх приєднаних споживачів. Підвищення надійності можливе за рахунок застосування резервних перемичок між сусідніми магістралями.

З урахуванням особливостей обох схем у практиці проектування та експлуатації промислових електричних мереж зазвичай використовують змішані схеми живлення.

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
						27
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		



- а – вихід магістралі в одному напрямку;
 б – вихід магістралі у двох напрямках;
 1 – живляча магістралі;
 2 – розподільчий шино провід;
 3 – апаратура управління та захисту.

Рисунок 2.2. - а, б. Схеми БТМ.

2.5. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)

Під час експлуатації електричної мережі можливі відхилення від нормального режиму роботи, зокрема перевантаження та короткі замикання. У зв'язку з цим цехові електричні мережі повинні бути надійно захищені від аварійних режимів.

Для захисту внутрішньоцехових мереж застосовують плавкі запобіжники, автоматичні повітряні вимикачі (автомати), а також теплові реле магнітних пускачів.

Вибір типу та параметрів автоматичних вимикачів виконується на основі розрахункової схеми (рис. 2.3), на якій наведено місця їх встановлення та функціональне призначення.

Автомати QF1–QF3 призначені для захисту асинхронних двигунів із параметрами, зазначеними на схемі. Двигуни розташовані в приміщенні з нормальними умовами навколишнього середовища, а їхній режим роботи визначається режимом роботи приводних механізмів.

Автомати QF4–QF7 мають однакові параметри, оскільки використовуються для захисту електроприймачів, підключених до розподільчих шинопроводів ШРА1–ШРА4, які характеризуються рівномірним навантаженням.

Ввідний автомат QF8 вибирається за встановленою потужністю трансформатора з урахуванням можливих перевантажень.

Автомат QF9 є секційним, і його параметри визначаються відповідно до характеристик ввідного автомата.

Розрахунок параметрів автоматів QF1–QF3 починають із визначення номінальних струмів електродвигунів, які вони захищають. Для цього за довідковими даними встановлюють тип і потужність двигунів, після чого визначають їх номінальні струми:

$$I_{\text{ном.дв.}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \text{ А} \quad (2.23)$$

$$I_{\text{ном.дв.}} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,89 \cdot 0,9} = 75,9, \text{ А}$$

Результати виконаних розрахунків подано у таблиці 2.2.

Відповідно до довідкових даних [4] визначається кратність пускового струму, на основі якої розраховується пусковий струм електродвигунів:

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном.дв.}}, \text{ А} \quad (2.24)$$

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 75,9 = 455,4 \text{ А}$$

За розрахунковими значеннями приймаємо до встановлення автоматичний вимикач типу А3710 з відповідними номінальними параметрами.

При виборі номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, який встановлюється в шафі, необхідно враховувати тепловий поправочний коефіцієнт, що дорівнює 0,85.

$$I_{\text{ном.розч.}} = \frac{I_{\text{ном.дв.}}}{0,85}, \text{ А} \quad (2.25)$$

$$I_{\text{ном.розч.}} = \frac{75,9}{0,85} = 89,3 \text{ А}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		29

Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{\text{ном.розч.}} = 100 \text{ A}$

Встановлюємо неможливість спрацьовування (відбудовуємося від пускових струмів) автомата при пуску двигуна:

$$I_{\text{спрац.ел.}} = 1,25 \cdot I_{\text{пуск.}}, \text{ A} \quad (2.26)$$

$$I_{\text{спрац.ел.}} = 1,25 \cdot 455,4 = 569,3 \text{ A}$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 630 A.

Розраховуємо навантаження шинопровода ШРА – 73 – 1.

При підключенні до шинопроводу трьох двигунів розрахунковим навантаженням буде сума номінальних струмів цих двигунів:

$$I_{\text{розр.ШРА}} = \sum_1^3 I_{\text{ном.дв.}}, \text{ A} \quad (2.27)$$

$$I_{\text{розр.ШРА}} = \sum_1^3 I_{\text{ном.дв.}} = 303 \text{ A}$$

Піковий струм шинопровода визначається з умов пуску найбільш потужного двигуна, приєднаного до шинопроводу:

$$I_{\text{пik}} = I_{\text{пуск.max}} + \sum_1^{n-1} I_{\text{ном.дв.}}, \text{ A} \quad (2.28)$$

$$I_{\text{пik}} = 455,4 + 599,4 + 763,2 = 1818 \text{ A}$$

Вибір номінального струму електромагнітного розчеплювача виконується з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта: $I_{\text{ном.розч.}} \geq I_{\text{розр.ШРА}-1}$

Здійснюємо перевірку щодо неможливості спрацьовування автоматів при пуску наймогутнішого двигуна (відбудова від пускових струмів): $1,25 \cdot I_{\text{пik}} \geq I_{\text{спрац.ел.розч.}}$

Вибір ввідного автомата

Ввідні автомати підбираються за встановленою потужністю цехових трансформаторів з урахуванням можливих перевантажень у післяаварійному режимі роботи:

$$I_{\text{післяав.}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \text{ A} \quad (2.29)$$

$$I_{\text{післяав.}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3407,4 \text{ A}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		30

За струмом післяварійного режиму з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта здійснюється вибір номінального струму селективного автомата відповідно до значення струму з витримкою часу при короткому замиканні:

$$\frac{I_{\text{післяав.}}}{0,85} \leq I_{\text{ном.розч.}} \quad \frac{3407,4}{0,85} \leq I_{\text{ном.розч.}} ; \quad 4008,7 \leq 4000.$$

Приймаємо до установки автомат типу ЕО-40 $I_{\text{післяав.}} = 4000 \text{ А}$.

Вибір секційного автомата

Секційний автомат вибираємо по навантаженню секції або на ступінь нижче за ввідний автомат:

$$I_{\text{розр.секц.}} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot I_{\text{післяав.}}}{0,85}, \text{ А} \quad (2.30)$$

$$I_{\text{розр.секц.}} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot 3407,4}{0,85} = 2405,2 \text{ А}$$

Приймаємо до установки автомат типу ЕО-25, $I_{\text{післяав.}} = 2500 \text{ А}$.

