

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))

Електропостачання вузла технологічного обладнання ковальсько-
штампувального цеху металообробної 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 _____ Віктор КУТЬКО
(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))

Кутька Віктора 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: Електропостачання вузла технологічного обладнання
ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості

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

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

затвержені 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 _____ Віктор КУТЬКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

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

РЕФЕРАТ

до бакалаврської роботи на тему

«Електропостачання вузла технологічного обладнання ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості»

КУТЬКА ВІКТОРА

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

Об'єкт дослідження – система електропостачання ковальсько-штампувального цеху підприємства металообробної промисловості.

Предмет дослідження – процеси проектування, розрахунку та оптимізації системи електропостачання вузла технологічного обладнання ковальсько-штампувального цеху, зокрема визначення електричних навантажень, вибір схеми електропостачання, силового обладнання, засобів компенсації реактивної потужності.

В процесі виконання роботи було проведено аналіз технологічного процесу цеху та визначено категорійність електроспоживачів за ступенем надійності електропостачання.

На основі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень методом впорядкованих діаграм, визначено максимальні та середні навантаження окремих груп електроприймачів. Проведено вибір кількості та потужності силових трансформаторів, виконано розрахунок і вибір перерізів кабельних ліній та струмоведучих елементів системи електропостачання.

В роботі здійснено вибір схеми електропостачання цеху, розраховано струми короткого замикання та підібрано комутаційно-захисне обладнання відповідно до умов надійності та безпеки експлуатації. Також виконано розрахунок компенсації реактивної потужності з метою підвищення коефіцієнта потужності та зниження втрат електроенергії.

Ключові слова: електропостачання, електричні навантаження, трансформаторна підстанція, компенсація реактивної потужності, електроенергія, електроприймачі, енергоефективність, 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»

KUTKO VIKTOR

In the bachelor's thesis, the issue of designing the power supply system of the technological equipment unit of the forging and stamping shop of the metalworking industry enterprise was considered.

Research object – power supply system of the forging and stamping shop of the metalworking industry enterprise.

The subject of the study is the processes of designing, calculating and optimizing the power supply system of the technological equipment unit of the forging and stamping shop, in particular, determining electrical loads, choosing a power supply scheme, power equipment, means of compensating reactive power

In the process of performing the work, an analysis of the technological process of the workshop was carried out and the categorization of electricity consumers was determined according to the degree of reliability of electricity supply.

On the basis of the initial data, the calculation of electrical loads was performed by the method of ordered circuits, the maximum and average loads of individual groups of electrical receivers were determined. The number and power of power transformers were selected, the calculation and selection of cross-sections of cable lines and current-carrying elements of the power supply system was performed.

In the work, a choice of the workshop power supply scheme was made, short-circuit currents were calculated, and switching and protective equipment was selected in accordance with the conditions of reliability and operational safety. The calculation of reactive power compensation was also performed in order to increase the power factor and reduce power losses.

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
ВСТУП	8
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБ'ЄКТУ, ЩО ПРОЄКТУЄТЬСЯ	11
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	16
2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ	17
2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП)	18
2.2. Розрахунок потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ	25
2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умови вибору оптимального числа цехових трансформаторів	25
2.2.2. Визначення додаткової потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ з метою оптимального зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями РП	28
2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху	30
2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ	31
2.5. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)	34
2.6. Вибір марки і перетини струмоведучих частин	38
2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів і струмоведучих частин на стійкість дії струмів короткого замикання	41
2.8. Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП	48

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ					
					Електропостачання вузла технологічного обладнання ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості			Літ.	Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
		Куцько В.В.						1		1 : 1
		Олійник Ю.С.								
							Арк. 5		Аркушів 59	
					Пояснювальна записка			ДЕА-Е22+Е23пр		
		Чернюк А.М.								

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження	50
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	51
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	52
3.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	52
3.2. Заходи забезпечення електробезпеки	52
3.3. Пожежна безпека виробничого об'єкта	53
3.4. Виробнича санітарія та освітлення	54
3.5. Заходи щодо охорони навколишнього середовища	54
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	55
ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						6
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕП – електроприймач
ЕЕ – електрична енергія
СЕП – система електропостачання
ПП – промислове підприємство
АВР - автоматичний вводу резерву
ТП – трансформаторна підстанція
КТП – комплектна трансформаторна підстанція
ПС – підстанція
ГПП – головна понижувальна підстанція
ПГВ – підстанція глибокого введення
КРП – компенсація реактивної потужності
ЯЕЕ – якість електричної енергії
ДЖ – джерело живлення
ККУ- комплектна конденсаторна установка
ДРП – джерело реактивної потужності
РП – реактивна потужність
КУ – конденсаторна установка
К.з. – коротке замикання
СВЧ – струмоведучі частини
АПВ – автоматичний повітряний вимикач
ПКР - повторно-короткочасний режим

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Одним із найважливіших завдань сучасної електроенергетики є зниження енергоемності національного доходу, що передбачає підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та активне впровадження енергозберігаючих технологій. Реалізація цього завдання є необхідною умовою сталого економічного розвитку держави, підвищення конкурентоспроможності промисловості та забезпечення енергетичної безпеки країни.

Одним із ключових напрямів економії електроенергії є забезпечення найбільш раціональних та економічно доцільних режимів роботи електростанцій, електричних мереж і систем електропостачання в цілому. Підвищення економічності функціонування енергосистеми досягається завдяки комплексному підходу, який включає:

- ✓ оптимальний розподіл навантажень між джерелами генерації;
- ✓ зменшення втрат електроенергії в мережах;
- ✓ правильний вибір структури систем електропостачання;
- ✓ використання сучасного енергоефективного обладнання;
- ✓ підвищення якості регулювання режимів роботи електроустановок.

Метою даної бакалаврської роботи є формування практичних умінь і навичок проектування внутрішньоцехової системи електропостачання промислового підприємства на основі сучасних принципів побудови систем електропостачання. В процесі виконання роботи передбачається оволодіння методами вибору та розрахунку основного електрообладнання, визначення електричних навантажень, розробки схем електропостачання, а також оцінки техніко-економічних показників функціонування системи.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ковальсько-штампувального цеху підприємства металообробної промисловості.

Предмет дослідження – процеси проектування, розрахунку та оптимізації системи електропостачання вузла технологічного обладнання ковальсько-штампувального цеху, зокрема визначення електричних навантажень, вибір схеми електропостачання, силового обладнання, засобів компенсації реактивної потужності та забезпечення надійності й енергоефективності роботи системи.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		8

Особлива увага приділяється питанням забезпечення надійності електропостачання, енергоефективності, безпечності експлуатації та відповідності проєктних рішень сучасним нормативним вимогам. Реалізація таких підходів дозволяє створити ефективну та економічно обґрунтовану систему електропостачання промислового підприємства.

Як відомо, основними споживачами електричної енергії є промисловість, транспорт, сільське господарство, а також комунальне господарство міст і населених пунктів. При цьому на промислові підприємства припадає понад 70% загального споживання електроенергії, що свідчить про надзвичайно важливу роль промислового сектору в енергетичному балансі держави.

Значну частину електроспоживачів промислових підприємств становлять електроприводи загальнопромислових механізмів, які широко застосовуються практично в усіх галузях народного господарства. До них належать:

- ✓ підйомно-транспортні машини;
- ✓ конвеєрні та потоково-транспортні системи;
- ✓ компресорні установки;
- ✓ насосні агрегати;
- ✓ вентиляторні установки та інші механізми.

Електроприводи таких механізмів характеризуються значним рівнем споживання електричної енергії, тому правильний вибір їх параметрів, режимів роботи та систем керування має суттєвий вплив на загальну ефективність функціонування системи електропостачання підприємства.

До складу систем електропостачання промислових підприємств входять електричні мережі напругою до 1 кВ і вище, а також трансформаторні, розподільчі та перетворювальні підстанції, які забезпечують перетворення, розподіл і передачу електроенергії безпосередньо до споживачів.

Електроспоживачі промислових підприємств мають різноманітні технологічні та експлуатаційні особливості, що обумовлює підвищені вимоги до систем електропостачання. До основних вимог належать:

- ✓ висока надійність електропостачання;
- ✓ забезпечення необхідної якості електричної енергії;
- ✓ резервування джерел живлення;

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						9
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- ✓ ефективний захист елементів мережі та обладнання;
- ✓ безпечність і економічність експлуатації.

Усі зазначені питання детально розглянуті в даній дипломній роботі. У процесі її виконання проведено аналіз режимів роботи системи електропостачання, здійснено вибір основного електрообладнання та розроблено технічно й економічно обґрунтовані рішення, спрямовані на забезпечення ефективної, надійної та безпечної роботи системи електропостачання промислового підприємства.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		10

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

Аналіз характеристик технологічного процесу є одним із найважливіших етапів проектування системи електропостачання промислового підприємства. Саме особливості технологічного процесу дозволяють оцінити можливі наслідки раптового припинення електропостачання, визначити величину ймовірних матеріальних збитків, а також встановити категорійність електроспоживачів за ступенем надійності електропостачання відповідно до вимог нормативних документів.

