

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 схеми електропостачання цеху нафтопереробної 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 _____ Владислав ХРАМЦОВ
(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))

Храмцова Владислава 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 схеми електропостачання цеху нафтопереробної
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 проєктується	20.12-10.01	
2	ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ: розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП)	11.01-11.02	
3	Розрахунок потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ	12.02-28.02	
4	Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху	01.03-15.03	
5	Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ	16.03-30.03	
6	Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)	01.04-20.04	
7	Вибір марки і перетини струмоведучих частин	21.04-02.05	
8	Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів короткого замикання	03.05-20.05	
9	Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП	21.05-30.05	
10	Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження	01.06-14.06	
11	Оформлення пояснювальної записки, презентації	15.06-20.06	

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

Здобувач вищої освіти _____ Владислав ХРАМЦОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

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

РЕФЕРАТ

до бакалаврської роботи на тему

«Розробка схеми електропостачання цеху нафтопереробної промисловості»

ХРАМЦОВА ВЛАДИСЛАВА

В роботі розглянуто питання проєктування системи електропостачання вузла технологічного обладнання ковальсько-штампувального цеху підприємства металообробної промисловості.

Об'єктом дослідження є система електропостачання ковальсько-штампувального цеху підприємства металообробної галузі.

Предметом дослідження виступають процеси проєктування, розрахунку та оптимізації зазначеної системи електропостачання.

В процесі виконання роботи було здійснено аналіз технологічного процесу ковальсько-штампувального цеху та визначено категорійність електроприймачів за ступенем надійності електропостачання.

На основі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень методом впорядкованих діаграм, що дозволило визначити максимальні та середні навантаження для окремих груп електроприймачів і цеху в цілому. За результатами розрахунків здійснено вибір кількості та потужності силових трансформаторів, а також виконано розрахунок перерізів кабельних ліній та струмопровідних елементів системи електропостачання.

Крім того, у роботі розроблено та обґрунтовано вибір схеми електропостачання цеху з урахуванням вимог надійності, селективності та безпеки експлуатації. Виконано розрахунок струмів короткого замикання, на основі якого підібрано комутаційно-захисне обладнання.

Окрему увагу приділено компенсації реактивної потужності.

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

ABSTRACT

to the bachelor thesis on the topic

«Development of the power supply scheme of the oil refining industry workshop»

KHRAMTSOV VLADYSLAV

The paper examines the issue of designing the power supply system of the technological equipment unit of the forging and stamping shop of the metalworking industry enterprise.

The object of the study is the power supply system of the forging and stamping shop of the enterprise of the metalworking industry.

The subject of the study is the processes of design, calculation and optimization of the specified power supply system.

In the process of performing the work, an analysis of the technological process of the forging and stamping shop was carried out and the categorization of electrical receivers was determined according to the degree of reliability of power supply.

On the basis of the initial data, the calculation of electrical loads was performed using the method of ordered diagrams, which made it possible to determine the maximum and average loads for individual groups of electrical receivers and the workshop as a whole. Based on the results of the calculations, the number and power of power transformers were selected, and the cross-sections of cable lines and current-conducting elements of the power supply system were calculated.

In addition, the work developed and substantiated the choice of the workshop power supply scheme, taking into account the requirements of reliability, selectivity and operational safety. The calculation of short-circuit currents was performed, on the basis of which switching and protection equipment was selected.

Particular attention was paid to reactive power compensation.

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

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
Вихідні дані	8
ВСТУП	9
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБ'ЄКТУ, ЩО ПРОЄКТУЄТЬСЯ	11
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	18
2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умови вибору оптимального числа цехових трансформаторів	18
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)	29
2.6. Вибір марки і перетини струмоведучих частин	32
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	38

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ				
					Розробка схеми електропостачання цеху нафтопереробної промисловості				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Храмцов В.В.			Пояснювальна записка				
Перевір.		Олійник Ю.С.							
Т. Контр.									
Реценз.									
Н. Контр.					ДЕА-Е22+Е23пр				
Затверд.		Чернюк А.М.							

2.7.2.Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці к.з.	39
2.8. Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП	42
2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання цеху	44
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	46
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	47
3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	47
3.2 Заходи щодо забезпечення електробезпеки	47
3.3 Пожежна та вибухова безпека	48
3.4 Вимоги до виробничого освітлення	49
3.5 Захист навколишнього середовища	49
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	50
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						7
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1. - Вихідні дані

Електроприймачі напругою до 1 кВ																
Газоочисні споруди		Електрознес олюючі установки		Вентилятори		Насоси, компресори		Крани, тельфери, ТВ = 25%		Крани, тельфери, ТВ = 40%		Зварювальні машини шовного зварювання (потужність дана в кВА)		Елеватори, конвейери зблоковані		Площа цехів
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, м²
$\frac{70}{850}$	$\frac{5}{40}$	$\frac{30}{510}$	$\frac{10}{80}$	$\frac{20}{430}$	$\frac{5}{30}$	$\frac{70}{500}$	$\frac{5}{20}$	$\frac{60}{680}$	$\frac{5}{40}$	$\frac{25}{120}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{30}{560}$	$\frac{10}{40}$	$\frac{50}{950}$	$\frac{3}{100}$	9500

ВСТУП

Однією з ключових проблем сучасної електроенергетики є зменшення енергоємності національного доходу, що передбачає активне впровадження заходів з енергозбереження та раціонального використання енергетичних ресурсів. Досягнення цієї мети можливе насамперед шляхом ефективного використання вже виробленої електричної енергії, мінімізації втрат під час її передачі та споживання, а також удосконалення режимів роботи електроенергетичних систем. Боротьба з нераціональним використанням енергії є основою екологічно безпечної, економічно стабільної та соціально орієнтованої енергетичної політики будь-якої держави.

Одним із головних напрямів економії електроенергії є впровадження більш економічних і оптимізованих режимів роботи електростанцій, електричних мереж та систем електропостачання загалом. Ефективність функціонування енергосистеми досягається завдяки забезпеченню економічної роботи всіх її структурних елементів, раціональному розподілу навантажень між джерелами живлення, врахуванню втрат при передачі електроенергії, а також правильному вибору структури та складу електротехнічного обладнання систем електропостачання.

Особливу роль у процесі енергозбереження відіграє промисловість, оскільки саме промислові підприємства є найбільшими споживачами електричної енергії. На їхню частку припадає понад 70% загального обсягу споживання електроенергії. У зв'язку з цим впровадження енергозберігаючих технологій у промисловій сфері є одним із пріоритетних завдань сучасної енергетики. Значну частину електроспоживачів становлять електроприводи загальнопромислових механізмів, таких як насоси, вентилятори, компресори, підйомно-транспортні машини та потоково-транспортні системи, які широко застосовуються у різних галузях народного господарства.

Для забезпечення безперебійного постачання електроенергії необхідної якості та у потрібній кількості промисловим підприємствам використовуються системи електропостачання промислових підприємств (СЕП ПП), до складу яких входять електричні мережі напругою до 1 кВ і вище, трансформаторні підстанції, розподільні пристрої та перетворювальні установки. Надійність функціонування таких систем

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						9
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

має надзвичайно важливе значення, оскільки від неї залежить стабільність роботи технологічного обладнання та безпека виробничих процесів.

Споживачі електричної енергії мають свої специфічні особливості, що визначають вимоги до систем електропостачання, зокрема щодо надійності електропостачання, якості електроенергії, резервування, автоматизації та захисту окремих елементів системи. Під час проєктування СЕП необхідно виконати техніко-економічне обґрунтування вибору рівня напруги, визначити електричні навантаження, вибрати кількість і потужність трансформаторних підстанцій, передбачити системи компенсації реактивної потужності, засоби релейного захисту та способи регулювання напруги. Комплексне вирішення цих питань дозволяє забезпечити ефективну, надійну та економічну роботу системи електропостачання.

Метою бакалаврської роботи є формування практичних навичок та професійних компетенцій у галузі проєктування внутрішньоцехових систем електропостачання на основі сучасних принципів побудови та функціонування систем електропостачання промислових підприємств. Особлива увага приділяється питанням енергоефективності, надійності та економічності роботи електротехнічного обладнання.

Основним завданням бакалаврської роботи є набуття практичного досвіду самостійного розв'язання комплексних інженерних задач у сфері електропостачання промислових підприємств із використанням сучасних методів розрахунку, новітніх технічних рішень та досягнень науки і техніки.

Об'єкт дослідження – система електропостачання промислового підприємства та процеси розподілу і споживання електричної енергії у внутрішньоцехових електричних мережах.

Предмет дослідження – методи та технічні засоби підвищення ефективності, надійності та економічності систем електропостачання промислових підприємств, а також принципи проєктування внутрішньоцехових електричних мереж і вибору електротехнічного обладнання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						10
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Характеристика технологічного процесу дає можливість оцінити можливі наслідки раптових перерв в електропостачанні та визначити величину ймовірних економічних і технологічних збитків. На основі такого аналізу встановлюється категорійність електроспоживачів за ступенем надійності електропостачання, а також виявляються специфічні види навантажень, що потребують особливих умов живлення. Результати аналізу технологічного процесу дозволяють обґрунтовано вибрати кількість джерел живлення, структуру живильних і розподільних мереж, а також необхідність застосування засобів мережевої автоматики та резервування.

В роботі розглядається цех нафтопереробної промисловості, до складу якого входять газоочисні споруди, електрознесолювальні установки, вентилятори, насоси, компресори, крани, тельфери, зварювальні установки, елеватори та заблоковані конвеєрні лінії.

Вентилятори, насоси та компресори належать до основних електроприймачів цеху. Режим роботи їх електроприводів є тривалим, оскільки вони функціонують безперервно протягом значного проміжку часу. Для підприємств нафтопереробної промисловості зупинка компресорів, насосів або вентиляційних систем може призвести до порушення технологічного циклу, аварійних ситуацій чи значних матеріальних втрат. Тому вентилятори, насоси та компресори даного цеху відносяться до електроспоживачів I категорії за ступенем надійності електропостачання і повинні забезпечуватися резервним живленням.

До підйомно-транспортних механізмів, що розглядаються в дипломі, належать крани та тельфери. Їх режим роботи є повторно-короткочасним із тривалістю включення (ТВ) у межах від 15 до 60%. В процесі експлуатації крани та тельфери переміщуються спеціальними шляхами, а електроживлення до них подається через контактні проводи – тролєї. Надійність роботи підйомно-транспортного обладнання має важливе значення для забезпечення нормального функціонування виробничого процесу, однак короткочасне припинення їх роботи не призводить до критичних наслідків. У зв'язку з цим крани та тельфери належать до електроспоживачів II категорії за надійністю електропостачання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						11
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

До установок електрозварювання, що розглядаються у даному проєкті, належать машини шовного зварювання, які широко застосовуються у виробничих процесах на промислових підприємствах. Для здійснення електрозварювання використовується як постійний, так і змінний струм. Постійний струм отримують за допомогою спеціальних перетворювачів, тоді як змінний струм може мати нормальну промислову частоту 50 Гц, а також знижену (2–10 Гц) або підвищену (100–360 Гц) частоту залежно від технологічних вимог.