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		31

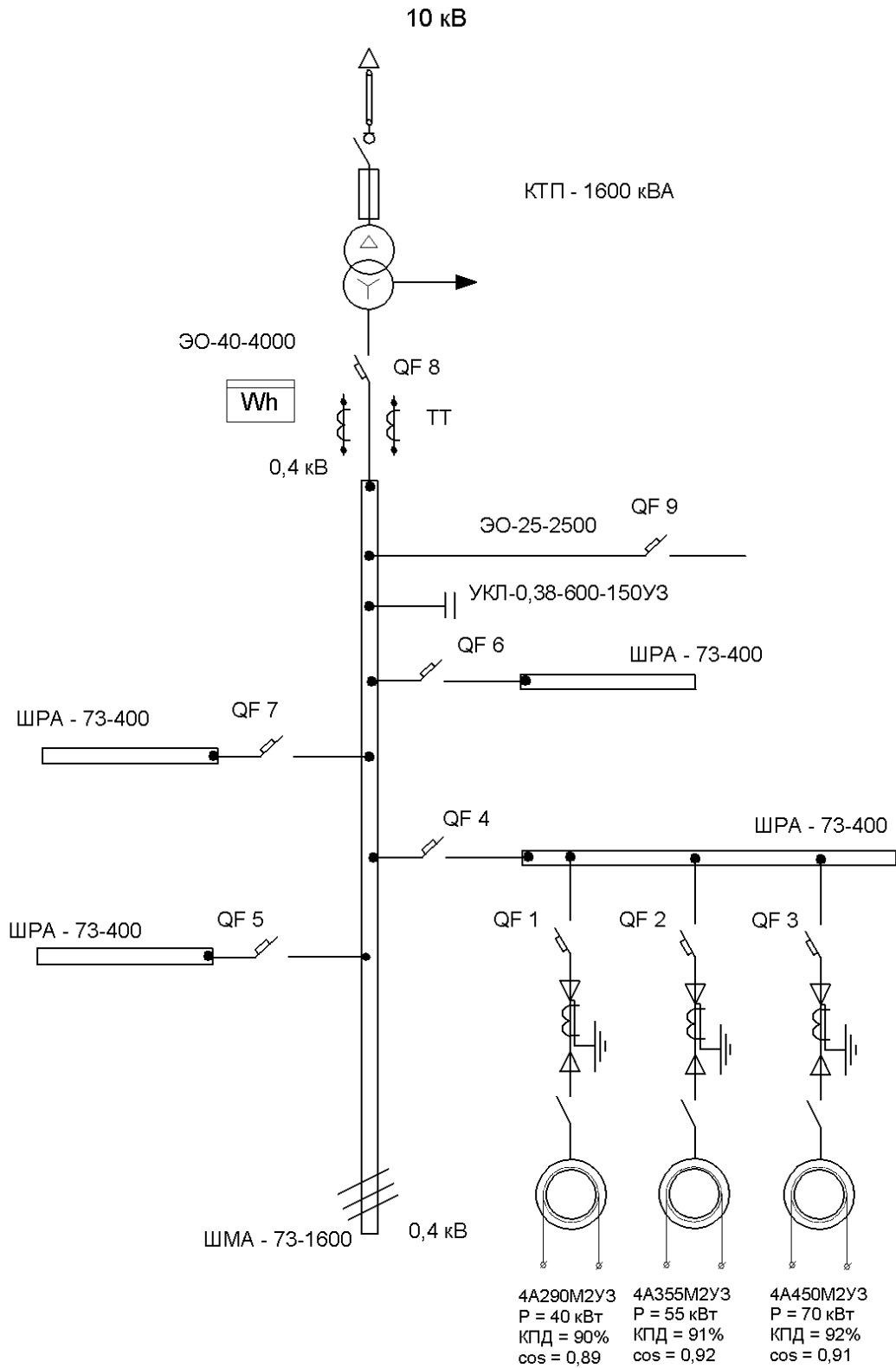


Рисунок 2.3. - Схема БТМ для вибору місць розміщення автоматів та розрахунку їх параметрів

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		32

2.6. Вибір марки і перетини струмоведучих частин

Шинопроводи підбираються за умовою нагрівання з подальшою перевіркою їх на динамічну стійкість:

$$I_{\text{розр.}} \leq I_{\text{трив.доп.}} \quad (2.32)$$

$$I_{\text{розр.ШРА}} = 303 \text{ А}; \quad I_{\text{розр.ШРА}} = 851,8 \text{ А}$$

Підбираємо трижильний кабель з алюмінієвими жилами марки АВВГ перетином 10 мм²: 75,9 ≤ 80 - умова виконується.

До вибору перерізів проводів і кабелів напругою до 1 кВ переходять після підбору захисних апаратів, оскільки попередньо визначений за умовою нагрівання переріз струмоведучих частин необхідно додатково перевірити на відповідність вимогам спрацювання захисту:

$$I_{\text{трив.доп.}} \geq K_3 \cdot I_3 \quad (2.33)$$

де I_3 - номінальний струм розчеплювача або струм спрацювання розчеплювача, А;

K_3 - коефіцієнт захисту; для вибраних умов, при яких експлуатується обладнання – невибухонебезпечне і непожежобезпечне, обладнання працює з можливим технологічним перевантаженням (тельфери, крани, зварювальні агрегати), дроти і кабелі передбачається вибирати з гумовою ізоляцією – коефіцієнт захисту K_3 приймається рівним 1. $115 \cdot 1 \geq 100$ - умова виконується

Приймаємо до установки кабель перетином 25 мм². $I_{\text{трив.доп.}} = 115 \text{ А}$. Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.2. Аналогічно вибираємо перетин дротів до двигунів АД2 і АД3. Далі вибираємо перетин шинопровода розподільний типу ШРА-73 $I_{\text{ном.}} = 400 \text{ А}$ за тих же умов, що і кабелі.

Здійснюємо перевірку вибраних перетинів по втраті напруги:

$$\Delta U_{\text{дійсне}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{розр.}} \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi) \quad (2.34)$$

де $I_{\text{розр.}}$ - струм двигуна, А;

r_0, x_0 - питомий опір кабелю, Ом/км;

$\cos\varphi$ - коефіцієнт активної потужності;

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{розр.}}}{S_{\text{розр.}}} = \frac{2344,7}{3861,1} = 0,61; \quad \sin\varphi = 0,79$$

$$\Delta U_{\text{дійсне}} = \sqrt{3} \cdot 75,9 \cdot 0,05 \cdot (0,6 \cdot 0,61 + 0,8 \cdot 0,79) = 6,55 \text{ В}$$

Всі розрахунки заносяться в таблицю 2.2.