Визначення категорії електроприймачів має важливе значення при виборі структури системи електропостачання, оскільки від цього залежить:

- ✓ кількість незалежних джерел живлення;
- ✓ необхідність резервування;
- ✓ побудова схем живильних та розподільчих мереж;
- ✓ застосування пристроїв автоматичного вводу резерву (АВР);
- ✓ використання засобів релейного захисту та мережної автоматики.

Крім того, детальний аналіз технологічного процесу дозволяє виявити специфічні електричні навантаження, які можуть впливати на режими роботи мережі. До таких навантажень належать електроприймачі з великими пусковими струмами, різкозмінним або ударним характером навантаження, значним споживанням реактивної потужності, а також обладнання, що створює гармонічні спотворення або викликає коливання напруги.

В даному проєкті розглядається ковальсько-штампувальний цех підприємства металообробної промисловості. Такий тип виробництва характеризується значною концентрацією потужних електроприймачів та високою енергоємністю технологічних процесів.

До складу основного технологічного обладнання цеху входять:

- ✓ електромагнітні преси;
- ✓ кривошипні преси;
- ✓ вентиляторні установки;
- ✓ насосне обладнання;
- ✓ компресорні установки;
- ✓ мостові крани;

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		11

- ✓ тельфери;
- ✓ зварювальні машини;
- ✓ елеватори;
- ✓ конвеєрні лінії та інші механізми.

Більшість зазначених електроприймачів працюють у взаємозв'язаному технологічному режимі та є заблокованими між собою, що вимагає забезпечення високої надійності електропостачання та стабільності режимів роботи мережі. Особливо це стосується пресового та підйомно-транспортного обладнання, зупинка якого може призвести до порушення технологічного циклу, простою виробництва, пошкодження продукції або створення аварійних ситуацій.

Режим роботи електроприводів підйомно-транспортних механізмів є повторно-короткочасним і характеризується частими пусками, зупинками та зміною напрямку руху. Тривалість вмикання (ТВ) для таких механізмів зазвичай становить від 15 до 60%, що обумовлює змінний характер навантаження та наявність значних пускових струмів.

Підйомно-транспортні машини відносяться до електроспоживачів II категорії за надійністю електропостачання. Перерва в їх електроживленні допускається на час, необхідний для ввімкнення резервного живлення оперативним персоналом або автоматичними пристроями. Разом з тим, для забезпечення безпечної та ефективної роботи таких механізмів необхідно передбачати надійні системи захисту, автоматизації та контролю режимів роботи електроприводів.

Установки електрозварювання

До електрозварювального обладнання, що розглядається у даному проекті, належать машини шовного зварювання, які широко застосовуються у металообробній промисловості для створення міцних і герметичних зварних з'єднань.

Для здійснення процесів електрозварювання використовується як постійний, так і змінний електричний струм. Постійний струм отримують за допомогою спеціальних перетворювальних установок, тоді як змінний струм може мати:

- ✓ нормальну промислову частоту - 50 Гц;
- ✓ знижену частоту - 2–10 Гц;
- ✓ підвищену частоту - 100–360 Гц.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		12

Особливо складними для систем електропостачання промислових підприємств є установки електрозварювання змінного струму промислової частоти. Це пояснюється рядом характерних особливостей їх роботи:

- ✓ навантаження має однофазний характер, що викликає нерівномірність навантаження фаз мережі;
- ✓ потужність окремих зварювальних машин може досягати 1200 кВА;
- ✓ установки характеризуються низьким коефіцієнтом потужності;
- ✓ режим роботи є повторно-короткочасним із малими значеннями тривалості включення (ТВ), що супроводжується значними стрибками навантаження та великими пусковими струмами.

Такі особливості негативно впливають на режими роботи електричних мереж, спричиняючи:

- ✓ коливання напруги;
- ✓ збільшення втрат електроенергії;
- ✓ погіршення показників якості електроенергії;
- ✓ виникнення додаткових навантажень на силове обладнання.

У зв'язку з важливістю безперервності технологічного процесу установки електрозварювання відносяться до споживачів I категорії за надійністю електропостачання. Для них повинно забезпечуватися живлення від двох незалежних джерел електроенергії з можливістю резервування та застосуванням відповідних засобів захисту й автоматизації.

Освітлювальні установки

Освітлювальні установки є важливою складовою системи електропостачання промислового підприємства, оскільки забезпечують необхідні умови праці, безпеку персоналу та нормальне функціонування технологічного обладнання.

На промислових підприємствах як джерела світла застосовуються:

- ✓ лампи розжарювання;
- ✓ галогенні лампи;
- ✓ люмінесцентні лампи;
- ✓ ртутні кварцові лампи;
- ✓ сучасні світлодіодні джерела світла.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		13

Потужність освітлювальних приладів може змінюватися в широких межах залежно від призначення приміщень, умов експлуатації та вимог до рівня освітленості.

Аварійне освітлення належить до споживачів I категорії за надійністю електропостачання, оскільки його відключення може створити загрозу для життя людей, безпеки виробничих процесів та збереження обладнання. Тому для таких установок обов'язково передбачається резервне джерело живлення та підвищений рівень надійності електропостачання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		14

Таблиця 1.1. - Вихідні дані

Електроприймачі напругою до 1 кВ																
Привід повороту конвертора		Привід нахилу міксеру		Вентилятори		Насоси, компресори		Крани, тельфери, ТВ = 25%		Крани, тельфери, ТВ = 40%		Зварювальні машини шовного зварювання (потужність дана в кВА)		Елеватори, конвейєри 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
$\frac{70}{850}$	$\frac{5}{40}$	$\frac{30}{500}$	$\frac{10}{80}$	$\frac{20}{400}$	$\frac{5}{30}$	$\frac{70}{450}$	$\frac{5}{20}$	$\frac{35}{650}$	$\frac{5}{40}$	$\frac{25}{120}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{30}{550}$	$\frac{10}{40}$	$\frac{50}{1000}$	$\frac{3}{100}$	9500

ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

В розділі проведено аналіз технологічного процесу ковальсько-штампувального цеху підприємства металообробної промисловості та визначено його основні виробничі особливості, які впливають на організацію системи електропостачання. Встановлено, що технологічний процес цеху характеризується значною концентрацією енергоємного обладнання, наявністю потужних електроприводів, нерівномірністю графіків навантаження та підвищеними вимогами до надійності електропостачання.

В результаті дослідження визначено склад основних електроприймачів цеху, до яких належать ковальсько-пресове обладнання, штампувальні преси, нагрівальні установки, вентилятори, насоси, транспортні механізми, допоміжне обладнання та системи освітлення. Аналіз режимів роботи електроприймачів показав наявність значних пускових струмів та короткочасних пікових навантажень, що необхідно враховувати при виборі елементів системи електропостачання.

На підставі вивчення технологічного процесу виконано класифікацію електроспоживачів за категоріями надійності електропостачання. Встановлено, що частина технологічного обладнання належить до II категорії надійності, оскільки переривання електроживлення може призвести до простоїв виробництва, погіршення якості продукції та значних економічних втрат. Це обумовлює необхідність застосування надійних схем живлення та резервування окремих електроприймачів.

Проведений аналіз дозволив визначити основні вимоги до системи електропостачання цеху, серед яких забезпечення необхідної якості електричної енергії, допустимих рівнів напруги, безперебійності електропостачання та економічності роботи електрообладнання. Особливу увагу приділено питанням енергоефективності та можливості застосування заходів з компенсації реактивної потужності для зниження втрат електроенергії.

Отримані результати є вихідною базою для подальшого виконання електротехнічних розрахунків, визначення електричних навантажень, вибору силових трансформаторів, комутаційно-захисної апаратури та розроблення раціональної схеми електропостачання вузла технологічного обладнання ковальсько-штампувального цеху.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		16

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

Електричні навантаження є однією з основних характеристик систем електропостачання та являють собою змінні в часі значення споживаної електричної потужності й струму. До основних параметрів електричних навантажень належать:

- ✓ активна потужність P , кВт;
- ✓ реактивна потужність Q , квар;
- ✓ сила струму I , А.

Величини електричних навантажень не є сталими і змінюються залежно від режиму роботи технологічного обладнання, кількості ввімкнених електроприймачів, характеру виробничого процесу та часу доби. Саме тому правильне визначення розрахункових навантажень є одним із найважливіших етапів проектування систем електропостачання промислових підприємств.