Електрозварювальні установки змінного струму промислової частоти створюють значне навантаження на систему електропостачання підприємства через низку характерних особливостей. Насамперед, таке навантаження є однофазним, а потужність окремих зварювальних машин може досягати 1200 кВА. Крім того, для зварювального обладнання характерний низький коефіцієнт потужності: для дугового зварювання він становить приблизно 0,3–0,35, а для контактного – у межах 0,2–0,6. Ще однією особливістю є повторно-короткочасний режим роботи з малими значеннями тривалості включення (ТВ), що супроводжується значними стрибками навантаження. Такі коливання негативно впливають на якість електроенергії та режим роботи електричних мереж.

Для освітлення промислових підприємств використовуються різні типи електричних джерел світла, зокрема лампи розжарювання, галогенні лампи, люмінесцентні лампи, а також ртутні кварцові лампи. Потужність освітлювальних установок може змінюватися в широких межах залежно від призначення приміщень, умов праці та технологічних вимог.

На промислових підприємствах застосовується загальне та комбіноване освітлення. Комбіноване освітлення поєднує загальне освітлення приміщення з місцевим освітленням окремих робочих зон, що дозволяє забезпечити необхідний рівень освітленості для виконання технологічних операцій. За функціональним призначенням освітлення поділяється на робоче та аварійне. Робоче освітлення забезпечує нормальні умови праці персоналу, тоді як аварійне освітлення призначене для підтримання безпеки людей і технологічного процесу у разі зникнення основного живлення. Аварійне освітлення відноситься до електроспоживачів I категорії за надійністю електропостачання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		12

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

В розділі «Загальна характеристика технологічного процесу об'єкту, що проектується» розглянуто загальну характеристику технологічного процесу цеху нафтопереробної промисловості, визначено його призначення, особливості виробництва та склад основного технологічного обладнання. Проведений аналіз показав, що технологічний процес характеризується безперервним режимом роботи, значною кількістю електроприймачів різної потужності та високими вимогами до надійності електропостачання.

Встановлено, що до складу електроспоживачів цеху входять електродвигуни насосних установок, компресорів, вентиляторів, систем автоматизації, контрольно-вимірювальних приладів, освітлювальних установок та іншого допоміжного обладнання. Порухення електропостачання окремих технологічних установок може призвести до зниження продуктивності виробництва, погіршення якості продукції, виникнення аварійних ситуацій та значних економічних збитків.

На основі аналізу технологічного процесу визначено категорійність електроспоживачів за надійністю електропостачання відповідно до вимог нормативних документів. Встановлено необхідність застосування технічних рішень, які забезпечують безперебійне живлення відповідальних електроприймачів та резервування джерел електропостачання для споживачів I та II категорій.

Отримані результати аналізу технологічного процесу стали основою для подальшого розрахунку електричних навантажень, вибору схеми внутрішньоцехового електропостачання, визначення параметрів силового обладнання та розроблення заходів щодо підвищення надійності й енергоефективності системи електропостачання цеху нафтопереробної промисловості.

Таким чином, проведене дослідження технологічного процесу дозволило сформулювати вихідні дані для проектування раціональної та технічно обґрунтованої системи електропостачання, яка забезпечуватиме надійну, безпечну та економічно ефективну роботу виробничого об'єкта.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						13
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

Електричні навантаження являють собою змінні в часі значення активної потужності P , кВт, реактивної потужності Q , квар, та сили струму I , А, які змінюються відповідно до режимів роботи електроспоживачів і особливостей технологічного процесу. Характер і величина електричних навантажень є одними з основних параметрів, що визначають умови роботи системи електропостачання.

На основі розрахунку електричних навантажень здійснюється вибір основних елементів системи електропостачання, зокрема визначаються кількість і потужність силових трансформаторів на всіх рівнях електропостачання, параметри комутаційних та захисних апаратів, а також необхідні перерізи струмопровідних частин електричних мереж.

Точність розрахунку очікуваних електричних навантажень безпосередньо впливає на техніко-економічні показники системи електропостачання, що проєктується. Завищення розрахункових навантажень призводить до необґрунтованого збільшення капіталовкладень, вибору обладнання із надлишковими параметрами, неефективного використання матеріальних ресурсів та погіршення режимів роботи системи за активною потужністю. В свою чергу, заниження електричних навантажень може стати причиною перевантаження елементів електроустановки, перегріву струмопровідних частин, прискореного старіння ізоляції, скорочення терміну 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 знижувальної підстанції (ГЗП) або підстанції глибокого вводу (ПГВ).

Використовуємо метод впорядкованих діаграм, який зараз є основним при розробці технічних і робочих проєктів електропостачання.

По цьому методу розрахункове активне навантаження приймачів електроенергії на всіх ступенях живлячих і розподільчих мереж (включаючи

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						14
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

трансформатори і перетворювачі) визначають по середньому навантаженню і коефіцієнту розрахункового навантаження по виразу:

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

Розрахунковий коефіцієнт навантаження K_p визначаємо по таблиці [1], як функцію n і $K_{ігр.серваж.}$ (ефективного числа ЕП і групового коефіцієнта використання).

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

Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів

Розрахунок електричних навантажень виконується для однієї характерної групи електроспоживачів. Результати розрахунків для інших характерних груп узагальнені та наведені у таблиці 2.1.

Для електродвигунів, які працюють у повторно-короткочасному режимі (ПКР), приведення їх номінальної паспортної потужності до еквівалентного тривалого режиму роботи при тривалості включення $TB = 100\%$ здійснюється за відповідним розрахунковим виразом:

$$P_{Hi} = P_{паспi} \cdot \sqrt{TB_i}, \text{ кВт}; \quad P_{Hi} = S_{Hi} \cdot \cos\varphi_i \sqrt{TB_i}, \text{ кВт}$$

Для кранів і тельферів з $TB = 25\%$: $P_H = 680 \cdot \sqrt{0,25} = 340$ (кВт).

Для кранів і тельферів з $TB = 40\%$: $P_H = 120 \cdot \sqrt{0,40} = 75,9$ (кВт).

Номінальну потужність зварювальних трансформаторів визначаємо таким чином: $P_H = 560 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{0,25} = 196$ (кВт).

Дані графі 6 таблиці 2.1. підсумовуються: $\sum_i^m P_{Hi}$, кВт.

де m - число характерних груп ЕП.

Для кожної характерної групи ЕП визначається середнєзмінне навантаження за саму завантажену зміну по виразу:

$$P_{сзмі} = P_{Hi} \cdot K_{Hi}, \text{ кВт}; \quad Q_{сзмі} = P_{Hi} \cdot \tg\varphi_i, \text{ квар}$$

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

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

Визначаються сумарні значення середнєзмінного навантаження за саму завантажену зміну по цеху:

$$\sum_i^m P_{\text{сзми}} = \sum_i^m P_{\text{Hi}} \cdot K_{\text{Hi}}, \text{ кВт}; \quad \sum_i^m Q_{\text{сзми}} = \sum_i^m P_{\text{Hi}} \cdot \text{tg}\varphi_i, \text{ квар}$$

$$P_{\text{сзми}} = 850 \cdot 0,5 = 425 \text{ кВт}; \quad Q_{\text{сзми}} = 425 \cdot 1,02 = 433,5 \text{ квар}$$

Визначаємо середнєважений (груповий) коефіцієнт використання:

$$K_{\text{гр}} = \frac{\sum_i^m P_{\text{сзми}}}{\sum_i^m P_{\text{Hi}}} = \frac{2513,5}{3851,9} = 0,65$$

Значення $K_{\text{гр}}$ заносяться в таблицю.

Визначення ефективного числа ЕП

На формування абсолютного максимуму групового графіка навантаження, який є вихідною величиною для вибору параметрів елементів системи електропостачання за умовами нагріву, впливає значна кількість випадкових факторів.

Для спрощення методики визначення розрахункового максимуму навантаження вводиться поняття ефективної кількості електроприймачів. Ефективним числом електроприймачів називають таку умовну кількість однакових за встановленою потужністю та режимом роботи електроприймачів, яка створює той самий розрахунковий максимум навантаження, що й фактична група електроприймачів, різних за потужністю та характером роботи.

Ефективне число роботи ЕП по всьому вузлу навантаження визначається по виразу:

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^m P_{\text{Hi}}}{P_{\text{Hmax}}} = \frac{2 \cdot 3851,9}{100} = 77,0$$

де P_{Hmax} - одинична номінальна потужність наймогутнішого ЕП в розрахунковому вузлі.

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

Визначення коефіцієнта розрахункового навантаження K_p

Залежно від середнєваженого (групового) значення коефіцієнта використання $K_{\text{гр}}$ і ефективного числа ЕП $n_{\text{еф}}$ визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження K_p .

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						16
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{igr} = 0,65; n_{ef} = 77,0. \text{ Отже, } K_p = 0,8.$$

Під активним розрахунковим максимальним навантаженням P_p розуміють умовне постійне за величиною та незмінне в часі навантаження, яке за своїм тепловим впливом на елементи системи електропостачання є еквівалентним реальному змінному навантаженню.

Таке навантаження використовується для оцінки найбільш несприятливого режиму роботи елементів СЕП за умовами нагріву та вибору їх допустимих параметрів.

Активне розрахункове навантаження групи ЕП напругою до 1 кВ визначається по виразу:

$$P_p = K_p \cdot \sum_i^m P_{сзми}, \text{ кВт}; \quad P_p = 0,8 \cdot 2513,5 = 2010,8 \text{ кВт}$$

З урахуванням особливостей споживання реактивної потужності електроприймачами, яке в незначній мірі залежить від рівня їх активного навантаження, приймаємо:

$$Q_p = \sum_i^m Q_{сзми}, \text{ квар}; \quad Q_p = 2042,6 \text{ квар}$$

Повне розрахункове навантаження, формоване силовими ЕП, визначається по виразу:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА}; \quad S_p = \sqrt{2010,8^2 + 2042,6^2} = 2866,3 \text{ кВА}$$

Значення розрахункового струмового навантаження, за яким здійснюється вибір перерізу струмопровідних елементів, а також визначаються необхідні параметри електричних апаратів, обчислюється за таким виразом:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А}; \quad I_p = \frac{3053,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4645,3 \text{ А}$$

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

Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів

Розрахункові навантаження освітлювальних електроприймачів визначаються на основі встановленої потужності всіх освітлювальних установок, що входять до складу проектного об'єкта, з урахуванням умов їх експлуатації та режимів роботи. При цьому враховується коефіцієнт попиту, який відображає імовірність

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						17
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

одночасного включення всіх джерел світла та ступінь їх фактичного використання у різні періоди часу.