					ЕТ та ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Аркуш
						33
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2. - Вибір параметрів автоматів і струмоведучих частин

№ автомата	Назва автомата (місце в схемі)	Номинальна потужність P_n , кВт/ Розрахункове навантаження P_p , кВт; S_p , кВА	Номинальний струм I_n , А/ Розрахунковий струм I_p , А	Кратність пускового струму K_p	Пусковий струм, піковий струм, I_p , А	Тепловий поправочний коефіцієнт	$\frac{I_{ном}}{0,85}$, А $\frac{I_p}{0,85}$, А	Номинальний струм розчеплювача $I_{розч.}$, А	Струм уставки розчеплювача	Тип автомата, I_n , А	Коефіцієнт захисту K_z	Допустимий струм СВЧ, I_d , А	Перевірка вибраного перетину по умові	Остаточоно вибрана марка і перетин СВЧ, mm^2	Перевірка СВЧ по втраті напруги
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
QF1	ШРА-1-АД-1	40	75,9	6	455,4	0,85	89,3	100	630	A3710Б	1	115	115	АВВГ (3x25)	6,55
QF2	ШРА-1-АД-2	55	99,9	6	599,4	0,85	117,5	125	1000	A3710Б	1	140	140	ААВГ (3x35)	8,62
QF3	ШРА-1-АД-3	70	127,2	6	763,2	0,85	149,6	160	1000	A3710Б	1	170	170	АВВГ (3x70)	10,9
QF4	ШМА-ШРА-1	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	A3730Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF5	ШМА-ШРА-2	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	A3730Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF6	ШМА-ШРА-3	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	A3730Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF7	ШМА-ШРА-4	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	A3730Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF8	Тр-р-ШМА	1600	3407,4	-	-	-	-	4000	-	ЕО-40	-	4000	-	ШМА-73	-
QF9	Секційний	-	2405,2	-	-	-	-	2500	-	ЕО-25	-	2500	-	ШМА-73	-

2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ. Перевірка апаратів і струмоведучих частин на стійкість дії струмів к.з.

Метою розрахунку струмів короткого замикання в мережах напругою до 1 кВ є перевірка обраних автоматичних вимикачів і шинопроводів на термічну та електродинамічну стійкість до впливу струмів КЗ, а також оцінка працездатності захисних апаратів (автоматів і запобіжників) за граничною здатністю відключення та чутливістю захисту.

Для перевірки апаратів за граничною відключаючою здатністю визначають максимальне значення трифазного струму короткого замикання. Для оцінки чутливості захисту розраховують мінімальний струм однофазного короткого замикання у найбільш віддаленій точці мережі від джерела живлення.

Особливості розрахунків струмів КЗ у мережах до 1 кВ полягають у наступному:

- ✓ розрахунок виконується в іменованих одиницях;
- ✓ враховуються активні та індуктивні опори всіх елементів кола КЗ, включаючи провідники, трансформатори струму, струмові котушки автоматів, а також опори дуги, контактів і контактних з'єднань.
- ✓ Порядок виконання розрахунку струмів короткого замикання передбачає:
 - ✓ складання розрахункової схеми з нанесенням точок КЗ;
 - ✓ формування схеми заміщення із заміною всіх елементів активними та індуктивними опорами;
 - ✓ визначення параметрів опорів елементів мережі (прямої, нульової послідовності та ланцюга фаза–нуль);
 - ✓ розрахунок струмів трифазного та однофазного КЗ у заданих точках мережі.