На основі розрахованих електричних навантажень здійснюється вибір і визначення основних параметрів елементів системи електропостачання, зокрема:

- ✓ кількості та потужності силових трансформаторів;
- ✓ параметрів комутаційної та захисної апаратури;
- ✓ перерізів кабельних і повітряних ліній;
- ✓ струмоведучих частин електроустановок;
- ✓ засобів компенсації реактивної потужності;
- ✓ систем автоматизації та захисту.

Точність визначення очікуваних електричних навантажень безпосередньо впливає на техніко-економічні показники проекрованої системи електропостачання. Неправильне визначення навантажень може призвести як до економічних втрат, так і до погіршення надійності роботи електрообладнання.

Завищення розрахункових навантажень спричиняє:

- ✓ необґрунтоване збільшення капітальних витрат;
- ✓ встановлення обладнання надмірної потужності;
- ✓ неефективне використання матеріальних ресурсів;
- ✓ погіршення режимів роботи електроустановок;
- ✓ збільшення втрат активної потужності та зниження економічності системи.

В свою чергу, заниження електричних навантажень може призвести до ще більш небезпечних наслідків, а саме:

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						17
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- ✓ перевантаження елементів системи електропостачання;
- ✓ перегріву кабелів, трансформаторів та електричних апаратів;
- ✓ прискореного старіння та руйнування ізоляції;
- ✓ скорочення терміну служби обладнання;
- ✓ зниження надійності електропостачання;
- ✓ виникнення аварійних режимів роботи.

Для визначення розрахункових навантажень в даному проєкті застосовується метод впорядкованих діаграм, який на сьогодні є одним із основних та найбільш поширених методів при розробленні технічних і робочих проєктів систем електропостачання промислових підприємств.

Суть методу полягає у визначенні розрахункового активного навантаження електроприймачів на всіх рівнях живильних і розподільчих мереж, включаючи трансформатори та перетворювальні установки, на основі середнього навантаження та коефіцієнта розрахункового навантаження.

Розрахункове активне навантаження електроприймачів визначається за відповідними розрахунковими залежностями через середнє навантаження та коефіцієнт розрахункового навантаження за виразом:

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

Розрахунковий коефіцієнт навантаження K_p визначається як функцію n і $K_{igr,серваж}$ (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 найбільш характерної групи електроприймачів, що дозволяє продемонструвати послідовність та методикку проведення обчислень. Результати розрахунків для інших характерних груп електроспоживачів наведені у таблиці 2.1.

Для електродвигунів, що працюють у повторно-короткочасному режимі (ПКР), необхідно виконати приведення їх паспортної потужності до еквівалентного тривалого режиму роботи ($T_B = 100\%$). Це пояснюється тим, що в умовах повторно-короткочасного режиму електродвигуни працюють із періодичними пусками та

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		18

паузами, а їх теплова дія на елементи системи електропостачання відрізняється від роботи в безперервному режимі.

Приведення потужності до тривалого режиму дозволяє:

- ✓ правильно визначити розрахункові навантаження;
- ✓ забезпечити коректний вибір електрообладнання;
- ✓ уникнути перевантаження елементів мережі;
- ✓ врахувати реальні умови експлуатації електроприймачів.

Розрахунок приведеної потужності електродвигунів, що працюють у повторно-короткочасному режимі наведено нижче:

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

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

Для кранів і тельферів з $TB = 25\%$: $P_H = 650 \cdot \sqrt{0,25} = 325$ (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:

$$P_H = 550 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{0,25} = 192,5 \text{ (кВт)}.$$

Зробимо підсумок: $\sum_i^m P_{Hi}$, кВт,

де m - число характерних груп ЕП.

Для кожної характерної групи електроприймачів визначають середнє навантаження за зміну, причому береться до уваги найбільш навантажена зміна, відповідно до наведеного виразу:

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

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

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 середньозмінного навантаження за саму завантажену зміну по цеху:

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

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

$$P_{сзми1} = 850 \cdot 0,25 = 212,5 \text{ кВт}; \quad Q_{сзми1} = 212,5 \cdot 1,17 = 248,6 \text{ квар}$$

Визначаємо середневажений (груповий) коефіцієнт використання:

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$K_{igr} = \frac{\sum_i^m P_{сзми}}{\sum_i^m P_{Hi}} = \frac{1570,5}{3793,4} = 0,41$$

Значення K_{igr} заносяться в таблицю 2.1.

Визначення ефективного числа ЕП

Формування абсолютного максимуму групового графіка навантаження, який є вихідною величиною для вибору параметрів елементів системи електропостачання за умовами нагріву, залежить від дії багатьох випадкових факторів. До них належать кількість електроприймачів у розрахунковому вузлі, їх встановлені (номінальні) потужності, режими роботи, тривалість увімкнення, коефіцієнти завантаження.

З метою спрощення методики розрахунку максимального навантаження вводять поняття ефективного числа електроприймачів. Під ефективним числом розуміють умовну кількість однакових за встановленою потужністю та режимом роботи електроприймачів, які створюють той самий розрахунковий максимум навантаження, що й фактична сукупність різнорідних електроприймачів.

Ефективне число електроприймачів для всього вузла навантаження визначається за відповідним аналітичним виразом, який враховує сумарну потужність, розподіл навантажень та характер роботи окремих споживачів електроенергії:

$$n_{ef} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^m P_{Hi}}{P_{Hmax}} = \frac{2 \cdot 3793,4}{100} = 75,9$$

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

Значення n_{ef} заносимо у відповідну таблицю 2.1.

Визначення коефіцієнта розрахункового навантаження K_p

Залежно від середнєваженого (групового) значення коефіцієнта використання K_{igr} і ефективного числа ЕП n_{ef} [1] визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження K_p .

$$K_{igr} = 0,41; n_{ef} = 75,9. \text{ Отже, } K_p = 0,73.$$

Під активним розрахунковим максимальним навантаженням P_p розуміють умовно постійну за величиною і часом потужність, яка за своїм тепловим впливом еквівалентна

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		20

реальному змінному навантаженню та спричиняє найбільш несприятливий режим нагріву елементів системи електропостачання.

Активне розрахункове навантаження для групи електроприймачів з напругою до 1 кВ визначається за відповідним аналітичним виразом, який враховує характеристики їх роботи та сумарний вплив на електричну мережу:

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

$$P_p = 0,73 \cdot 1570,5 = 1146,6 \text{ кВт}$$

З огляду на специфіку споживання електроприймачами РП, яка, на відміну від активної, значно менше залежить від рівня їх навантаження та режиму роботи, доцільно застосувати спрощений підхід до її визначення. РП у більшості випадків обумовлена конструктивними особливостями обладнання (зокрема наявністю індуктивних елементів) і залишається відносно сталою навіть при зміні активного навантаження.

Тому при розрахунках систем електропостачання часто приймають певні припущення або узагальнені значення, що дозволяють спростити визначення реактивної складової навантаження без суттєвої втрати точності. Враховуючи зазначені особливості, приймаємо:

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

$$Q_p = 1681,8 \text{ квар}$$

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

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

$$S_p = \sqrt{1146,5^2 + 1681,8^2} = 2035,4 \text{ кВА}$$

Величина розрахункового струмового навантаження є одним із ключових параметрів при проектуванні систем електропостачання, оскільки саме за нею здійснюється вибір перерізу струмоведучих частин (кабелів, проводів, шин) та визначення номінальних характеристик електричних апаратів захисту і комутації.

Розрахункове струмове навантаження враховує як активну, так і реактивну складові потужності, а також реальні умови експлуатації електроприймачів, включаючи їх режим роботи та коефіцієнти використання.

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						21
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_p = \frac{2205}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3354,1 \text{ A}$$

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

Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів

Розрахункові навантаження освітлювальних електроприймачів визначаються на основі їх встановленої (номінальної) потужності з урахуванням коефіцієнта попиту.

Коефіцієнт попиту для освітлювальних електроприймачів зазвичай приймається на основі нормативних документів або довідкових даних, що забезпечує достатню точність і водночас спрощує інженерні обчислення.

Отже, розрахункове навантаження освітлювальних електроприймачів визначається за відповідним виразом, який поєднує встановлену потужність і коефіцієнт попиту, дозволяючи отримати обґрунтоване значення для подальших розрахунків системи електропостачання.