Таким чином, використання встановленої потужності разом із коефіцієнтом попиту забезпечує більш обґрунтоване визначення розрахункових навантажень освітлювальних електроприймачів і сприяє підвищенню економічності та надійності системи електропостачання:

$$P_{p.osv.} = P_{n.osv.} \cdot K_{pop.osv.} \cdot K_{пра}, \text{ кВт}; \quad Q_{p.osv.} = P_{p.osv.} \cdot tg\varphi, \text{ квар}$$

де $K_{pop.osv.}$ - коефіцієнт попиту освітлювальних установок;

$K_{pop.osv.} = 0,95$ для виробничих будівель, що складаються з окремих крупних прольотів;

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

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

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

Встановлена потужність електричного освітлення:

$$P_{n.osv.} = P_{пит.} \cdot F \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}; \quad P_{n.osv.} = 20 \cdot 9500 \cdot 10^{-3} = 190 \text{ кВт}$$

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

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

F - площа цеху, м^2 ; $F = 9500 \text{ м}^2$.

$$P_{розр.osv.} = 190 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 198,6 \text{ кВт}; \quad Q_{розр.osv.} = 198 \cdot 0,33 = 65,5 \text{ квар}$$

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 і виконується у два послідовні етапи розрахунку.

На першому етапі здійснюється вибір економічно доцільної кількості трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП). При цьому визначається необхідна потужність ККП на рівні 0,38 кВ, яка забезпечує оптимальне число трансформаторів у цеху та відповідні умови їх роботи.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						18
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Другий етап передбачає визначення додаткової потужності ККП-0,38 кВ, що спрямована на зменшення втрат електроенергії у трансформаторах цехових ТП та у живильних мережах напругою вище 1 кВ. Це досягається шляхом компенсації реактивних перетоків потужності, які проходять через трансформатори та впливають на втрати в системі електропостачання.

Таким чином, сумарна реактивна потужність компенсуючих пристроїв на рівні 0,38 кВ визначається як сума складових, отриманих на двох зазначених етапах розрахунку:

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

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

Отримана сумарна потужність ККП-0,38 кВ розподіляється між окремими трансформаторами цехових ТП пропорційно їх реактивним навантаженням, що забезпечує рівномірну компенсацію та оптимізацію режимів роботи системи електропостачання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						19
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1. - Розрахунок електричних навантажень напругою до 1 кВ

Вихідні дані						Довідкові дані		Середнєзмін. навантаження за саму завантажену зміну		Ефективне число ЕП, $n_{\text{еф}}$	Коефіцієнт розрахункового навантаження K_p	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий струм $I_p, \text{А}$
№ п/п	Найменування характерних груп ЕП	Кіль кіст ь, n , шт	Паспортні дані характерних груп ЕП		Ном поту ж. харак терни х груп ЕП	Коефіцієнт використання, $K_{\text{вик.}}$	$\cos\varphi / \tan\varphi$	$P_{\text{серзм.}},$ кВт	$Q_{\text{серзм.}},$ квар			$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВ А	
			Одного ЕП P_{nmin}/P_{nmax} , кВт	Загаль на $P_{\text{пасп.}},$ кВт											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Газоочисні споруди	70	$\frac{5}{40}$	850	850	0,5	$\frac{0,7}{1,02}$	425	433,5	-	-	-	-	-	-
2	Електрознсольюючі установки	30	$\frac{10}{80}$	510	510	0,45	$\frac{0,65}{1,17}$	229,5	268,5	-	-	-	-	-	-
3	Вентилятори	20	$\frac{5}{30}$	430	430	0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	279,5	209,6	-	-	-	-	-	-
4	Насоси, компресори	70	$\frac{5}{20}$	500	500	0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	325	243,8	-	-	-	-	-	-
5	Крани, тельфери, ТВ = 25%	60	$\frac{5}{40}$	680	340	0,18	$\frac{0,45}{1,98}$	612	121,2	-	-	-	-	-	-
6	Крани, тельфери, ТВ = 40%	25	$\frac{3}{12}$	120	75,9	0,18	$\frac{0,45}{1,98}$	13,7	27,1	-	-	-	-	-	-

Ізм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата													Лист
					ЕН 052.070.000 ПЗ												21
7	Зварювальні машини шовної зварки (потуж. в кВА)	30	$\frac{10}{40}$	560	196	0,3	$\frac{0,35}{2,68}$	58,8	157,6	-	-	-	-	-	-		
8	Елеватори, конвейєри зблоковані	50	$\frac{3}{100}$	950	950	0,6	$\frac{0,7}{1,02}$	570	581,4	-	-	-	-	-	-		
9	РАЗОМ силові ЕП	355	-	-	3851,9	$K_{i,гр.} = 0,65$	-	2513,5	2042,6	77,0	0,8	2010,8	2042,6	2866,3	-		
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху F=9500 м²)	-	-	-	20	-	-	-	-	-	$K_{п.осв.} = 0,95$	198,6	65,5	-	-		
11	ВСЬОГО по цеху	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2209,4	2108,1	3053,8	4645,3		

2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв по умові 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, розрахункове активне навантаження, а також інші фактори, зумовлені технічними умовами.

Потужність цехових трансформаторів визначається з урахуванням питомої щільності навантаження цеху та повного розрахункового навантаження вузла (кВА):

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

За питомої щільності навантаження понад 0,2–0,3 кВА/м² та сумарного навантаження більше 3000–4000 кВА доцільно застосовувати цехові трансформатори потужністю 1600–2500 кВА. Якщо ж ці показники є нижчими, рекомендується використовувати трансформатори потужністю 400–1000 кВА.

Для трансформаторів цехових підстанцій зазвичай приймають такі коефіцієнти завантаження:

- для цехів з переважаючим навантаженням 1-й категорії при двох трансформаторних підстанціях - $\beta = 0,65 - 0,7$;
- для цехів з переважаючим навантаженням 2-й категорії при трансформаторних підстанціях з взаємним резервуванням трансформаторів - $\beta = 0,7 - 0,8$;
- для цехів з переважаючим навантаженням 2-й категорії при нагоді використання централізованого резерву трансформаторів і для цехів з навантаженням 3-їй категорії - $\beta = 0,9 - 0,95$.

Електроприймачі першої категорії забезпечуються електроживленням від двох незалежних джерел, при цьому перерва в електропостачанні допускається лише на час спрацювання автоматичного введення резерву (АВР). Електроприймачі другої категорії також живляться від двох незалежних джерел, однак допустима перерва відповідає часу, необхідному для ручного підключення резервного живлення.

Для живлення електроприймачів першої та другої категорій доцільно застосовувати однострансформаторні цехові підстанції напругою 10(6)/0,4–0,23 кВ за

умови забезпечення резервування потужності через перемички низької напруги, пропускна здатність яких дозволяє жити найбільш відповідальних споживачів.

Використання одностансформаторних підстанцій дає змогу максимально наблизити їх до центрів електричних навантажень, що скорочує довжину мережі електропостачання та сприяє зменшенню втрат електроенергії. Двотрансформаторні цехові підстанції доцільно застосовувати при значних зосереджених навантаженнях або у випадках, коли переважають електроприймачі першої категорії.

Вибір кількості цехових трансформаторів здійснюється таким чином: для кожної технологічно зосередженої групи трансформаторів однакової потужності мінімальна їх кількість, необхідна для покриття максимального активного розрахункового навантаження, визначається за відповідною формулою:

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

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.

$$N_{min} = \frac{2209,4}{0,74 \cdot 1000} + 0,02 = 3 \text{ шт}$$

Економічно оптимальне число трансформаторів визначається:

$$N_{опт} = N_{min} + m = 3 + 0 = 3 \text{ шт}$$

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

По вибраному економічно оптимальному числу трансформаторів визначають найбільшу реактивну потужність Q_T , квар, яку доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

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

$$Q_T = \sqrt{(0,74 \cdot 3 \cdot 1000)^2 - (2209,4)^2} = 216,7 \text{ квар}$$

Сумарну потужність низьковольтних конденсаторних батарей (НБК), квар, що забезпечує економічно доцільну кількість трансформаторів, визначають за відповідною залежністю:

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						23
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\text{розр.}} - Q_T, \text{квар}; \quad Q_{\text{нк1}} = 2108,1 - 216,7 = 1891,4 \text{ квар}$$

Потужність НБК, що доводиться на один трансформатор:

$$Q'_{\text{нк1}} = \frac{Q_{\text{нк1}}}{N_{\text{опт}}}, \text{квар}; \quad Q'_{\text{нк1}} = \frac{1891,1}{3} = 630,5 \text{ квар}$$

По цьому значенню вибираємо стандартне значення комплектних конденсаторних установок $Q'_{\text{нк1, дов.}}$ [2]: 2 ККП-0,38-600-150.

Сумарна потужність ККУ для даної групи оптимального числа цехових трансформаторів складе:

$$Q'_{\text{нк1, дов.}} = N_{\text{опт}} \cdot Q'_{\text{нк1, дов.}}, \text{квар}; \quad Q'_{\text{нк1, дов.}} = 3 \cdot 600 = 1800 \text{ квар}$$

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

Визначення потужності НБК в цілях оптимального зниження втрат:

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

де γ - розрахунковий коефіцієнт, визначуваний залежно від коефіцієнтів K_1 і K_2 і схеми живлення цехових ТП по кривих [2], виходячи із значень K_1 і K_2 .

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

Реактивна потужність, що не компенсується, в мережі до 1 кВ складе:

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

$$Q_{\text{неск.}} = 2108,1 - 1800 = 308,1 \text{ квар}$$

Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів $Q_{\text{неск.}}$, квар, в цілях оптимального зниження втрат: $Q_{\text{нк2}} = 308,1 - 0,44 \cdot 3 \cdot 1000 = -1011,9 \text{ квар}$

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, схемою розміщення технологічного обладнання (з урахуванням можливого встановлення внутрішньоцехових компенсуючих пристроїв), а також мікрокліматичними умовами цеху, що залежать від особливостей технологічного процесу.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						24
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Насамперед доцільно застосовувати комплектні трансформаторні підстанції (КТП), які дозволяють виконувати монтаж незалежно від будівельної частини. Розміщення КТП якомога ближче до центрів електричних навантажень сприяє зменшенню витрат кольорових металів і зниженню втрат електроенергії в цехових мережах.