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

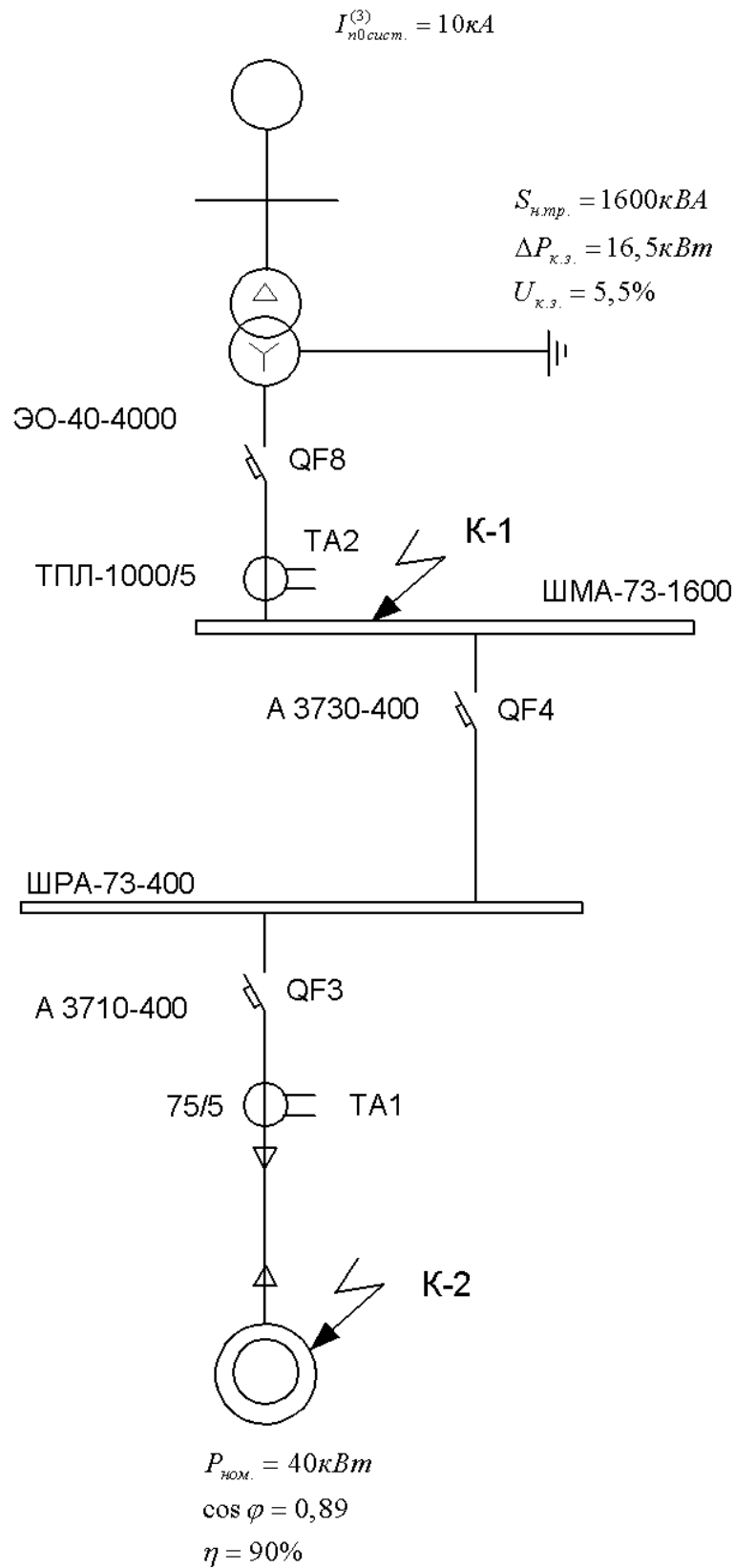


Рисунок 2.4. - Розрахункова схема

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

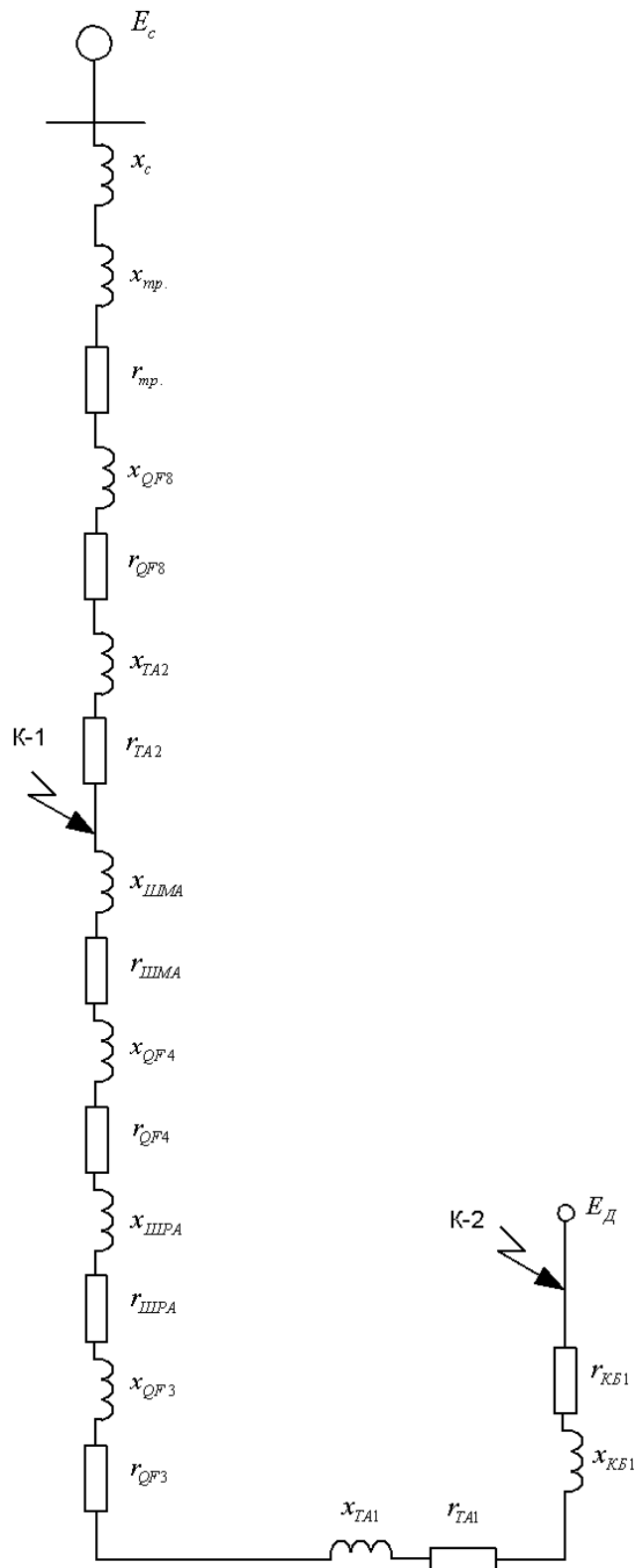


Рисунок 2.5. - Схема заміщення

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.7.1. Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

При живленні електроустановок від енергосистеми через знижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання становить:

$$I_{п.0}^{(3)} = \frac{U_{ср.НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \text{ А} \quad (2.35)$$

де $U_{ср.НН}$ - середня номінальна напруга мережі, в якій відбулося к.з., В.

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

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

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

$$r_{1\Sigma} = r_{1Т} + r_{А8} + r_{ТА2}; \quad x_{1\Sigma} = x_C + x_{1Т} + x_{А8} + x_{ТА2} \quad (2.36)$$

де x_C - еквівалентний індуктивний опір системи до знижувального трансформатора, приведене до сторони низької напруги:

$$x_C = \frac{U_{ср.НН}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.ВН} \cdot U_{ср.ВН}} \quad (2.37)$$

де $U_{ср.ВН}$ - середня номінальна напруга мережі, до якої підключена обмотка вищої напруги трансформатора, В;

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

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

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

Опори елементів мережі приведені в табл. 2.3.