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

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

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

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

$K_{ПРА}$ - коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пускорегулюючій 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:

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

$$P_{н.осв.} = 20 \cdot 9500 \cdot 10^{-3} = 190 \text{ кВт}$$

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

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 2.1. - Розрахунок електричних навантажень напругою до 1 кВ

Вихідні дані						Довідкові дані		Середнєзмінне навантаження за найбільш завантажену зміну		Ефективне число ЕП, $n_{\text{еф}}$	Коефіцієнт розрахункового навантаження K_p	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий струм, I_p , А
№п/п	Найменування характерних груп ЕП	Кількість, n ,	Паспортні дані характерних груп ЕП		Ном потужність характерних груп ЕП $P_{\text{ном.}}$, кВт	Коефіцієнт використання, $K_{\text{вик.}}$	$\cos\varphi/tg$	$P_{\text{серзм.}}$, кВт	$Q_{\text{серзм.}}$, квар			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	
			Одного ЕП $P_{\text{нmin}}/P_{\text{нmax}}$, кВт	Загальна $P_{\text{пасп.}}$, кВт											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Електромагнітні преси	70	$\frac{5}{40}$	850	850	0,25	$\frac{0,65}{1,17}$	212,5	248,6	-	-				

Продовження таблиці 2.1.

2	Кривошипні преси	30	$\frac{10}{80}$	500	500	0,25	$\frac{0,65}{1,17}$	125	146,3	-	-				
3	Вентилятори	20	$\frac{5}{30}$	400	400	0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	260	195	-	-				
4	Насоси, компресори	70	$\frac{5}{20}$	450	450	0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	243	182,3	-	-				
5	Крани, тельфери, ТВ = 25%	35	$\frac{5}{40}$	650	325	0,18	$\frac{0,45}{1,98}$	58,5	115,8	-	-				
6	Крани, тельфери, ТВ = 40%	25	$\frac{3}{12}$	120	75,9	0,18	$\frac{0,45}{1,98}$	13,7	270,1	-	-				
7	Зварювальні машини шовного зварювання (потужність в кВА)	30	$\frac{10}{40}$	550	192,5	0,3	$\frac{0,35}{2,68}$	57,8	154,8	-	-				
8	Елеватори, конвейери зблоковані	50	$\frac{3}{100}$	1000	1000	0,6	$\frac{0,7}{1,02}$	600	612	-	-				
9	ВСЬОГО силові ЕП	330	-	-	3793,4	$K_{i,гр.} = 0,41$	-	1570,5	1681,8	75,9	0,73	1146,5	1681,6	3418,7	
10	Освітлювальні ЕП (площа цеха $F = 9500 \text{ м}^2$)		-	-	20	-	-	-	-	-	$K_{п.осв.} = 0,95$	98,6	5,6		
11	ВСЬОГО по цеху		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1345,1	1747,2	2205	3354,1

ЕГ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ

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

Сумарну розрахункову потужність комплектних конденсаторних установок напругою до 1 кВ визначають за критерієм мінімізації приведених витрат, що дозволяє забезпечити економічно доцільний режим роботи системи електропостачання. Розрахунок виконується у два послідовні етапи, кожен з яких враховує як технічні, так і економічні фактори.

На першому етапі здійснюється вибір економічно оптимальної кількості трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій. Це передбачає визначення такої потужності ККУ напругою 0,38 кВ, яка забезпечує раціональне завантаження трансформаторів і, відповідно, оптимальну їх кількість.

Другий етап полягає у визначенні додаткової потужності ККУ-0,38 кВ, необхідної для подальшого зниження втрат електроенергії. Йдеться про втрати в трансформаторах цехових підстанцій та в живлячих мережах напругою вище 1 кВ, які виникають через перетікання реактивної потужності через трансформатори. Компенсація цієї реактивної складової дозволяє зменшити струмові навантаження, підвищити коефіцієнт потужності та покращити загальну енергоефективність системи.

В результаті сумарна реактивна потужність ККУ напругою 0,38 кВ визначається як сума потужностей, отриманих на обох етапах розрахунку, що забезпечує як технічну надійність, так і економічну ефективність функціонування електропостачання:

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

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

2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв по умові вибору оптимального числа цехових трансформаторів

Вибір кількості та потужності цехових трансформаторів здійснюється у тісному взаємозв'язку з підбором засобів компенсації реактивної потужності (РП). Такий комплексний підхід базується на техніко-економічних розрахунках і дозволяє досягти оптимального співвідношення між капітальними витратами, експлуатаційними втратами та надійністю електропостачання. При цьому враховуються питома щільність електричного навантаження, активна складова розрахункового навантаження,

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		25

коефіцієнти використання обладнання, режими роботи споживачів, а також вимоги нормативних документів і конкретні технічні умови підприємства.

Особливу увагу приділяють забезпеченню ефективної роботи трансформаторів у допустимих межах навантаження, що дозволяє зменшити втрати електроенергії, уникнути перевантажень і продовжити термін служби обладнання. Одночасно враховується вплив компенсації реактивної потужності, яка дає змогу знизити струмові навантаження в мережі, покращити коефіцієнт потужності та зменшити втрати в елементах системи.

Вибір потужності цехових трансформаторів, як правило, здійснюється на основі питомої щільності навантаження цеху, що характеризує рівень електроспоживання на одиницю площі, а також за повним розрахунковим навантаженням вузла, вираженим у кВА.

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

За умов, коли питома щільність навантаження перевищує 0,2 – 0,3 кВА/м², а сумарне розрахункове навантаження становить понад 3000–4000 кВА, доцільно застосовувати цехові трансформатори більшої потужності - у межах 1600–2500 кВА.

У випадках, коли питома щільність навантаження та сумарна потужність є нижчими за зазначені значення, раціональніше використовувати трансформатори меншої потужності - приблизно 400–1000 кВА. Такий вибір сприяє більш економічній роботі системи, уникненню недовантаження трансформаторів і зниженню експлуатаційних витрат.

Для трансформаторів цехових підстанцій, як правило, встановлюють рекомендовані коефіцієнти завантаження, які враховують режими роботи споживачів, умови експлуатації та вимоги до надійності електропостачання:

✓ 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 - $\beta = 0,9 - 0,95$.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		26

В проєкті виконується розрахунок внутрішньоцехової СЕП конвертерного цеху металургійного підприємства. Цех включає електроприймачі різних категорій надійності - як першої, так і другої - відповідно до вимог щодо безперервності електропостачання.

Електроприймачі I категорії характеризуються підвищеними вимогами до надійності, тому їх живлення здійснюється від двох незалежних джерел. Перерва в електропостачанні для них допускається лише на мінімальний час, необхідний для автоматичного введення резерву (АВР), що забезпечує практично безперервну роботу відповідального обладнання.

Електроприймачі II категорії також підключаються до двох незалежних джерел живлення, однак для них допускається більша тривалість перерви - на час, необхідний для ручного перемикавання на резервне джерело.

Для забезпечення електроживлення електроприймачів I та II категорій надійності доцільно застосовувати однострансформаторні цехові підстанції напругою 10 (6)/0,4-0,23 кВ за умови наявності резервування через перемички на стороні НН.

Використання однострансформаторних підстанцій має важливу перевагу - можливість максимально наблизити їх до ЦЕН. Це дозволяє скоротити довжину електричних мереж, зменшити втрати електроенергії під час її передачі та підвищити загальну економічність системи електропостачання.

Вибір кількості цехових трансформаторів здійснюється за певною методикою. Для кожної технологічно об'єднаної групи трансформаторів однакової потужності визначається їх мінімальна кількість, необхідна для покриття активного максимального розрахункового навантаження:

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

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.

$$N_{min} = \frac{1345,1}{0,72 \cdot 630} + 0,04 = 3 \text{ шт}$$

Економічно оптимальне число трансформаторів визначається:

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						27
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Виходячи з економічно обґрунтованої кількості трансформаторів, визначають максимальну реактивну потужність (квар), яку є доцільним передавати через трансформатори в мережі напругою до 1 кВ. Це дозволяє оцінити оптимальний рівень навантаження трансформаторного обладнання та забезпечити раціональний розподіл реактивної енергії в системі електропостачання:

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

$$Q_T = \sqrt{(0,72 \cdot 3 \cdot 630)^2 - (1345,1)^2} = 206,1 \text{ квар}$$

Сумарна потужність низьковольтних батарей конденсаторів (НБК), виражена в квар, яка забезпечує досягнення економічно оптимальної кількості трансформаторів, визначається на основі відповідних розрахунків. Вона враховує умови роботи системи електропостачання та необхідний рівень компенсації реактивної потужності для забезпечення її ефективності та мінімізації втрат:

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

$$Q_{\text{нк1}} = 1747,2 - 206,1 = 1541,1 \text{ квар}$$

Потужність НБК, що доводиться на один трансформатор:

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

$$Q'_{\text{нк1}} = \frac{1541,1}{3} = 513,7 \text{ квар}$$

По цьому значенню вибираємо стандартне значення комплектних конденсаторних установок $Q'_{\text{нк1,дов.}}$: ККУ-0,38-450-150.