Застосування розукрупненої системи підстанцій із максимальним їх наближенням до центрів навантажень дозволяє вже на етапі проєктування ефективно вирішувати завдання енергозбереження.

Вибір місця встановлення КТП, а також визначення кількості й потужності трансформаторів має забезпечувати покриття розрахункових навантажень з урахуванням умов навколишнього середовища та необхідного рівня надійності електропостачання.

Залежно від умов експлуатації та особливостей технологічного процесу цехові трансформаторні підстанції можуть мати різне виконання: внутрішньоцехове, вбудоване, прибудоване або окремо розташоване.

Оскільки даний вузол навантаження представлений цехом нафтопереробного підприємства, обрано варіант внутрішньоцехового розміщення трансформаторів. Такі підстанції зазвичай встановлюють біля колон цеху, у зонах, що не використовуються мостовими кранами.

В виробництвах, де відсутнє переміщуване обладнання, цехові трансформаторні підстанції забезпечують підведення напруги понад 1 кВ безпосередньо до місць споживання електроенергії. Це дозволяє зменшити довжину мереж низької напруги, що, у свою чергу, забезпечує економію коштів на внутрішньоцехові мережі та знижує втрати електроенергії. Схема розміщення цехових трансформаторів наведена на листі №1 роздаткового матеріалу.

Двотрансформаторні комплектні підстанції, як правило, застосовуються при високій щільності навантаження, а також у разі наявності електроприймачів першої категорії. Потужність трансформаторів для таких підстанцій обирається з урахуванням допустимих перевантажень (рис. 2.1).

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						25
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

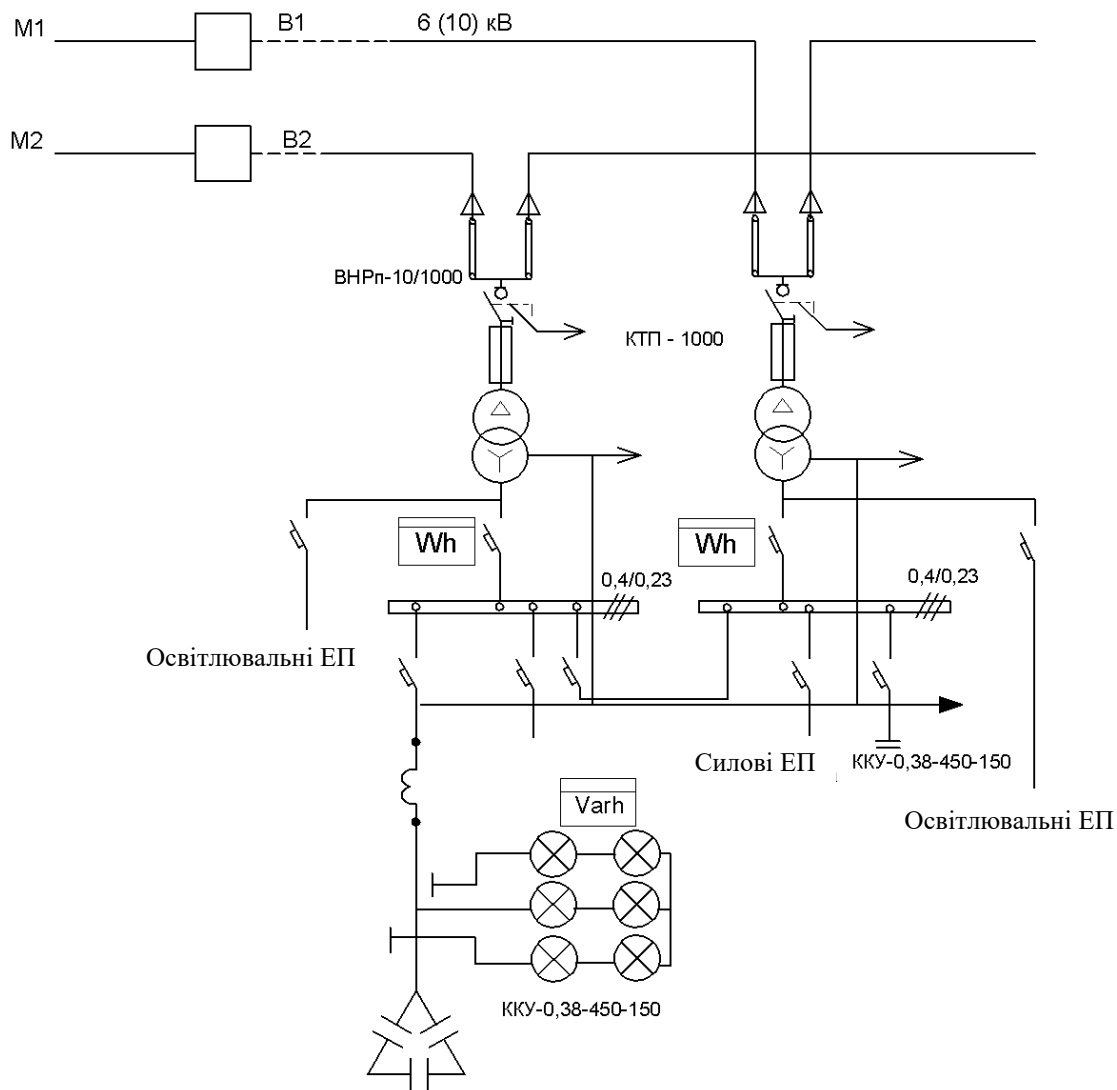


Рисунок 2.1. - Схема сумісного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРП в мережі до 1 кВ

2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Схема живлення цехових трансформаторів визначається кількістю трансформаторних підстанцій, їх розташуванням у межах виробничого цеху, а також категорією надійності електроспоживачів, що від них живляться. Вибір схеми електропостачання здійснюється з урахуванням вимог надійності, економічності та зручності експлуатації.

Для живлення цехових трансформаторів рекомендується застосовувати подвійні наскрізні магістралі. При цьому до однієї магістралі допускається підключення:

- 2–3 трансформаторів потужністю 1600–2500 кВА;
- 3–4 трансформаторів меншої потужності.

У випадку встановлення двох трансформаторів їх електроживлення, як правило, виконується за радіальною схемою. Останнім часом при розміщенні трансформаторних підстанцій безпосередньо в центрах електричних навантажень широкого застосування набула схема БТМ («блок трансформатор–магістраль»), яка використовується в мережах напругою до 1 кВ та забезпечує скорочення довжини мереж і зниження втрат електроенергії.

За своєю структурою внутрішньоцехові електричні мережі можуть бути:

- радіальними;
- магістральними;
- змішаними.

Вибір конкретної схеми залежить від особливостей технологічного процесу, розміщення електроспоживачів, рівня необхідної надійності електропостачання та техніко-економічних показників системи.

При радіальній схемі електропостачання електроприймачі низької напруги отримують живлення окремими лініями, що відходять безпосередньо від розподільчих пристроїв низької напруги трансформаторної підстанції. Такі схеми доцільно застосовувати у випадках зосередженого навантаження або нерівномірного розташування електроспоживачів на площі виробничого цеху. Крім того, радіальні схеми широко використовуються у вибухо- та пожежонебезпечних приміщеннях, а також на насосних і компресорних станціях.

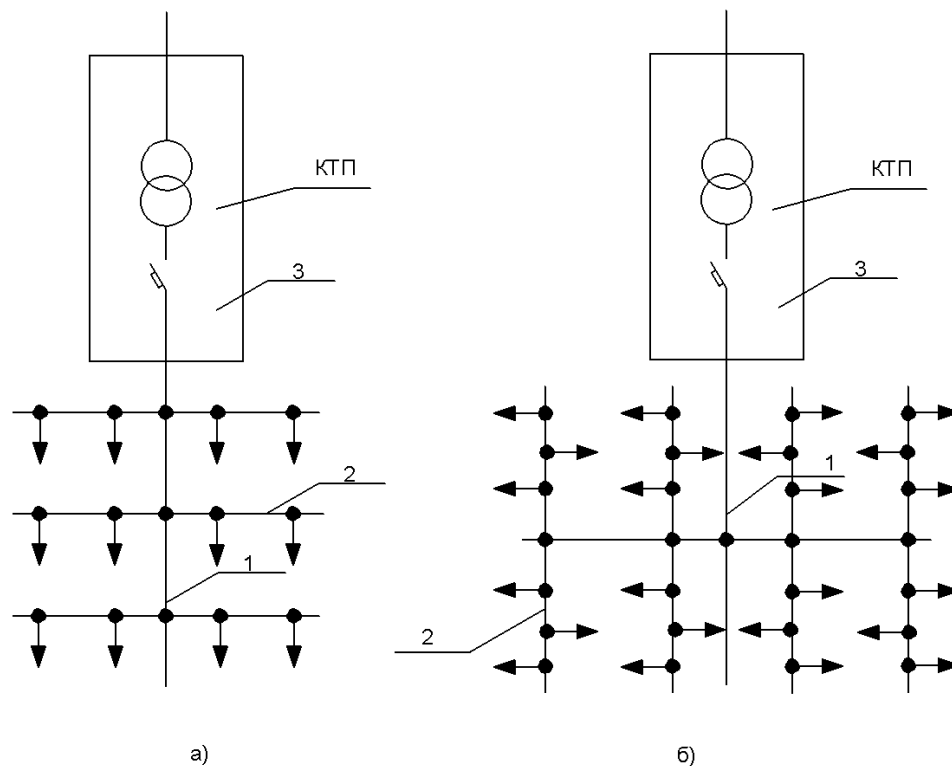
Основною перевагою радіальної схеми є високий рівень надійності електропостачання, оскільки пошкодження або аварія на одній лінії не впливає на роботу інших електроприймачів. Водночас недоліком такої схеми є значні капітальні витрати, пов'язані зі збільшенням кількості кабельних ліній, комутаційної апаратури та струмоведучих елементів.

Магістральні схеми електропостачання доцільно використовувати при рівномірному розташуванні електроспоживачів по площі цеху, а також для живлення груп електроприймачів, об'єднаних єдиним технологічним процесом. Однією з основних переваг магістральних схем є можливість застосування шинопроводів, що забезпечує індустріальний спосіб монтажу, спрощує експлуатацію та дозволяє знизити витрати на електромонтажні роботи.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						27
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Разом з тим магістральні схеми мають нижчу надійність порівняно з радіальними, оскільки пошкодження магістралі призводить до відключення всіх електроприймачів, підключених до неї. Для підвищення надійності таких схем часто передбачають резервні перемички між сусідніми магістралями, що дозволяє забезпечити резервне живлення у випадку аварійної ситуації.