Активні і індуктивні опори прямої послідовності знижувальних трансформаторів $r_{1Т}$ і $x_{1Т}$ визначаються по виразах:

$$r_{1Т} = \frac{\Delta P_{к.з.} \cdot U_{ном.НН}^2 \cdot 10^6}{S_{ном.тр.}^2} \quad (2.38)$$

$$x_{1Т} = \sqrt{U_{к.з.}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{к.з.}}{S_{ном.тр.}} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot U_{ном.НН}^2}{S_{ном.тр.}} \quad (2.39)$$

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

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

$$\Delta P_{к.з.} = 16,5 \text{ кВт};$$

$U_{к.з.}$ - напруга к.з. трансформатора % (довідкові дані трансформатора); $U_{к.з.} = 5,5\%$;

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

$S_{ном.тр.}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА; $S_{ном.тр.} = 1600 \text{ кВА}$.

$$r_{1T} = \frac{16,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1600^2} = 1,03 \text{ мОм} \quad (2.40)$$

$$x_{1T} = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 16,5}{1600}\right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,4^2}{1600} = 5,4 \text{ мОм} \quad (2.41)$$

$$r_{1\Sigma} = 1,03 + 1,1 + 0,05 = 2,18 \text{ мОм};$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 5,4 + 0,5 + 0,07 = 6,77 \text{ мОм}$$

$$I_{п.0}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,18^2 + 6,77^2}} = 32,5 \text{ кА}$$

Необхідність обліку впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається із співвідношення: $I_{ном.дв.\Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{п.0}^{(3)}$ $303 \leq 0,1 \cdot 32500$

Висновок: вплив двигунів в місці к.з. можна не враховувати.

2.7.2. Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці к.з.

Струм однофазного к.з. в точці К-2 розраховується по формулі:

$$I_{п.0min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{\sqrt{(r''_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (x''_{1\Sigma} + x_0)^2}} \quad (2.42)$$

$$\text{де } r''_{1\Sigma} = r'_{1\Sigma} + (r_{\phi-0Ш1} + r_{\phi-0Ш2} + r_{\phi-0КБ});$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + r_{1Ш1} + r_{A4} + r_{1Ш2} + r_{A3} + r_{TA2} + r_{1КБ};$$

$$x''_{1\Sigma} = x'_{1\Sigma} + (x_{\phi-0Ш1} + x_{\phi-0Ш2} + x_{\phi-0КБ});$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + x_{1Ш1} + x_{A4} + x_{1Ш2} + x_{TA2} + x_{1КБ}$$

Опори нульової послідовності: активні і індуктивні опори нульової послідовності знижувальних трансформаторів, обмотки яких з'єднані по схемі Δ/Y при к.з. в мережі низької напруги слід приймати реальні опори прямої послідовності.

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{1Ш1} + r_{A4} + r_{1Ш2} + r_{A3} + r_{TA2} + r_{1КБ}$$

$$r_{1\Sigma} = 1,03 + 1,1 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 1,3 + 0,15 \cdot 20 + 2,15 + 3 + 1,28 \cdot 20 =$$

$$38,4 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_{A8} + x_{TA2} + r_{1Ш1} + r_{A4} + r_{1Ш2} + r_{A3} + r_{TA2} + r_{1КБ}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 5,4 + 0,5 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,7 \cdot 20 + 1,2 + 4,8 + 0,06 \cdot 20$$

$$= 18,6 \text{ мОм}$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\phi-0Ш1} + r_{\phi-0Ш2} + r_{\phi-0КБ})$$

$$r'_{1\Sigma} = 38,4 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 126 \text{ мОм}$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + (x_{\phi-0Ш1} + x_{\phi-0Ш2} + x_{\phi-0КБ})$$

$$x'_{1\Sigma} = 18,6 + (0,056 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 0,15 \cdot 20) = 29,4 \text{ мОм}$$

$$r_{0\Sigma} = r_{0T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{0Ш1} + r_{A4} + r_{0Ш2} + r_{A3} + r_{TA2} + r_{0КБ}$$

$$r_{0\Sigma} = 1,03 + 0,08 + 0,07 + 0,037 \cdot 35 + 1,3 + 0,162 \cdot 20 + 2,15 + 3 + 20 \cdot 2,5 =$$

$$63,1 \text{ мОм}$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0T} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{0Ш1} + x_{A4} + x_{0Ш2} + x_{A3} + x_{TA2} + x_{0КБ}$$

$$x_{0\Sigma} = 5,4 + 0,5 + 0,07 + 0,012 \cdot 35 + 0,7 + 0,164 \cdot 20 + 1,2 + 4,8 + 0,075 \cdot 20 = 17,9 \text{ мОм}$$

$$I_{п.0min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{\sqrt{(2 \cdot r'_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot x'_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \text{ кА} \quad (2.43)$$

$$I_{п.0min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 126 + 63,1)^2 + (2 \cdot 29,4 + 17,9)^2}} = 2,13 \text{ кА}$$

Перевірка автоматів по граничному струму відключення: $I_{пред.відкл.} \geq I_{п.0}^{(3)}$,

де $I_{п.0}^{(3)}$ - максимальний струм трифазного короткого замикання.

$36 \geq 32,5$ - умова виконується, оскільки граничний струм відключення автомата АЗ710Б - $I_{пред.відкл.} = 36 \text{ кА}$.

Перевірка автоматів на чутливість захистів: $I_{п.0}^{(1)} \geq K \cdot I_{уд.}$,

де $I_{п.0}^{(1)}$ - мінімальний струм однофазного к.з. в електрично віддаленій точці ділянки мережі, що захищається

$2,13 \geq 1,25 \cdot 1$ - автомат задовольняє умові перевірки на чутливість захистів.

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Таблиця 2.3. - Опори (питомих) елементів мережі

Опори послідовностей	Питомі опори, мОм/м	Струмоведачі частини			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМА 1600 (Ш 1)	ШРА 400 (Ш 2)	Кабель АВВГ (3х 25) мм ² (К6)	ТА 1 75/5	ТА 2 1000/5	QF3	QF4	QF8
Пряма	r_1	0,03	0,15	1,28	3	0,05	2,15	1,3	1,1
	x_1	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	1,2	0,7	0,5
Нульова	r_0	0,037	0,162	2,5	-	-	-	-	-
	x_0	0,012	0,164	0,075	-	-	-	-	-
Фаза-Нуль	$r_{\phi-0}$	0,067	0,262	4	-	-	-	-	-
	$x_{\phi-0}$	0,056	0,294	0,15	-	-	-	-	-

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

Електроенергія, що використовується для живлення електроприймачів, повинна відповідати встановленим показникам якості (СТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності»), які забезпечують надійну та економічну роботу електрообладнання.

Згідно з ПУЕ, вся електрична мережа - від цехової підстанції до безпосередніх електроприймачів - повинна перевірятися на допустимі відхилення напруги з урахуванням режиму напруги на шинах центру живлення. У разі перевищення допустимих меж відхилень необхідно передбачати відповідні технічні заходи для регулювання рівня напруги в мережі.