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

$$Q'_{\text{нк1,дов.}} = N_{\text{опт}} \cdot Q'_{\text{нк1,дов.}}, \text{ квар}; \quad Q'_{\text{нк1,дов.}} = 3 \cdot 450 = 1350 \text{ квар}$$

2.2.2. Визначення додаткової потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ з метою оптимального зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями РП

Визначення потужності НБК в цілях оптимального зниження втрат:

$$Q_{\text{нк2}} = Q_{\text{неск.}} - \gamma \cdot N_{\text{опт}} \cdot S_{\text{н.тр.}}, \text{ квар} \quad (2.21)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		28

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].

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

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

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

$$Q_{\text{неск.}} = 1747,2 - 1350 = 397,2 \text{ квар}$$

Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів $Q_{\text{неск.}}$, квар, в цілях оптимального зниження втрат: $Q_{\text{нк2}} = 397,2 - 0,44 \cdot 3 \cdot 630 = -434,4$ квар

Оскільки $Q_{\text{нк2}} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність $Q_{\text{нк2}}$ приймаємо $= 0$.

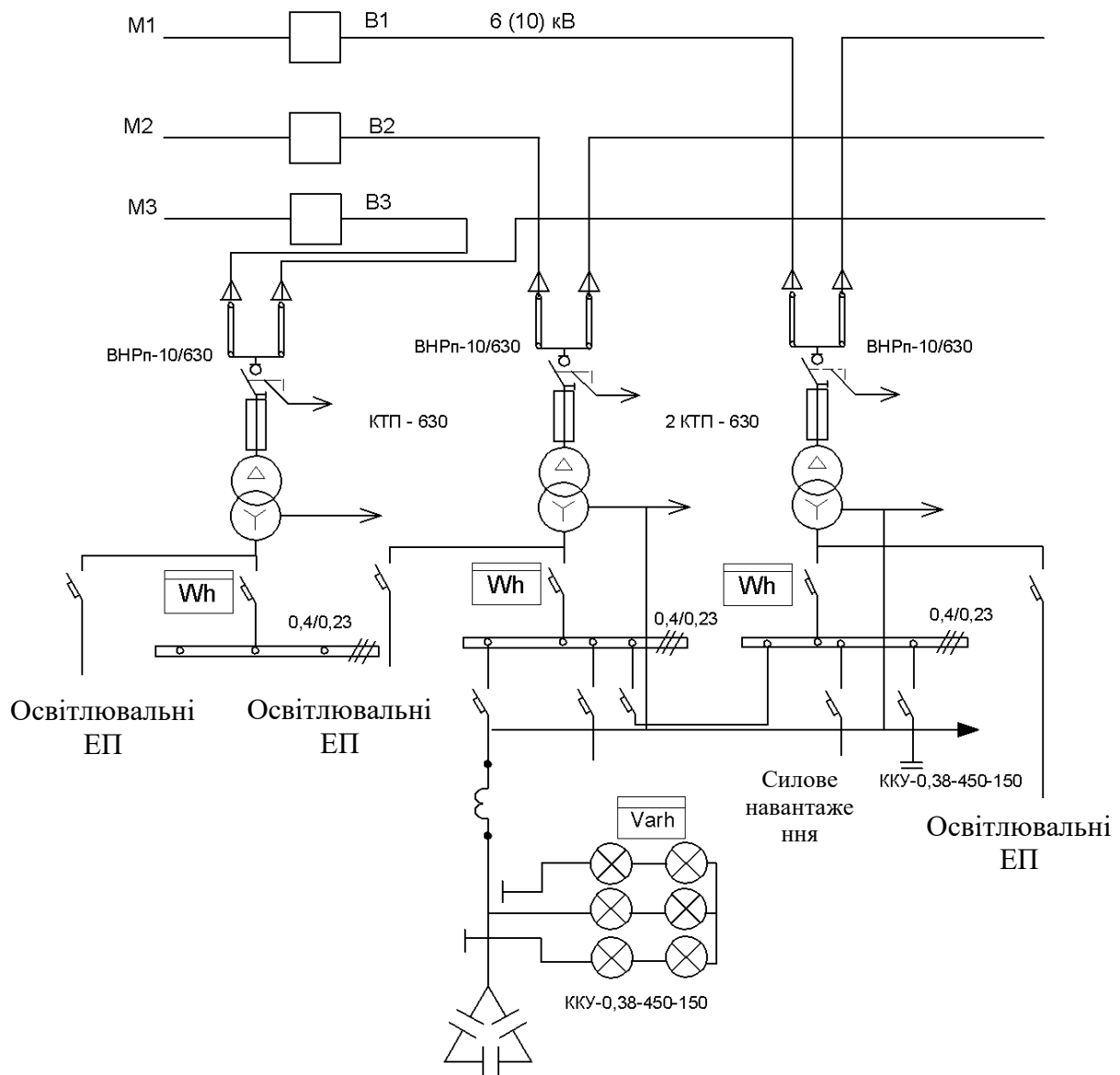


Рисунок 2.1. - Схема сумісного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРП в мережі до 1 кВ

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						29
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Розташування цехових трансформаторів визначається комплексом технічних і виробничих факторів.

Насамперед враховується щільність електричних навантажень у межах цеху, характер і розміщення технологічного обладнання, а також можливість інтеграції КУ безпосередньо у внутрішньоцехову СЕП. Важливу роль також відіграють умови мікроклімату, які залежать від специфіки технологічного процесу, наявності пилу, підвищеної температури чи агресивних середовищ.

В першу чергу рекомендується застосування комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), які дозволяють здійснювати монтаж незалежно від будівельних конструкцій цеху та забезпечують більшу гнучкість у проектуванні системи електропостачання. Такі рішення спрощують встановлення обладнання та скорочують строки монтажних робіт.

Максимально наближене розміщення КТП до ЦЕН є важливим фактором підвищення енергоефективності. Це дозволяє значно скоротити довжину цехових мереж, зменшити витрати кольорових металів на прокладання кабельних ліній та знизити втрати електроенергії під час її передачі.

Таким чином, система раціонального дроблення підстанцій із їх наближенням до основних споживачів електроенергії дає змогу ще на етапі проектування забезпечити ефективне використання енергоресурсів і реалізувати заходи з енергозбереження в межах усього цеху.

Місце встановлення КТП, а також їх потужність і кількість визначаються з урахуванням необхідності повного покриття розрахункових електричних навантажень. При цьому обов'язково враховуються умови навколишнього середовища, особливості технологічного процесу, а також вимоги до надійності та безперервності електропостачання споживачів різних категорій.

Залежно від специфіки виробництва, мікрокліматичних умов і конструктивних особливостей будівель, компоновка цехових трансформаторних підстанцій може бути різною: внутрішньоцеховою, вбудованою, прибудованою або окремо розташованою. Вибір конкретного варіанта визначається сукупністю технічних, експлуатаційних та економічних факторів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						30
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

В даному проєкті розглядається вузол навантаження, представлений ковальсько-штампувальним цехом металообробної промисловості. З урахуванням характеру виробництва та умов розміщення обладнання прийнято рішення про використання внутрішньоцехового варіанту встановлення трансформаторів. Такі підстанції розміщуються безпосередньо в межах цеху - переважно біля колон будівлі або в так званих «мертвих зонах» роботи мостових кранів, де вони не заважають технологічним процесам і переміщенню вантажів.

У виробництвах, де відсутнє значне переміщення стаціонарного обладнання, внутрішньоцехове розміщення трансформаторних підстанцій дозволяє реалізувати глибоке введення мережі напругою понад 1 кВ безпосередньо до центрів електроспоживання. Це суттєво скорочує довжину мереж низької напруги, зменшує витрати кольорових металів, знижує втрати електроенергії та підвищує загальну економічну ефективність системи електропостачання.

Двотрансформаторні КТП, як правило, застосовуються в умовах підвищеної щільності електричного навантаження (приблизно понад певне граничне значення кВА/м²), а також у випадках, коли у складі споживачів присутні електроприймачі першої категорії надійності, що вимагають підвищеного рівня безперебійності електропостачання.

Використання двох трансформаторів у складі КТП забезпечує необхідний рівень резервування, дозволяє підтримувати живлення відповідальних споживачів навіть у разі виходу з роботи одного з трансформаторів або проведення планових ремонтних робіт. Це суттєво підвищує загальну надійність системи електропостачання та зменшує ризики простоїв виробництва.

Вибір номінальної потужності трансформаторів для двотрансформаторних підстанцій здійснюється з урахуванням можливості їх допустимого короткочасного перевантаження.