З урахуванням переваг і недоліків радіальних та магістральних схем у сучасних системах електропостачання промислових підприємств найчастіше застосовують змішані схеми, які поєднують елементи обох варіантів і дозволяють забезпечити необхідний рівень надійності, економічності та гнучкості експлуатації.



а – вихід магістралі в одному напрямку;

б – вихід магістралі у двох напрямках;

1 – живляча магістралі;

2 – розподільчий шинопровід;

3 – апаратура управління та захисту.

Рисунок 2.2. - а, б. Схеми БТМ.

Магістральні схеми доцільно використовувати для живлення електроприймачів, які розміщені більш-менш рівномірно по площі цеху, а також для груп споживачів, що входять до складу однієї технологічної лінії. Їхньою перевагою

є застосування шинопроводів, що дозволяють реалізувати індустріальний спосіб монтажу. Водночас такі схеми поступаються радіальним за надійністю, адже у разі аварії на магістралі всі підключені споживачі залишаються без електроживлення. Однак використання резервних перемичок між сусідніми магістралями істотно підвищує їхню надійність. З урахуванням особливостей обох типів мереж на практиці найчастіше застосовують змішані схеми.

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

Під час експлуатації електричних мереж можуть виникати порушення нормального режиму роботи, зокрема перевантаження та короткі замикання. Такі аварійні режими можуть призводити до пошкодження електрообладнання, порушення роботи технологічного процесу та зниження надійності електропостачання. У зв'язку з цим внутрішньоцехові електричні мережі повинні бути оснащені ефективними засобами захисту від аварійних режимів роботи.

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

Вибір типу та параметрів автоматичних вимикачів здійснюється відповідно до розрахункової схеми електропостачання, наведеної на рис. 2.3, де показані місця встановлення захисних апаратів та їх функціональне призначення.

Автоматичні вимикачі QF1–QF3 призначені для захисту асинхронних електродвигунів, параметри яких наведені на схемі. Електродвигуни встановлені у приміщеннях із нормальними умовами навколишнього середовища, а їх режим роботи визначається характером функціонування приводних механізмів технологічного обладнання.

Автоматичні вимикачі QF4–QF7 мають однакові технічні параметри, оскільки призначені для захисту електроприймачів, підключених до розподільних шинопроводів ШРА1–ШРА4, які характеризуються рівномірним розподілом електричного навантаження.

Автоматичний вимикач QF8 є ввідним і забезпечує захист вводу трансформаторної підстанції. Його параметри визначаються відповідно до

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						29
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

встановленої потужності силового трансформатора з урахуванням допустимих перевантажень, регламентованих вимогами ДСТ 14209-85.

Автоматичний вимикач QF9 виконує функцію секційного автомата, а його параметри обираються на основі характеристик ввідного автоматичного вимикача та режимів роботи секцій шин.

Вибір параметрів автоматичних вимикачів QF1–QF3 здійснюється з визначення номінальних струмів електродвигунів, які підлягають захисту. Для цього за довідковими даними визначають тип і номінальну потужність електродвигунів, після чого розраховують їх номінальні струми, що є основою для подальшого вибору захисної апаратури:

$$I_{\text{ном.дв.}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \text{ А}; \quad I_{\text{ном.дв.}} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,88 \cdot 0,91} = 28,5, \text{ А}$$

Результати розрахунків заносяться в таблицю 2.2.

По довіднику визначаємо кратність пускових струмів, а потім і пусковий струм двигунів:

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном.дв.}}, \text{ А}; \quad I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 28,5 = 171 \text{ А}$$

За розрахунковими значеннями для встановлення обираємо автоматичний вимикач типу АЗ710 з номінальними параметрами. Під час вибору номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, змонтованого в шафі, необхідно враховувати тепловий поправочний коефіцієнт, що дорівнює 0,85:

$$I_{\text{ном.розч.}} = \frac{I_{\text{ном.дв.}}}{0,85}, \text{ А}; \quad I_{\text{ном.розч.}} = \frac{28,5}{0,85} = 33,5 \text{ А}$$

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

Встановлюємо неможливість спрацьовування (відбудовуємося від пускових струмів) автомата при пуску двигуна: $I_{\text{спрац.ел.}} = 1,25 \cdot I_{\text{пуск}}, \text{ А}; \quad I_{\text{спрац.ел.}} = 1,25 \cdot 171 = 231,8 \text{ А}$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 250 А.

Розраховуємо навантаження шинопровода ШРА-73-1.

При підключенні до шинопроводу трьох двигунів розрахунковим завантаженням буде сума номінальних струмів цих двигунів: $I_{\text{розр.ШРА}} = \sum_1^3 I_{\text{ном.дв.}}, \text{ А}; \quad I_{\text{розр.ШРА}} = \sum_1^3 I_{\text{ном.дв.}} = 197,3 \text{ А}$

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

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.мах}} + \sum_1^{n-1} I_{\text{ном.дв.}}, \text{ А}; \quad I_{\text{пик}} = 763,2 + 197,3 = 960,5 \text{ А}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		30

Вибираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта: $I_{\text{ном.розч.}} \geq I_{\text{розр.ШРА}-1}$

Перевіряємо неможливість спрацювання автоматів при пуску найпотужнішого двигуна (відбудова від пускових струмів): $1,25 \cdot I_{\text{пik}} \geq I_{\text{спрац.ел.розч.}}$

Вибір ввідного автомата

Ввідні автоматичні вимикачі обирають відповідно до встановленої потужності цехових трансформаторів із урахуванням можливості їх перевантаження в післяаварійному режимі роботи.

$$I_{\text{післяав.}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \text{ A}; \quad I_{\text{післяав.}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2129,6 \text{ A}$$

За значенням струму післяаварійного режиму з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта визначаємо номінальний струм селективного автоматичного вимикача та струм спрацювання з часовою витримкою при короткому замиканні:

$$\frac{I_{\text{післяав.}}}{0,85} \leq I_{\text{ном.розч.}}$$

$$\frac{2129,6}{0,85} \leq I_{\text{ном.розч.}}; \quad 2505,4 \leq 2500.$$

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

Вибір секційного автомата

Секційний автоматичний вимикач обирають відповідно до розрахункового навантаження секції шин, яку він захищає. При цьому його номінальні параметри повинні забезпечувати надійну роботу електроустановки як у нормальному, так і в післяаварійному режимах. У більшості випадків секційний автомат вибирають за струмом навантаження секції або на один ступінь нижче порівняно з ввідним автоматичним вимикачем, що дозволяє забезпечити селективність захисту та підвищити надійність електропостачання:

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

$$I_{\text{розр.секц.}} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot 2129,6}{0,85} = 1503,2 \text{ A}$$

Приймаємо до установки автомат типу ВА 55-43, $I_{\text{післяав.}} = 1600 \text{ A}$.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						31
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

механічних деформацій або пошкоджень кріплень і струмопровідних елементів. Таким чином забезпечується надійна та безпечна робота шинопроводів у всіх режимах експлуатації електроустановки:

$$I_{\text{розр.}} \leq I_{\text{трив.доп.}}$$

$$I_{\text{розр.ШРА}} = 197,3 \text{ А}; \quad I_{\text{розр.ШРА}} = 2129,6 \text{ А}$$

До визначення перерізів проводів і кабелів напругою до 1 кВ переходять після підбору захисних апаратів. Це зумовлено тим, що попередньо обраний за умовою нагріву переріз струмопровідних частин необхідно додатково перевірити на узгодженість із параметрами та характеристиками спрацювання встановлених захисних пристроїв. Такий підхід забезпечує коректну координацію захисту та надійну роботу електричної мережі в нормальних і аварійних режимах:

$$I_{\text{трив.доп.}} \geq K_3 \cdot I_3$$

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

K_3 - коефіцієнт захисту, 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.

$$115 \cdot 1 \geq 100 - \text{умова виконується}$$

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, $I_{\text{ном.}} = 250 \text{ А}$ за тих же умов, що і кабелі.

Здійснюємо перевірку вибраних перетинів по втраті напруги:

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

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

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

$\cos\varphi$ - коефіцієнт активної потужності;

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{розр.}}}{S_{\text{розр.}}} = \frac{1562,5}{2715} = 0,58; \quad \sin\varphi = 0,82$$

$$\Delta U_{\text{дійсне}} = \sqrt{3} \cdot 28,5 \cdot 0,06 \cdot (1,28 \cdot 0,58 + 0,06 \cdot 0,82) = 2,34 \text{ В}$$

Всі розрахунки заносяться в таблицю 2.2.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						33
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2. - Вибір параметрів автоматів і струмоведучих частин

№ авто мата	Назва автомата (місце в схемі)	Номинал ьна. потужн. Р _н , кВт/ Р _{розр.} навант. Р _р , кВт; S _р , кВА	Номинальний струм I _н , А/ Розрахунковий струм I _р , А	Кратність пускового струму К _п	Пусковий струм, піковий струм, I _п , 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 _н , А	Коефіцієнт захисту Кз	Допустимий струм СВЧ, I _д , А	Перевірка вибраного перетину по умові	Остаточно вибрана марка і перетин СВЧ, мм ²	Перевірка СВЧ по втраті напруги
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
QF ₁	ШРА-1- АД-1	15	28,5	6	171	0,85	33,5	100	400	А3710Б	1	115	115	АВВГ (3х25)	2,34
QF ₂	ШРА-1- АД-2	22	41,6	6	249,6	0,85	48,9	125	400	А3710Б	1	140	140	ААВГ (3х35)	3,41
QF ₃	ШРА-1- АД-3	70	127,2	6	763,2	0,85	149,6	160	1000	А3710Б	1	170	170	АВВГ (3х70)	10,4 3
QF ₄	ШМА- ШРА-1	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б	1	400	-	ШРА- 73	-
QF ₅	ШМА- ШРА-2	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б	1	400	-	ШРА- 73	-
QF ₆	ШМА- ШРА-3	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б	1	400	-	ШРА- 73	-
QF ₇	ШМА- ШРА-4	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б	1	400	-	ШРА- 73	-
QF ₈	Тр-р- ШМА	1000	2129,6	-	-	-	-	2500	-	ЭО-25	-	2500	-	ШМА- 73	-
QF ₉	Секційний	-	1503,2	-	-	-	-	1600	-	ВА55-43	-	1600	-	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 електричних мережах напругою до 1 кВ є перевірка правильності вибору та надійності роботи автоматичних вимикачів і шинопроводів у режимах аварійних перевантажень. Такий розрахунок дозволяє оцінити стійкість обладнання до впливу струмів короткого замикання, а також перевірити всі види захисних апаратів (автоматичні вимикачі та запобіжники) за їх відключаючою здатністю та чутливістю спрацювання.