Відхилення напруги — це різниця між фактичним значенням напруги та її номінальним значенням за умов повільної зміни напруги, коли швидкість її зміни не перевищує 1% за секунду.

$$U = \frac{U_{\text{факт}} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (2.44)$$

Нормально допустиме відхилення напруги в мережах низької напруги становить $\pm 5\%$, а максимально допустиме - у мережах НН та ВН (до 20 кВ) - $\pm 10\%$.

Втрати від відхилень напруги мають дві складові: електромагнітну та технологічну. Електромагнітна складова пов'язана з додатковими втратами електроенергії в елементах електричної мережі, тоді як технологічна обумовлена зниженням продуктивності технологічного обладнання та ефективності праці.

Найбільш чутливими до змін напруги є освітлювальні установки та конденсаторні батареї. Значення відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора визначається таким чином:

$$U_{11} = U_1 + U_{011} - U_{H1} - U_{01} - \Delta U_T \quad (2.45)$$

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

U_1 - відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

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

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

U_{01} - відхилення напруги регулювального відгалуження;

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

ΔU_T - втрати напруги в трансформаторі:

$$\Delta U_T = \beta \cdot (R_m \cdot \cos\varphi + X_m \cdot \sin\varphi) = \frac{S_{розр.}}{S_{н.тр.}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{к.з.}}{S_{н.тр.}} \cdot \cos\varphi + U_{к.з.} \cdot \sin\varphi \right) \quad (2.46)$$

$$\text{або } \Delta U_T = \frac{Q_{розр.}}{\sin\varphi} \cdot U_{к.з.}$$

де $\Delta P_{к.з.}$, $U_{к.з.}$ - паспортні дані трансформаторів, відповідно втрати к.з., кВт, і напруга к.з. %.

В застосуванні до даних умов маємо: $S_{н.тр.} = 1600 \text{ кВА}$, $U_{к.з.} = 5,5\%$, $\Delta P_{к.з.} = 16,5 \text{ кВт}$.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_{розр.} = \frac{\sqrt{P_{розр.}^2 + Q_{неск.}^2}}{N_{опт}}, \text{ кВА}; \quad S_{розр.} = \frac{\sqrt{2354,6^2 + 426,5^2}}{2} = 1196,5 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт активної потужності визначаємо, виходячи із значення коефіцієнта реактивної потужності: $tg\varphi = \frac{Q_{неск.}}{P_{розр.}} = \frac{426,5}{2530,8} = 0,17$

Отже $tg\varphi = 0,17$, $\cos\varphi = 0,98$.

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

На стороні ВН трансформатора підтримується напруга $10,5 \text{ кВ}$ $U_1 = 5\%$, $U_n = 0$).

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

Втрати напруги в трансформаторі при розрахунковому навантаженні:

$$\Delta U_T = \frac{1196,5}{1600} \cdot \left(\frac{16,5}{1600} \cdot 0,98 + 0,055 \cdot 0,17 \right) = 0,015 = 1,5\%$$

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

$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 1,5 = 3,5\%$ - отримане значення знаходиться в межах норми.

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

При проектуванні слід передбачати упровадження сучасних технічних рішень і нового вітчизняного обладнання. Етапи проектування внутрішньоцехових СЕП були висловлені в ході виконання дипломної роботи. Результатом проектування є однолінійна схема внутрішньоцехового електропостачання (рис. 2.6) і розгорнена схема силової мережі ділянки конверторного цеху заводу металургійної промисловості.

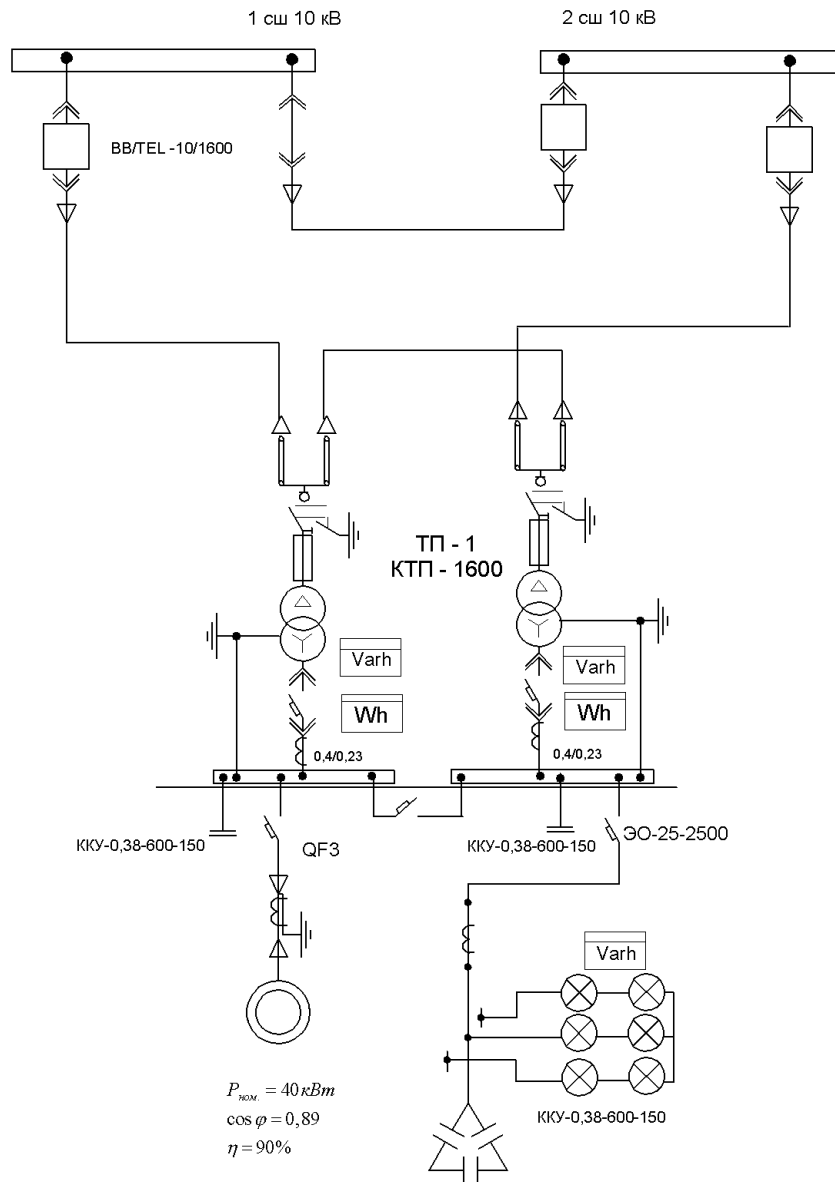


Рисунок 2.6. - Схема живлення цехових трансформаторів подвійними магістралями

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ:

В розділі «Електричні розрахунки» виконано комплексне проектування внутрішньоцехової системи електропостачання з урахуванням особливостей технологічного навантаження та вимог до надійності електропостачання.