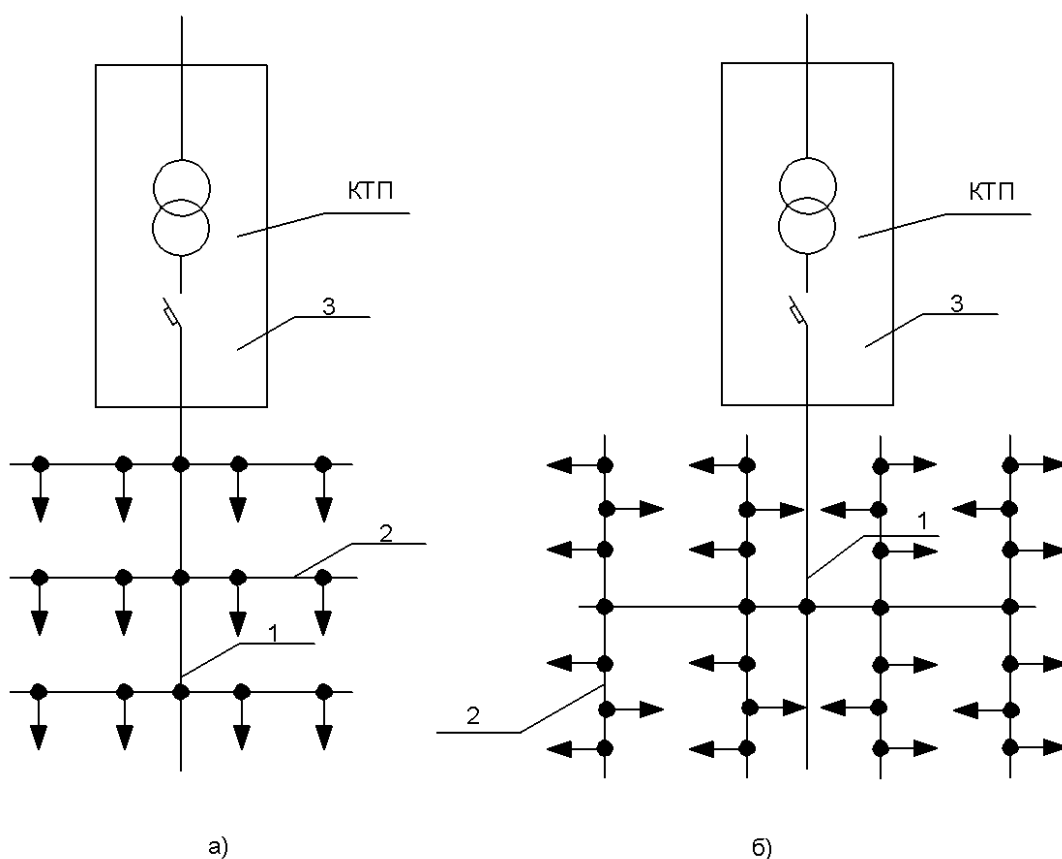
2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Схема живлення цехових трансформаторів формується з урахуванням їх кількості, розміщення на території цеху, а також категорійності електроприймачів. Всі ці фактори безпосередньо впливають на вибір найбільш раціональної структури внутрішньоцехової мережі та рівень її надійності.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		31

Відповідно до вимог «Інструкції з проєктування електропостачання промислових підприємств», рекомендується живлення цехових трансформаторів виконувати за схемою подвійних кільцевих (прохідних) магістралей. При цьому кількість трансформаторів, що підключаються до однієї магістралі, залежить від їх установленної потужності: для трансформаторів 1600–2500 кВА зазвичай передбачають 2–3 одиниці на магістраль, а для менш потужних трансформаторів - 3–4 одиниці. У випадку використання лише двох трансформаторів їх підключення, як правило, здійснюється за радіальною схемою.

В сучасній практиці проєктування електропостачання, особливо при розміщенні трансформаторних підстанцій безпосередньо в ЦЕН, широкого поширення набула схема «блок трансформатор - магістраль» (БТМ). Вона дозволяє мінімізувати довжину мереж НН, знизити втрати електроенергії та підвищити економічну ефективність системи (рис. 2.2).



а) вхід 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. - Схеми «блок - трансформатор-мостик»

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						32
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом структуру внутрішньоцехових електричних мереж можна класифікувати на радіальну, магістральну та змішану. Радіальні схеми застосовуються для відповідальних та зосереджених навантажень, магістральні - при рівномірному розподілі споживачів, а змішані - у складних виробничих умовах, де поєднуються різні типи електроприймачів та вимоги до надійності електропостачання.

При радіальній схемі електроприймачі низької напруги (НН) отримують живлення через окремі незалежні лінії, які безпосередньо відходять від розподільного пристрою низької напруги трансформаторної підстанції. Така структура мережі забезпечує індивідуальне живлення кожного споживача або невеликих груп споживачів.

Радіальні схеми найчастіше застосовують у випадках зосереджених електричних навантажень, коли обладнання розміщене нерівномірно по площі цеху. Вони також є доцільними у вибухо- та пожежонебезпечних виробництвах, а також на насосних і компресорних станціях, де особливо важливими є підвищена надійність та безпека електропостачання.

Основною перевагою радіальних схем є висока надійність: вихід з ладу однієї лінії не впливає на роботу інших споживачів, оскільки кожен з них має окреме живлення. Разом із тим, недоліком таких схем є значні капітальні витрати, зокрема через велику кількість кабельних ліній та комутаційного обладнання.

Магістральні схеми електропостачання, у свою чергу, доцільно застосовувати при відносно рівномірному розміщенні електроприймачів по території цеху, а також для живлення груп обладнання, об'єднаних єдиним технологічним процесом. Їх основною перевагою є можливість використання шинопроводів, що забезпечує індустріальний, більш швидкий і технологічний метод монтажу електричних мереж.

Недоліком магістральних схем є знижена надійність у порівнянні з радіальними, оскільки при аварії на одній магістралі може бути втрачено живлення всіх підключених до неї споживачів. Однак застосування резервних перемичок між сусідніми магістралями суттєво підвищує загальний рівень надійності та гнучкості системи електропостачання.

З урахуванням переваг і недоліків обох підходів, у практиці проектування промислових систем електропостачання найчастіше використовують змішані схеми, які поєднують елементи як радіальної, так і магістральної структур.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		33

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

Для захисту внутрішньоцехових мереж застосовуються різні комутаційно-захисні апарати, зокрема плавкі запобіжники, автоматичні повітряні вимикачі (автомати), а також теплові реле, що входять до складу магнітних пускачів.

Вибір типу та параметрів автоматичних вимикачів здійснюється на основі розрахункової схеми електропостачання (рис. 2.3), на якій визначені місця встановлення захисних апаратів та їх функціональне призначення. Такий підхід дозволяє забезпечити селективність захисту та узгоджену роботу всіх елементів системи.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		34

встановлені в приміщеннях з нормальними умовами навколишнього середовища, що спрощує вимоги до їх експлуатації та захисту.

Автоматичні вимикачі QF4–QF7 мають однакові електричні параметри, оскільки вони виконують функцію захисту електроприймачів, підключених до розподільчих шинопроводів ШРА1–ШРА4, які характеризуються рівномірним розподілом навантаження. Така уніфікація параметрів спрощує проектування та експлуатацію системи захисту.

Автомат QF8 є ввідним і його параметри визначаються на основі встановленої потужності силового трансформатора з урахуванням можливих допустимих перевантажень, регламентованих ДСТ.

Секційний автомат QF9 підбирається за характеристиками ввідного автомата, оскільки він повинен забезпечувати узгоджену роботу секцій електричної мережі та правильний розподіл навантаження між ними.

Визначення параметрів автоматів QF1–QF3 починається з розрахунку номінальних струмів електродвигунів, які підлягають захисту. Для цього за довідковими даними встановлюються тип і потужність відповідних двигунів, після чого на їх основі визначаються номінальні робочі струми, що й використовуються при виборі захисної апаратури:

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

$$I_{\text{ном.дв.}} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,88 \cdot 0,91} = 28,5, \text{ А}$$

Результати виконаних розрахунків оформлюються та заносяться до таблиці 2.3 для подальшого аналізу та використання в проєктних рішеннях.

Далі визначається кратність пускових струмів електродвигунів, після чого виконується розрахунок безпосередньо значень їх пускових струмів відповідно до прийнятих методик і вихідних параметрів двигунів.

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

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 28,5 = 171 \text{ А}$$

За отриманими розрахунковими значеннями приймаємо до встановлення автоматичний вимикач типу А3710 з номінальними характеристиками.

При визначенні номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача, який входить до складу автомата, встановленого в шафі, необхідно

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						36
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

враховувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85. Це дозволяє скоригувати умови теплового режиму роботи апарата та забезпечити його надійну й стабільну експлуатацію в реальних умовах.