Для перевірки вимикаючої здатності захисних апаратів визначають максимальне значення струму трифазного короткого замикання, яке є найважчим режимом з точки зору термічної та електродинамічної дії. Водночас для оцінки чутливості захисту розраховують мінімальне значення струму однофазного короткого замикання у найбільш електрично віддаленій точці мережі від джерела живлення, що дозволяє гарантувати надійне спрацювання захисту навіть при найменших аварійних струмах.

Особливістю виконання розрахунків струмів короткого замикання в мережах до 1 кВ є використання іменованих одиниць, а також необхідність урахування активних та індуктивних опорів усіх елементів короткозамкненого кола. До таких елементів належать не лише провідники та кабелі, але й трансформатори струму, струмові котушки автоматичних вимикачів, а також перехідні опори контактів і контактних з'єднань, включаючи вплив електричної дуги.

Загальний порядок розрахунку струмів короткого замикання передбачає кілька послідовних етапів. Спочатку складається розрахункова схема електричної мережі, на яку наносять точки можливого виникнення коротких замикань. Далі на основі цієї схеми формується схема заміщення, у якій всі елементи мережі замінюються відповідними активними та індуктивними опорами. Після цього виконують визначення параметрів опорів елементів мережі, зокрема опорів прямої та нульової послідовностей, а також опору ланцюга «фаза–нуль». Завершальним етапом є розрахунок значень струмів трифазного та однофазного короткого замикання у заданих точках мережі, що дозволяє здійснити перевірку вибраного електрообладнання на відповідність умовам надійної та безпечної роботи.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		35

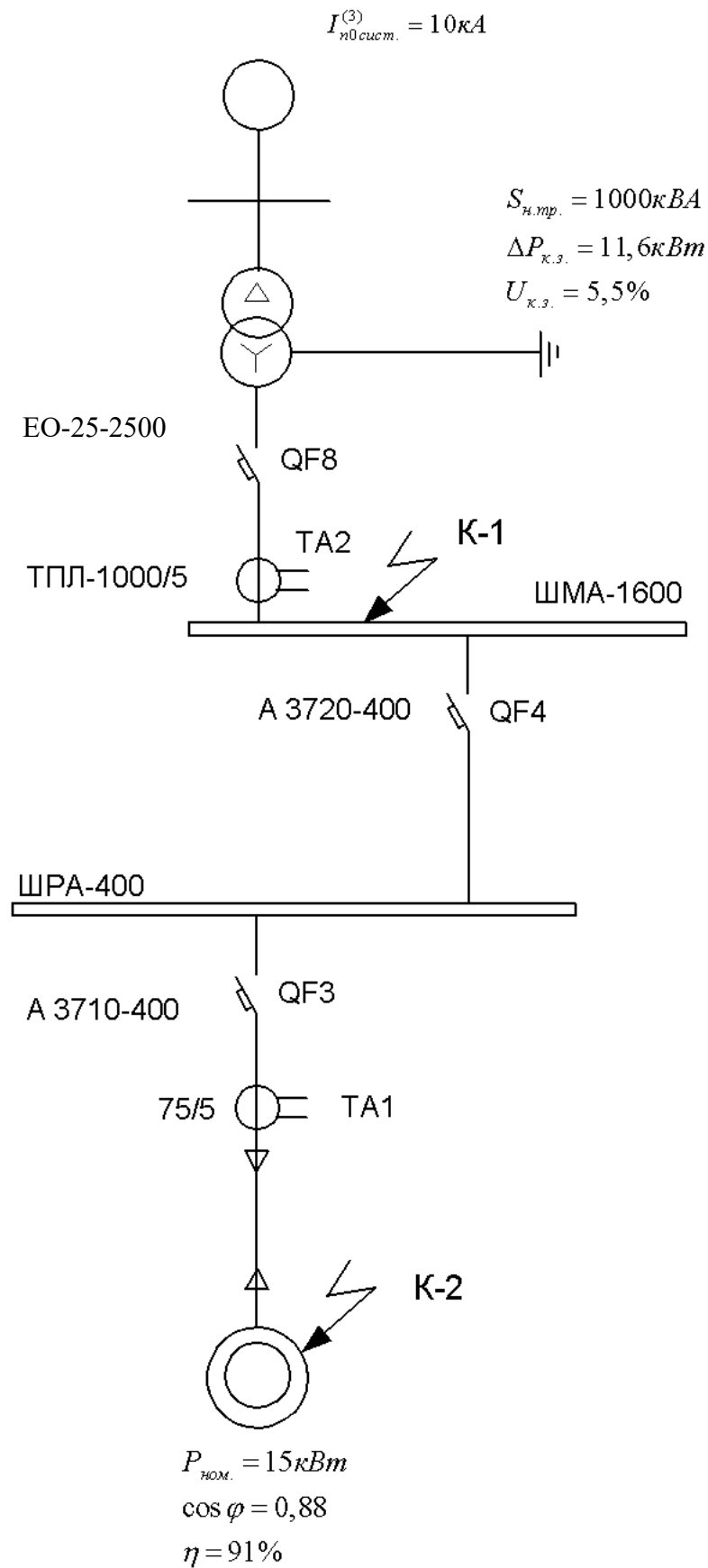


Рисунок 2.4 - Розрахункова схема

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						36
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

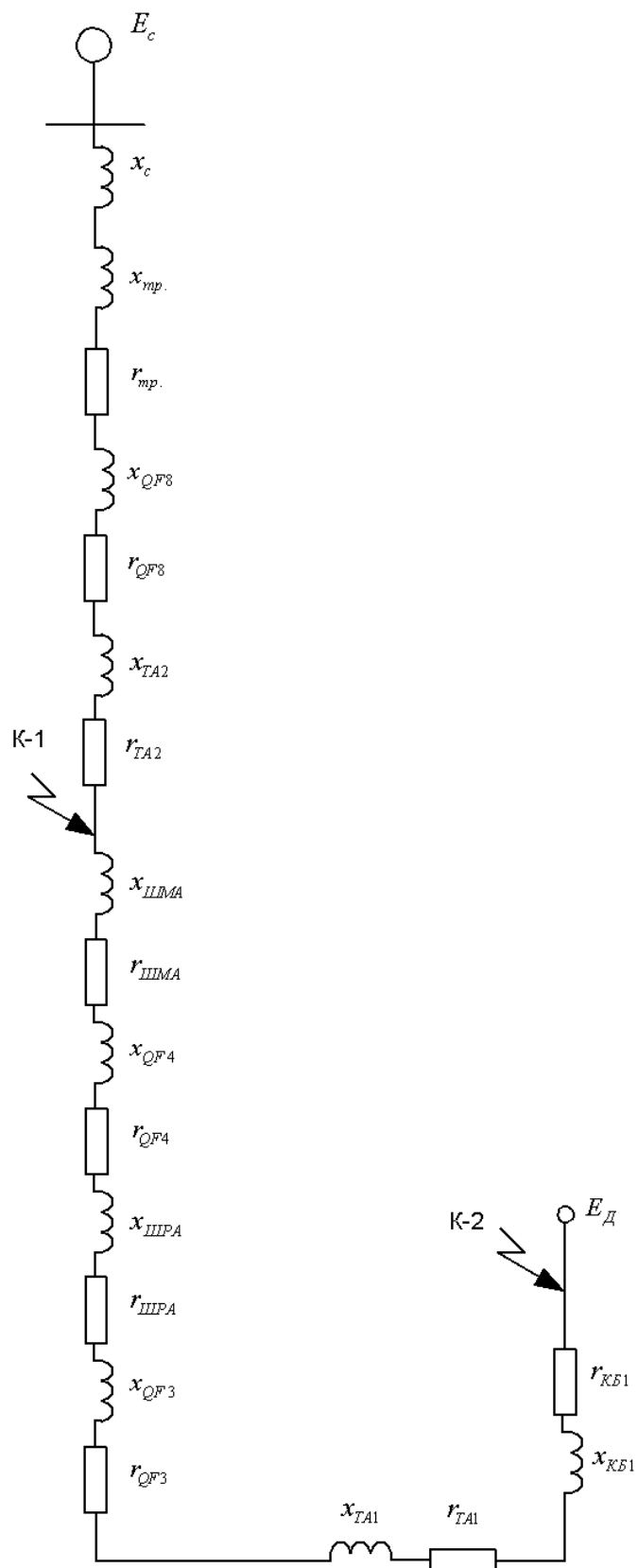


Рисунок 2.5. - Схема заміщення

2.7.1. Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

При електропостачанні електроустановок від енергетичної системи через понижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання визначається з урахуванням параметрів системи живлення та опору елементів кола короткого замикання. Це значення характеризує початковий рівень аварійного струму, який виникає безпосередньо в момент появи короткого замикання до врахування аперіодичної складової та перехідних процесів.

Таким чином, визначення початкового діючого значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання дозволяє отримати вихідну розрахункову величину для подальшого аналізу аварійних режимів та забезпечення надійної роботи електроустановок у складі системи електропостачання.

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

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 – 1000 – 10/0,4; $U_{к.з.} = 5,5\%$, $\Delta P_{к.з.} = 11,6$ кВт.

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

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

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

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

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;

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						38
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$$r_{1T} = \frac{\Delta P_{к.з.} \cdot U_{ном.НН}^2 \cdot 10^6}{S_{ном.тр.}^2};$$

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

де $\Delta P_{к.з.}$ - втрати к.з. в трансформаторі, кВт (довідкові дані трансформатора);
 $\Delta P_{к.з.} = 11,6 \text{ кВт};$

$U_{к.з.}$ - 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; $S_{ном.тр.} = 1000 \text{ кВА}.$

$$r_{1T} = \frac{11,6 \cdot 0,38^2 \cdot 10^6}{1000^2} = 1,86 \text{ мОм};$$

$$x_{1T} = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 11,6}{1000} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,38^2}{630} = 21,5 \text{ мОм}$$

$$r_{1\Sigma} = 1,86 + 0,14 + 0,05 = 2,85 \text{ мОм}; x_{1\Sigma} = 0,08 + 21,5 + 0,08 + 0,07 = 22,5 \text{ мОм}$$

$$I_{п.0}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,85^2 + 22,5^2}} = 10,2 \text{ кА}$$

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

$$197,3 \leq 0,1 \cdot 10200$$

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:

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

$$\text{де } r''_{1\Sigma} = r'_{1\Sigma} + (r_{\phi-0III1} + r_{\phi-0III2} + r_{\phi-0КБ})$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + r_{1III1} + r_{A4} + r_{1III2} + r_{A3} + r_{TA2} + r_{1КБ}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$x''_{1\Sigma} = x'_{1\Sigma} + (x_{\phi-0III1} + x_{\phi-0III2} + x_{\phi-0KB})$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + x_{1III1} + x_{A4} + x_{1III2} + x_{TA2} + x_{1KB}$$

Опори нульової послідовності, що враховуються при розрахунках режимів короткого замикання, включають активні та індуктивні складові елементів електричної мережі, зокрема понижувальних трансформаторів.