В процесі виконання роботи проведено розрахунок електричних навантажень у мережі напругою до 1 кВ для силових та освітлювальних електроприймачів, що дозволило визначити вихідні дані для подальшого вибору обладнання. Виконано розрахунок потужності компенсуючих установок у мережі 0,4 кВ, що забезпечує підвищення коефіцієнта потужності та зниження втрат електроенергії.

Здійснено обґрунтоване розміщення цехових трансформаторів на площі виробничого цеху з урахуванням розташування технологічного обладнання та центрів навантаження, що сприяє скороченню довжин низьковольтних мереж і зменшенню втрат напруги.

Обрано раціональну схему внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ, яка забезпечує необхідний рівень надійності та зручність експлуатації. Виконано вибір типу та параметрів комутаційно-захисних апаратів для одного з приєднань з урахуванням режимів роботи електроприймачів.

Проведено вибір марки та перерізів струмоведучих частин із перевіркою за умовами нагрівання та допустимих втрат напруги. Виконано розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ, а також перевірку комутаційних апаратів і струмоведучих частин на термічну та динамічну стійкість.

Додатково здійснено перевірку показників якості електроенергії, зокрема відхилення напруги на шинах цехової трансформаторної підстанції, що підтвердило відповідність нормованим вимогам.

Завершальним етапом стало розроблення однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження, яка узагальнює результати виконаних розрахунків та забезпечує наочне відображення прийнятих технічних рішень.

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Загальні положення з охорони праці

Охорона праці на підприємствах металургійної промисловості є комплексом організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і правових заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці, збереження здоров'я працівників та запобігання виробничому травматизму.

Проектування системи електропостачання конверторного цеху передбачає врахування вимог чинних нормативних документів, зокрема Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та державних стандартів з охорони праці.

Основними небезпечними факторами в умовах конверторного цеху є:

- ✓ наявність електроустановок напругою до та вище 1000 В;
- ✓ висока температура технологічного обладнання;
- ✓ рухомі частини підйомно-транспортних механізмів;
- ✓ підвищений рівень шуму та вібрацій;
- ✓ можливість виникнення аварійних режимів (короткі замикання, перевантаження).

3.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

В процесі експлуатації системи електропостачання конверторного цеху на персонал можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори:

Електричні небезпеки:

- ураження електричним струмом при дотику до струмоведучих частин;
- виникнення дугових коротких замикань;
- перенапруги в мережі.

Теплові фактори:

- нагрів електрообладнання під час перевантажень;
- вплив високих температур металургійного виробництва.

Механічні фактори:

- рух мостових кранів, тельферів, конвеєрів;
- ризик травмування при обслуговуванні обладнання.

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Санітарно-гігієнічні фактори:

- підвищений рівень шуму від вентиляторів, компресорів;
- пил та газові викиди;
- недостатня освітленість робочих зон.

3.3. Електробезпека при експлуатації електроустановок

Електроустановки конверторного цеху належать до об'єктів підвищеної небезпеки, тому особлива увага приділяється електробезпеці персоналу.

Основні заходи електробезпеки включають:

- ✓ застосування захисного заземлення та занулення;
- ✓ використання автоматичних вимикачів і запобіжників;
- ✓ встановлення пристроїв захисного відключення;
- ✓ блокування доступу до струмоведучих частин;
- ✓ використання попереджувальних плакатів і знаків безпеки.

Електрообладнання повинно мати ступінь захисту відповідно до умов середовища, а обслуговування виконується тільки кваліфікованим персоналом з відповідною групою з електробезпеки.

3.4. Захист від ураження електричним струмом

Основними технічними засобами захисту від ураження електричним струмом є:

- ✓ захисне заземлення металевих частин обладнання;
- ✓ автоматичне вимкнення живлення при аварійних режимах;
- ✓ використання ізоляції проводів та кабелів;
- ✓ вирівнювання потенціалів у виробничих приміщеннях.

Організаційні заходи включають:

- ✓ проведення інструктажів з охорони праці;
- ✓ допуск до роботи лише навченого персоналу;
- ✓ періодичні перевірки стану електроустановок;
- ✓ оформлення нарядів-допусків на виконання робіт.

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

3.5. Пожежна безпека

Пожежна небезпека в конверторному цеху пов'язана з наявністю електрообладнання, мастильних матеріалів, кабельних мереж та високих температур.

Основні заходи пожежної безпеки:

- ✓ використання негорючих та важкогорючих матеріалів;
- ✓ автоматичні системи пожежогасіння;
- ✓ наявність пожежної сигналізації;
- ✓ регулярний контроль стану кабельних ліній;
- ✓ забезпечення доступу до засобів пожежогасіння.

3.6. Виробнича санітарія та мікроклімат

Умови праці в конверторному цеху характеризуються підвищеною температурою, запиленістю та шумом, тому необхідно забезпечити:

- ✓ вентиляцію та аспіраційні системи;
- ✓ нормовані параметри температури та вологості повітря;
- ✓ захист від теплового випромінювання;
- ✓ використання засобів індивідуального захисту (каска, спецодяг, рукавиці, захисні окуляри).

3.7. Освітлення виробничих приміщень

Для забезпечення безпечної роботи персоналу передбачаються системи:

- ✓ загального освітлення виробничих приміщень;
- ✓ місцевого освітлення робочих зон;
- ✓ аварійного освітлення.

Аварійне освітлення належить до споживачів першої категорії та забезпечує безпечну евакуацію персоналу при відключенні основного живлення.