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

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

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

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

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

$$I_{\text{спрац.ел.}} = 1,25 \cdot 171 = 231,8 \text{ А}$$

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:

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

$$I_{\text{розр.ШРА}} = \sum_1^3 I_{\text{ном.дв.}} = 197,3 \text{ А}$$

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

$$I_{\text{пік}} = I_{\text{пуск.мах}} + \sum_1^{n-1} I_{\text{ном.дв.}}, \text{ А} \quad (2.28)$$

$$I_{\text{пік}} = 763,2 + 197,3 = 960,5 \text{ А}$$

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

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

Вибір ввідного автомата

Ввідні автоматичні вимикачі підбираються на основі встановленої потужності цехових трансформаторів із обов'язковим урахуванням можливих режимів перевантаження, що можуть виникати в післяаварійних ситуаціях. Такий підхід

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						37
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечує надійний захист обладнання та стабільну роботу системи електропостачання навіть при порушенні нормальних умов експлуатації.

Під час вибору ввідної апаратури враховують не лише номінальну потужність трансформаторів, але й допустимі короточасні перевантаження, які регламентуються відповідними нормативними документами. Це дозволяє забезпечити селективність захисту та уникнути зайвих відключень у разі тимчасового зростання навантаження.

Таким чином, правильний підбір ввідних автоматів гарантує ефективну роботу трансформаторного обладнання, підвищує загальну надійність електропостачання цеху та зменшує ризики виходу з ладу елементів системи:

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

$$I_{\text{післяав.}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1341,6 \text{ А}$$

По струму післяварійного режиму з урахуванням поправочного теплового коефіцієнта вибираємо номінальний струм селективного автомата від величини струму витримкою часу при к.з.:

$$\frac{I_{\text{післяав.}}}{0,85} \leq I_{\text{ном.розч.}} \quad \frac{1341,6}{0,85} \leq I_{\text{ном.розч.}} ; \quad 1578,4 \leq 1600.$$

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

Вибір секційного автомата

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

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

$$I_{\text{розр.секц.}} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot 1341,6}{0,85} = 947 \text{ А}$$

Приймаємо до установки автомат типу ВА 55-41, $I_{\text{післяав.}} = 1000 \text{ А}$.

2.6. Вибір марки і перетини струмоведучих частин

Шинопроводи вибирають по умові нагріву з подальшою перевіркою їх на динамічну стійкість:

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

$$I_{\text{розр.ШРА}} = 303 \text{ А}; \quad I_{\text{розр.ШРА}} = 1341,6 \text{ А}$$

До вибору перерізів проводів і кабелів напругою до 1 кВ переходять лише після визначення та підбору захисних апаратів. Це пов'язано з тим, що переріз

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		38

струмоведучих частин, попередньо обраний за умовою допустимого нагріву, обов'язково повинен бути узгоджений із характеристиками захисної апаратури.

Тому після попереднього вибору перерізу за тепловими умовами виконується його перевірка на відповідність умовам захисту, яка враховує номінальні та струмові характеристики автоматичних вимикачів або запобіжників.

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

де I_3 - номінальний струм розчеплювача або струм спрацьовування 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.

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

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:

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

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

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

$\cos\varphi$ - коефіцієнт активної потужності;

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

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

Всі розрахунки заносяться в таблицю 2.2.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		39

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	Остаточо 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
QF1	ШРА-1-АД-1	15	28,5	6	171	0,85	33,5	100	400	А3710Б	1	115	115	АВВГ (3x25)	2,34
QF2	ШРА-1-АД-2	22	41,6	6	249,6	0,85	48,9	125	400	А3710Б	1	140	140	ААВГ (3x35)	3,41
QF3	ШРА-1-АД-3	70	127,2	6	763,2	0,85	149,6	160	1000	А3710Б	1	170	170	АВВГ (3x70)	10,43
QF4	ШМА-ШРА-1	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF5	ШМА-ШРА-2	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF6	ШМА-ШРА-3	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF7	ШМА-ШРА-4	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б		400	-	ШРА-73	-
QF8	Тр-р-ШМА	630	1341,6	-	-	-	-	1600	-	ВА55-43		600	-	ШМА-73	-
QF9	Секційний	-	947	-	-	-	-	1000	-	ВА55-41		1000	-	ШМА-73	-

ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ

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

Метою розрахунку струмів короткого замикання в електричних мережах напругою до 1 кВ є перевірка правильності вибору захисної апаратури та струмоведучих елементів, зокрема автоматичних вимикачів і шинопроводів, на здатність витримувати дію аварійних струмів.

Одним із ключових завдань є перевірка апаратів за граничною відключаючою здатністю. Для цього визначають максимальне можливе значення струму трифазного к.з., яке може виникнути в найбільш несприятливих умовах. Це значення порівнюється з допустимими характеристиками захисних пристроїв, щоб переконатися, що вони здатні безпечно вимкнути аварійний струм.

Крім того, важливо перевірити чутливість захисту. З цією метою визначається мінімальний струм однофазного к.з., який виникає в найбільш віддаленій ДЖ точці мережі.

Особливістю розрахунків струмів к.з. в мережах до 1 кВ є те, що:

- ✓ Розрахунок проводиться в іменованих одиницях;
- ✓ При розрахунку струмів к.з. необхідно враховувати активні і індуктивні

опори всіх елементів короткозамкнутого ланцюга.

Порядок розрахунку струмів к.з.:

1. Складається розрахункова схема, на яку наносяться струми к.з.;
2. По розрахунковій схемі складається схема заміщення;
3. Розраховуються опори елементів мережі (опори прямої послідовності, опори нульової послідовності, опори ланцюга фаза-нуль);
4. Визначаються величини струмів трифазного і однофазного к.з. в точках мережі.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						41
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