У практичних розрахунках приймається, що активні та індуктивні опори нульової послідовності таких трансформаторів можуть бути прирівняні до відповідних реальних опорів прямої послідовності. Це спрощення обґрунтовується конструктивними особливостями трансформаторів та умовами протікання струмів нульової послідовності, які визначаються схемою з'єднання обмоток і характером замикання.

Застосування такого підходу дозволяє коректно враховувати вплив трансформатора на величину струмів однофазного короткого замикання в мережах низької напруги, а також забезпечує достатню точність інженерних розрахунків при проєктуванні та перевірці електроустановок.

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

$$r_{1\Sigma} = 1,86 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,65 + 0,15 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 1,28 \cdot 20 = 35,5 \text{ мОм}$$

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

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 21,5 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 \cdot 20 + 0,08 + 4,8 + 0,06 \cdot 20 = 32,6 \text{ мОм}$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\phi-0III1} + r_{\phi-0III2} + r_{\phi-0KB})$$

$$r'_{1\Sigma} = 35,5 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 123,1 \text{ мОм}$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + (x_{\phi-0III1} + x_{\phi-0III2} + x_{\phi-0KB})$$

$$x'_{1\Sigma} = 32,6 + (0,056 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 0,15 \cdot 20) = 43,44 \text{ мОм}$$

$$r_{0\Sigma} = r_{0T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A4} + r_{0III2} + r_{A3} + r_{TA2} + r_{0KB}$$

$$r_{0\Sigma} = 1,86 + 0,14 + 0,05 + 0,037 \cdot 35 + 0,65 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 = 60,4 \text{ мОм}$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0T} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A4} + x_{0III2} + x_{A3} + x_{TA2} + x_{0KB}$$

$$x_{0\Sigma} = 21,5 + 0,08 + 0,07 + 0,042 \cdot 35 + 0,17 + 0,164 \cdot 20 + 0,08 + 4,8 + 0,075 \cdot 20 = 32,0 \text{ мОм}$$

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

$$I_{п.0min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 123,1 + 60,4)^2 + (2 \cdot 43,44 + 32,0)^2}} = 2,10 \text{ кА}$$

Перевірка автоматів по граничному струму відключення:

$$I_{\text{пред.відкл.}} \geq I_{п.0}^{(3)},$$

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

$18 \geq 10,2$ - умова виконується, оскільки граничний струм відключення автомата А3710Б - $I_{\text{пред.відкл.}} = 18 \text{ кА}$.

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

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

$2,10 \geq 1,25 \cdot 1$ - автомат задовольняє умові перевірки на чутливість захистів

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		40

Таблиця 2.3. - Опори (питомих) елементів мережі

Опори послідовностей	Питомі опори, мОм/м	СВЧ			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМА 1600 (Ш 1) (35 м)	ШРА 400 (Ш 2) (20 м)	Кабель АВВГ (3х 25) мм ² (К6) (20 м)	ТА 1 75/5	ТА 2 1000/5	QF3	QF4	QF8
Пряма	r_1	0,03	0,15	1,28	3	0,05	1,1	0,65	0,14
	x_1	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	0,5	0,17	0,08
Нульова	r_0	0,037	0,162	2,5	-	-	-	-	-
	x_0	0,042	0,164	0,075	-	-	-	-	-
Фаза-нуль	$r_{\phi-0}$	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 подається для живлення електроприймачів (ЕП), повинна відповідати встановленим нормам якості відповідно до вимог ДСТ 13109-87. Дотримання цих показників є необхідною умовою забезпечення надійної, стабільної та економічно ефективної роботи електрообладнання, оскільки відхилення параметрів електроенергії безпосередньо впливають на продуктивність, ресурс і енергоспоживання електроприймачів.

Одним із основних показників якості електроенергії є рівень напруги, який повинен підтримуватися в допустимих межах протягом усього режиму роботи електричної мережі. Відповідно до вимог ПУЕ зазначається, що вся електрична мережа - від шин цехової підстанції до безпосередніх електроприймачів — повинна бути перевірена на допустимі відхилення напруги з урахуванням режимів напруги на шинах центру живлення.

Відхилення напруги – різниця між фактичним значенням напруги $U_{\text{факт}}$ і номінальним значенням напруги $U_{\text{ном}}$ при напрузі, що поволі змінюється, коли швидкість зміни напруги не перевищує 1% в секунду:

$$= \frac{U_{\text{факт}} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%$$

Нормально допустиме відхилення напруги в мережі низької напруги складає $\pm 5\%$, а максимально допустиме в мережах НН і ВН (напругою до 20 кВ) $\pm 10\%$.

Збитки, що виникають унаслідок відхилень напруги від нормативних значень, умовно поділяють на дві складові — електромагнітну та технологічну. Електромагнітна складова пов'язана з додатковими втратами електричної енергії в елементах електричної мережі, зокрема в кабельних і повітряних лініях, трансформаторах та інших електроустановках. Технологічна складова, у свою чергу, зумовлена погіршенням режимів роботи електроприймачів, що призводить до зниження продуктивності технологічного обладнання та ефективності праці персоналу.

Окремо визначається значення відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора, оскільки саме цей параметр є визначальним для оцінки якості

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						42
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

електропостачання безпосередньо у споживача та дозволяє оцінити необхідність застосування регулювальних заходів у мережі:

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

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

U_1 - відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

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

U_{01} - відхилення напруги регулювального відгалуження;

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

ΔU_T - втрати напруги в трансформаторі:

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

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

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: $S_{н.тр.} = 1000 \text{ кВА}$, $U_{к.з.} = 5,5\%$, $\Delta P_{к.з.} = 11,6 \text{ кВт}$.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_{розр.} = \frac{\sqrt{P_{розр.}^2 + Q_{неск.}^2}}{N_{опт}}, \text{ кВА}; \quad S_{розр.} = \frac{\sqrt{2010,8^2 + 908,1^2}}{3} = 735,4 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт активної потужності визначаємо, виходячи із значення коефіцієнта реактивної потужності:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_{неск.}}{P_{розр.\Sigma}} = \frac{908,1}{2209,4} = 0,41$$

Отже $\operatorname{tg}\varphi = 0,41$, $\cos\varphi = 0,91$.

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

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

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:

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$\Delta U_T = \frac{735,4}{1000} \cdot \left(\frac{7,6}{1000} \cdot 0,91 + 0,055 \cdot 0,41 \right) = 0,024 = 2,4\%$$

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

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 2,4 = 2,6\%$$

Отримане значення знаходиться в межах норми.

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

Під час проектування систем електропостачання необхідно передбачати впровадження сучасних технічних рішень, а також використання нового вітчизняного електротехнічного обладнання, що дозволяє підвищити надійність, енергоефективність та економічність роботи електричних мереж.

Основні етапи розроблення внутрішньоцехових систем електропостачання (СЕП) були розглянуті та обґрунтовані в процесі виконання бакалаврської роботи. Вони включають аналіз вихідних даних, вибір схеми живлення, розрахунок електричних навантажень, підбір провідників та апаратів захисту, а також перевірку елементів системи за умовами нормального та аварійного режимів роботи.

Результатом виконаного проектування є розроблена однолінійна схема внутрішньоцехового електропостачання (лист №1), яка відображає загальну структуру живлення електроприймачів і розподіл електроенергії в межах цеху. Додатково складено розгорнуту схему силової мережі окремої ділянки цеху підприємства нафтопереробної промисловості (лист №2 роздаткового матеріалу), яка деталізує елементи електропостачання та зв'язки між ними, що дозволяє більш точно проаналізувати роботу мережі та забезпечити її надійність у процесі експлуатації.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						44
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