3.8. Заходи безпеки при експлуатації системи електропостачання

В процесі експлуатації електропостачання конверторного цеху необхідно:

- ✓ забезпечити селективність захистів;

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

- ✓ контролювати навантаження мережі;
- ✓ регулярно проводити профілактичні огляди обладнання;
- ✓ застосовувати автоматизацію контролю аварійних режимів;
- ✓ забезпечити резервування живлення споживачів I категорії.

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Реалізація комплексу заходів з охорони праці при проектуванні та подальшій експлуатації системи електропостачання конверторного цеху є одним із ключових факторів забезпечення безпечних умов праці виробничого персоналу. Запропоновані організаційні та технічні рішення дозволяють суттєво знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з електротравматизмом, короткими замиканнями, перевантаженнями обладнання та іншими небезпечними режимами роботи електроустановок.

Окрему увагу приділено забезпеченню надійності роботи електрообладнання та підвищенню рівня електробезпеки шляхом застосування сучасних засобів захисту, автоматизації та резервування живлення споживачів I та II категорій. Це дозволяє не лише мінімізувати ризики для персоналу, але й зменшити можливі економічні втрати підприємства через простой виробництва.

Дотримання вимог чинних нормативних документів з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки є обов'язковою умовою на всіх етапах життєвого циклу електроенергетичної системи - від проектування та монтажу до експлуатації й технічного обслуговування.

В результаті виконання вимог охорони праці забезпечується стабільна, безпечна та безаварійна робота електропостачання конверторного цеху, підвищується загальний рівень надійності електричної мережі та створюються належні умови для ефективної роботи виробничого персоналу підприємства металургійної промисловості.

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі виконано комплексне проектування системи електропостачання вузла навантаження конверторного цеху підприємства металургійної промисловості з урахуванням технологічних особливостей виробництва, категорійності електроприймачів та вимог до надійності електропостачання.

В межах роботи було виконано розрахунок електричних навантажень у мережі напругою до 1 кВ для силових та освітлювальних електроприймачів, що дозволило визначити вихідні параметри для подальшого вибору обладнання та побудови структури системи електропостачання. На основі отриманих даних здійснено розрахунок потужності компенсуючих установок, що забезпечує підвищення коефіцієнта потужності, зниження втрат електроенергії та покращення режимів роботи мережі.

Виконано раціональне розміщення цехових трансформаторів у межах виробничого приміщення з урахуванням центрів електричних навантажень, що дало змогу скоротити довжину внутрішньоцехових мереж, зменшити втрати напруги та підвищити ефективність роботи системи електропостачання.

Обґрунтовано та вибрано схему внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ, яка забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання та зручність експлуатації. Виконано вибір типів і параметрів комутаційно-захисних апаратів для характерних приєднань з урахуванням режимів роботи електроприймачів.

Підібрано марки та перерізи струмоведучих частин із перевіркою за умовами нагрівання та допустимих втрат напруги. Проведено розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ, а також виконано перевірку апаратів і провідників на термічну та динамічну стійкість, що забезпечує їх надійну роботу в аварійних режимах.

Окремо здійснено перевірку показників якості електроенергії, зокрема відхилень напруги на шинах цехової трансформаторної підстанції, що підтвердило відповідність отриманих режимів нормативним вимогам.

Завершальним етапом проектування стало формування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження, яка узагальнює всі прийняті технічні

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

рішення та забезпечує наочне відображення структури системи електропостачання.

В розділі «Охорона праці» визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для умов конверторного цеху, зокрема електричну небезпеку, підвищені температури, шум, рухомі механізми та можливі аварійні режими роботи обладнання.

Запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення електробезпеки персоналу, включаючи застосування захисного заземлення, автоматичних вимикачів, систем резервування живлення, блокувань та попереджувальних засобів. Розглянуто заходи пожежної безпеки, виробничої санітарії, нормалізації мікроклімату та освітлення робочих місць.

Реалізація заходів з охорони праці при проєктуванні та експлуатації системи електропостачання дозволяє забезпечити безпечні умови роботи персоналу, знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та підвищити надійність електропостачання. Дотримання вимог нормативних документів є обов'язковим на всіх етапах життєвого циклу електроустановок - від проєктування до експлуатації.

У цілому виконана робота забезпечує комплексне технічне та безпечне рішення системи електропостачання конверторного цеху, що відповідає сучасним вимогам надійності, економічності та безпеки.

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Електропостачання: конспект лекцій для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня денної і заочної форм здобуття освіти за напрямом G3 Електрична інженерія, освітня програма «Електричні станції, мережі та системи» [Електронний ресурс] / уклад.: Ю.С. Олійник, Д.Р. Подопригора. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2026. – (PDF 92 с.).
2. Електропостачання: методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу для студентів денної форми навчання спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ Ю.С. Олійник, Укр. інж.-пед. академія - Х.: [б.в.], 2020. - 51 с.
3. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: Підручник для вищих навч. закладів/ В. Є. Шестеренко; Нац. ун-т харчових технологій. - Вінниця: Нова книга, 2004. - 656 с.
4. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навч. посібник для вищих навч. закладів/ О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей. - К.: Кондор, 2005. - 407 с.
5. Козирський В.В. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компринт, 2021. – 497с.
6. Оптимізація процесів електропостачання та енергозбереження: конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, І. І. Борзенков, І. І. Дяговченко, Т. М. Загородня. – Суми : Сумський державний університет, 2023 – 125 с.
7. Давиденко Л. В. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Людмила Валеріївна Давиденко, Наталія Володимирівна Коменда, Володимир Анатолійович Давиденко, Микола Миколайович Євсюк – Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022.– 244с.
8. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Вилучено з <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStrategy2030.pdf>
9. Бакалін Ю.І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: навч. посібник для вищих навч. закладів/ Ю. І. Бакалін. - 3-е вид., доп. та перероб. - Х.: БУРУН і К, 2006. - 320 с.

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

10. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.

11. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики у сучасному світі/ [упоряд. С.Г. Плачкова, І.В. Плачков та ін.] – К. 2013 [<http://energetika.in.ua/ua/>]

12. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.

13. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики у сучасному світі/ [упоряд. С.Г. Плачкова, І.В. Плачков та ін.] – К. 2013 [<http://energetika.in.ua/ua/>]

14. ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності».

					ФЕТ і ЕЕ 4815.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55