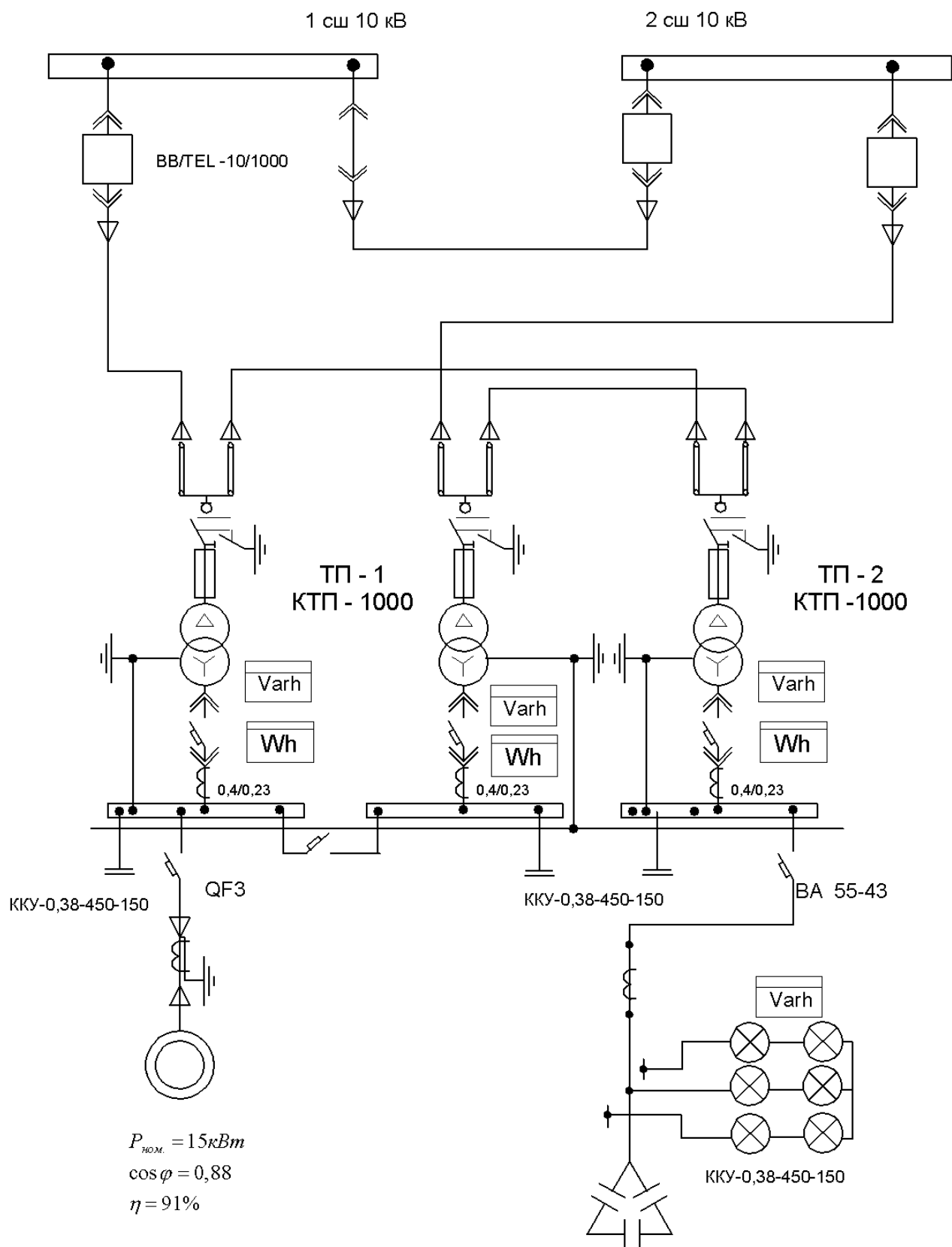


Рисунок 2.6. - Схема живлення цехових трансформаторів подвійними магістралями

Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ

Аркуш

45

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

В розділі «Електричні розрахунки» виконано комплекс електротехнічних розрахунків, необхідних для проектування надійної та економічно ефективної системи електропостачання цеху нафтопереробної промисловості. На основі встановлених потужностей силових та освітлювальних електроприймачів визначено розрахункові електричні навантаження, що стали вихідними даними для подальшого вибору елементів системи електропостачання.

За результатами аналізу режимів роботи електроприймачів виконано розрахунок потужності компенсуючих пристроїв, впровадження яких дозволяє підвищити коефіцієнт потужності підприємства.

На підставі результатів розрахунку навантажень обґрунтовано раціональне розміщення цехових трансформаторів на території цеху.

Виконано вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ, яка відповідає вимогам щодо надійності, безпеки та зручності експлуатації. Для одного з приєднань проведено вибір комутаційно-захисної апаратури з урахуванням розрахункових струмів навантаження, пускових режимів електродвигунів та умов селективності захисту.

На основі розрахункових струмів виконано вибір марок та перерізів кабелів, проводів і шинопроводів.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ та виконано перевірку комутаційно-захисної апаратури і струмоведучих частин на термічну та електродинамічну стійкість до дії аварійних струмів.

Також виконано перевірку показників якості електроенергії шляхом визначення відхилень напруги на шинах цехової трансформаторної підстанції. Встановлено, що рівні напруги в усіх розрахункових режимах перебувають у межах допустимих значень, що гарантує стабільну роботу електроприймачів і відповідність вимогам нормативних документів щодо якості електроенергії.

Завершальним етапом розділу стало проектування однолінійної схеми електропостачання цеху. Розроблена схема забезпечує надійне, безпечне та економічно обґрунтоване електропостачання технологічного обладнання цеху нафтопереробної промисловості.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		46

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Цехи нафтопереробної промисловості належать до об'єктів підвищеної небезпеки, оскільки технологічні процеси пов'язані з використанням легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин, високих температур, тиску та значної кількості електротехнічного обладнання. Під час експлуатації системи електропостачання можливий вплив на персонал небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Основними небезпечними факторами є:

- ураження електричним струмом при дотику до струмопровідних частин;
- виникнення електричної дуги під час коротких замикань;
- підвищені рівні електромагнітних полів;
- механічні травми під час монтажу та обслуговування обладнання;
- небезпека вибуху та пожежі внаслідок займання парів нафтопродуктів;
- підвищений рівень шуму від роботи насосів, компресорів і трансформаторів.

До шкідливих факторів належать несприятливий мікроклімат виробничих приміщень, вплив вібрації, недостатня освітленість робочих місць та можливий контакт із хімічними речовинами.

З метою забезпечення безпечних умов праці під час проектування системи електропостачання необхідно передбачити комплекс технічних та організаційних заходів щодо усунення або мінімізації впливу зазначених факторів.

3.2 Заходи щодо забезпечення електробезпеки

Електробезпека є одним із найважливіших аспектів під час експлуатації електроустановок цеху. Для запобігання ураженню електричним струмом передбачаються такі заходи:

- застосування захисного заземлення металевих неструмовідних частин електрообладнання;
- використання автоматичного відключення пошкоджених ділянок мережі;
- встановлення захисних огорож та блокувань;
- застосування пристроїв релейного захисту та автоматики;
- використання ізоляції, що відповідає робочій напрузі мережі;

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		47

- виконання вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Обслуговування електрообладнання повинно виконуватися лише спеціально навченим персоналом, який має відповідну групу з електробезпеки та пройшов інструктажі з охорони праці.

Під час виконання робіт необхідно використовувати засоби індивідуального захисту:

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

3.3 Пожежна та вибухова безпека

Нафтопереробні підприємства належать до категорії об'єктів з підвищеною пожежною та вибуховою небезпекою. Джерелами займання можуть бути:

- короткі замикання;
- перевантаження електричних мереж;
- електричні дуги;
- перегрів контактних з'єднань;
- статична електрика.

Для забезпечення пожежної безпеки передбачаються такі заходи:

- використання вибухозахищеного електрообладнання;
- застосування кабелів з негорючою ізоляцією;
- встановлення автоматичних вимикачів та запобіжників;
- контроль технічного стану електрообладнання;
- періодичне вимірювання опору ізоляції;
- організація системи пожежної сигналізації.

Приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння. Для гасіння електроустановок під напругою використовуються порошкові та вуглекислотні вогнегасники.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						48
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Вимоги до виробничого освітлення

Раціональне освітлення виробничих приміщень сприяє підвищенню продуктивності праці та зниженню виробничого травматизму.

Для освітлення приміщень передбачається використання світлодіодних світильників, які характеризуються:

- високою енергоефективністю;
- тривалим терміном служби;
- низьким рівнем тепловиділення;
- високою якістю світлового потоку.

Рівень освітленості повинен відповідати вимогам чинних будівельних норм та забезпечувати безпечне виконання виробничих операцій.

Крім робочого освітлення необхідно передбачити аварійне та евакуаційне освітлення для забезпечення безпечної евакуації персоналу у випадку аварійних ситуацій.

3.5 Захист навколишнього середовища

Під час проектування системи електропостачання необхідно враховувати екологічні аспекти експлуатації електроенергетичного обладнання.

Для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище передбачаються:

- застосування енергоощадного електрообладнання;
- компенсація реактивної потужності;
- зменшення втрат електроенергії в мережах;
- використання сучасних силових трансформаторів із низьким рівнем втрат;
- контроль рівнів електромагнітного випромінювання.

Використання енергоефективних технічних рішень дозволяє зменшити споживання електроенергії та скоротити непрямі викиди шкідливих речовин в атмосферу.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						49
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

В розділі «Охорона праці» проведено аналіз основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для експлуатації системи електропостачання цеху нафтопереробної промисловості. Розглянуто комплекс заходів з електробезпеки, пожежної та вибухової безпеки, забезпечення нормативних умов освітлення та захисту навколишнього середовища. Запропоновані технічні та організаційні рішення спрямовані на підвищення рівня безпеки праці, зниження ризику аварійних ситуацій і забезпечення надійної експлуатації електрообладнання. Реалізація зазначених заходів дозволить створити безпечні умови праці для персоналу та забезпечити відповідність системи електропостачання чинним нормативним вимогам з охорони праці та промислової безпеки.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						50
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Метою проєктування внутрішньоцехової системи електропостачання (СЕП) було створення надійної, економічно ефективної та енергоощадної системи розподілу електроенергії, яка забезпечує безперервне живлення всіх електроприймачів цеху необхідною кількістю електроенергії належної якості. При цьому особлива увага приділялася дотриманню нормативних вимог щодо якості електроенергії, рівня напруги, втрат потужності та забезпеченню високої експлуатаційної надійності електрообладнання.

В процесі проєктування було передбачено комплекс енергозберігаючих рішень, спрямованих на зменшення втрат електроенергії, підвищення коефіцієнта використання обладнання та покращення техніко-економічних показників системи. Це дозволило сформувати оптимальну структуру внутрішньоцехової мережі з урахуванням сучасних вимог до промислових електричних систем.

Зокрема, застосування принципу глибокого введення (ГВ) та раціонального дроблення цехових трансформаторних підстанцій дозволило наблизити джерела живлення до електроприймачів, що суттєво скоротило довжину низьковольтних мереж. Це, у свою чергу, призвело до зменшення втрат активної та реактивної потужності, покращення рівнів напруги у вузлах навантаження та підвищення загальної енергоефективності системи електропостачання.

Важливим елементом проєктних рішень є також раціональне розміщення силових трансформаторів на території цеху з урахуванням технологічного планування виробництва, концентрації навантажень та вимог до безпеки експлуатації. Такий підхід забезпечує рівномірний розподіл навантаження, зменшення втрат у кабельних лініях, а також спрощення обслуговування та ремонту обладнання.

Крім того, у мережах напругою до 1 кВ передбачено використання компенсувальних пристроїв (КП), що дозволяє здійснювати компенсацію реактивної потужності безпосередньо в місцях її виникнення. Це сприяє підвищенню коефіцієнта потужності, зниженню струмових навантажень у мережі, зменшенню теплових втрат у провідниках та підвищенню пропускної здатності електричних ліній.

Додатково в проєкті передбачено використання сучасних швидкодіючих захисних апаратів, які забезпечують селективне та оперативне відключення пошкоджених ділянок

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						51
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

мережі при виникненні аварійних режимів. Це значно підвищує надійність внутрішньоцехової системи електропостачання, зменшує тривалість простоїв технологічного обладнання та мінімізує можливі збитки від аварійних ситуацій.

В розділі «Охорона праці» виконано дослідження умов праці та проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, які можуть виникати під час експлуатації системи електропостачання цеху нафтопереробної промисловості. Особливу увагу приділено питанням електробезпеки, пожежної та вибухової безпеки, що мають першочергове значення для підприємств нафтопереробної галузі через наявність вибухонебезпечних і легкозаймистих речовин.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						52
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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. 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.
3. 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.
4. Козирський В.В. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компрінт, 2021. – 497с.
5. 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.
6. 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.
7. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Вилучено з <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStrategy2030.pdf>
8. 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.
9. 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.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		53

10. 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/>]

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

12. 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/>]

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Аркуш
						54
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		