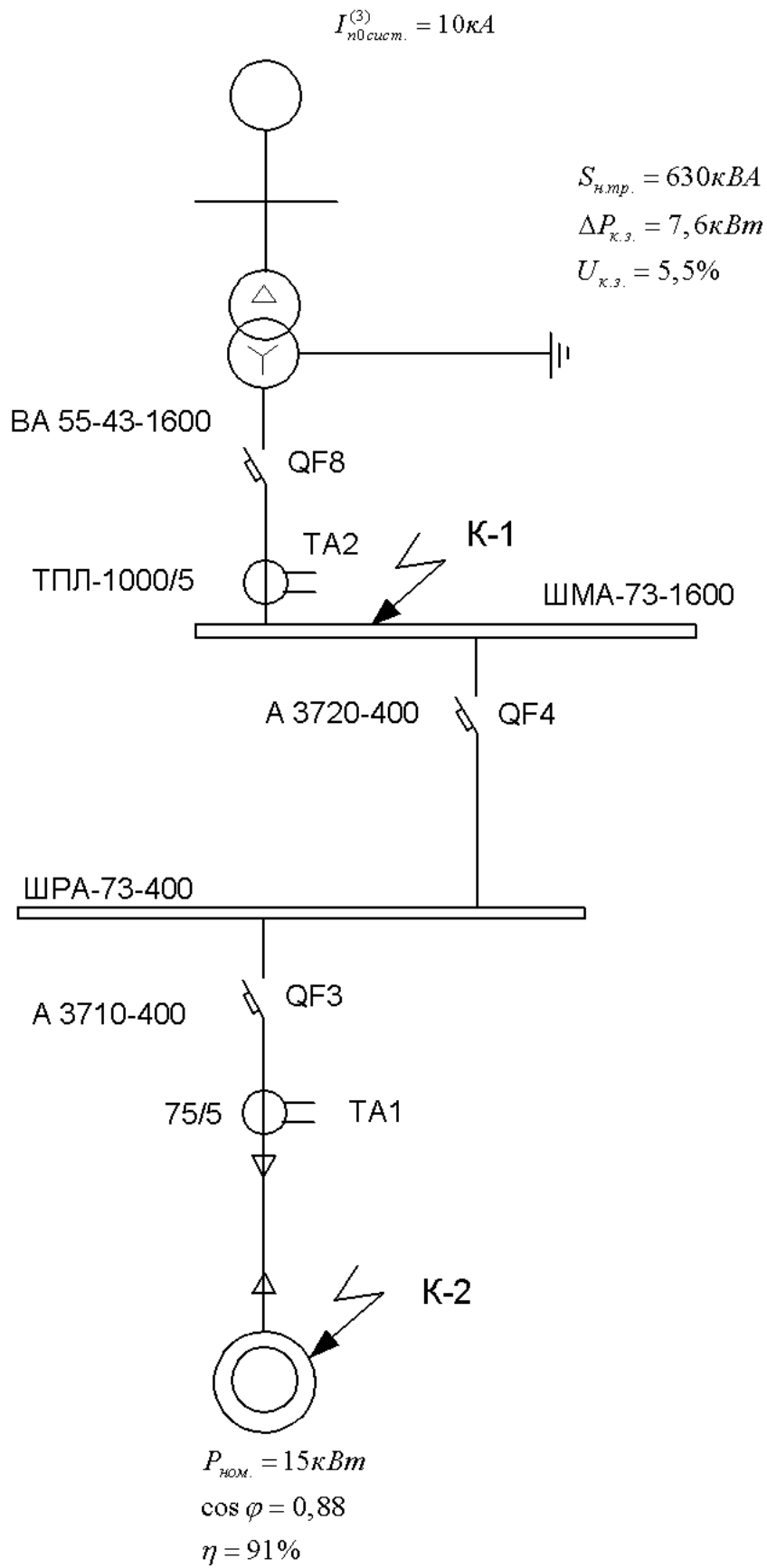


Рисунок 2.4. - Розрахункова схема

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		42

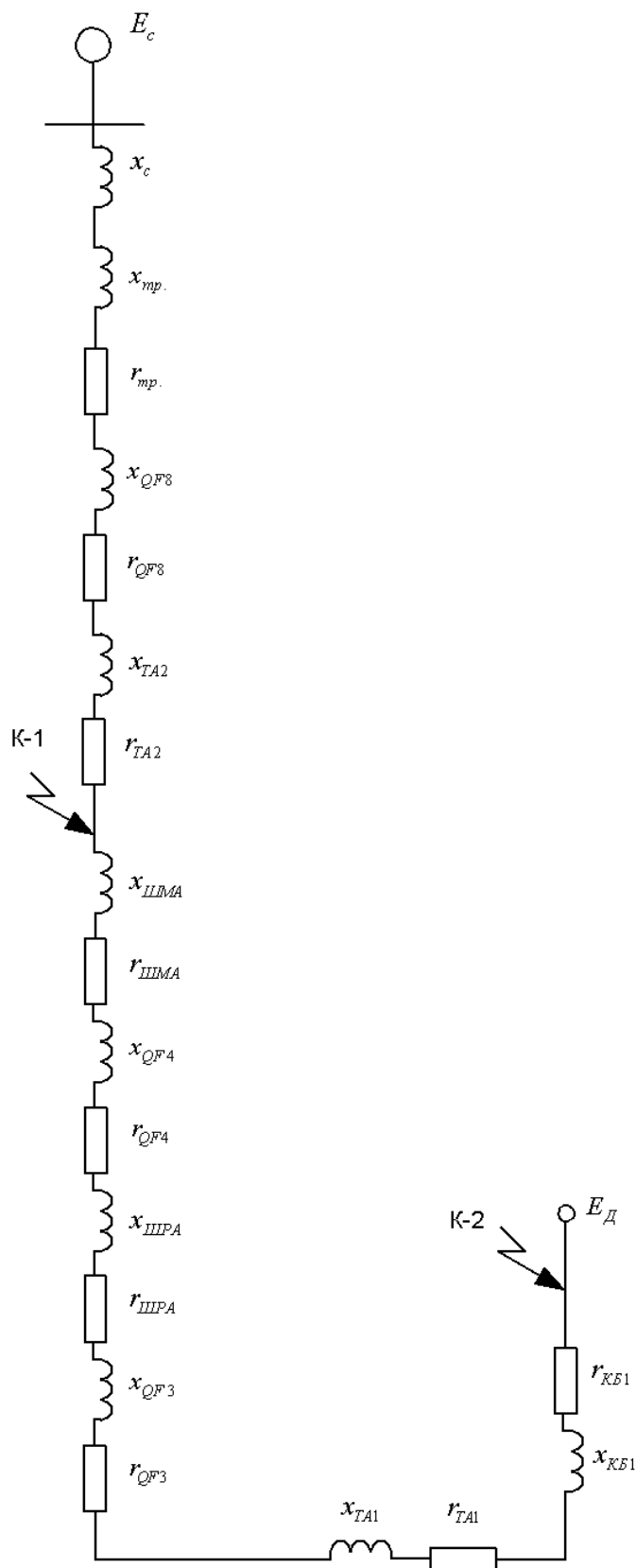


Рисунок 2.5. - Схема заміщення

Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ

Аркуш

43

Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

У випадку живлення електроустановок від енергосистеми через понижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання визначається з урахуванням параметрів джерела живлення та характеристик трансформатора. Це значення є вихідною величиною для подальших розрахунків режимів короткого замикання та вибору захисної апаратури:

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

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 – 630 – 10/0,4; $U_{к.з.} = 5,5\%$, $\Delta P_{к.з.} = 7,6$ кВт.

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

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

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.

Опори (питомі) елементів мережі приведені в табл. 2.3.

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		44

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; $S_{ном.тр.} = 630 \text{ кВА}$.

$$r_{1T} = \frac{7,6 \cdot 0,38^2 \cdot 10^6}{630^2} = 3,07 \text{ мОм} \quad (2.40)$$

$$x_{1T} = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{630}\right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,38^2}{630} = 13,7 \text{ мОм} \quad (2.41)$$

$$r_{1\Sigma} = 3,07 + 0,14 + 0,05 = 3,26 \text{ мОм};$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 13,7 + 0,08 + 0,07 = 14,65 \text{ мОм}$$

$$I_{п.0}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3,25^2 + 14,65^2}} = 15,3 \text{ кА}$$

Необхідність обліку впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається із співвідношення: $I_{ном.дв.\Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{п.0}^{(3)}$ $303 \leq 0,1 \cdot 15300$

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

Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці к.з.

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

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

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

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

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

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

Опори нульової послідовності, зокрема їх активна та індуктивна складові, для понижувальних трансформаторів із схемою з'єднання обмоток типу Δ/Y при розрахунках короткого замикання в мережах низької напруги приймаються рівними відповідним опорам прямої послідовності.

Такий підхід пояснюється особливостями протікання струмів нульової послідовності в трансформаторах із трикутником з'єднанням однієї з обмоток. Зокрема, наявність замкнутого контуру у трикутнику забезпечує циркуляцію струмів нульової послідовності всередині трансформатора, що впливає на еквівалентні параметри схеми заміщення. В результаті для спрощення розрахунків та отримання

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ док.ум.	Підпис	Дата		45

достатньо точних інженерних результатів приймається, що опори нульової послідовності дорівнюють опорам прямої послідовності.

Застосування такого припущення дозволяє значно спростити визначення струмів короткого замикання, не знижуючи при цьому достовірності розрахунків у практичних умовах проектування систем електропостачання.

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

$$r_{1\Sigma} = 3,07 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,65 + 0,15 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 1,28 \cdot 20 = 36,7 \text{ мОм}$$

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

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 13,7 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 \cdot 20 + 0,08 + 4,8 + 0,06 \cdot 20 = 24,79 \text{ мОм}$$

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

$$r'_{1\Sigma} = 36,7 + (0,067 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 124,28 \text{ мОм}$$

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

$$x'_{1\Sigma} = 24,79 + (0,056 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 0,15 \cdot 20) = 35,63 \text{ мОм}$$

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

$$r_{0\Sigma} = 3,07 + 0,14 + 0,05 + 0,037 \cdot 35 + 0,65 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 = 61,58 \text{ мОм}$$

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

$$x_{0\Sigma} = 13,7 + 0,08 + 0,07 + 0,042 \cdot 35 + 0,17 + 0,164 \cdot 20 + 0,08 + 4,8 + 0,075 \cdot 20 = 24,15 \text{ мОм}$$

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

$$I_{п.0min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 124,28 + 61,58)^2 + (2 \cdot 35,63 + 24,15)^2}} = 2,13 \text{ кА}$$

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

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

$18 \geq 10,2$ - умова виконується, оскільки граничний струм відключення автомата АЗ710Б - $I_{пред.відкл.} = 18 \text{ кА}$.

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.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		46

Таблиця 2.3. - Опори (питомих) елементів мережі

Опори послідовностей	Питомі опори, мОм/м	Струмоведучі частини			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМА 1600 (Ш 1)	ШРА 400 (Ш 2)	Кабель АВВГ (3x 25) мм ² (Кб)	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	-	-	-	-	-

ЕГ та БЕ 4815.046.000 ПЗ

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

Електроенергія, що подається для живлення електроприймачів, повинна відповідати встановленим показникам якості згідно з вимогами Національного стандарту України ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності». Дотримання цих нормативів є необхідною умовою для забезпечення надійної, стабільної та економічно ефективної роботи електрообладнання, оскільки якість напруги безпосередньо впливає на режим роботи електроприймачів, їх довговічність і енергетичні втрати.

Відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), уся система електропостачання - від цехової трансформаторної підстанції до безпосередніх електроприймачів - повинна бути перевірена на допустимі відхилення напруги. При цьому обов'язково враховується режим напруги на шинах центру живлення, оскільки саме він визначає вихідні умови для всієї розподільчої мережі.

Під відхиленням напруги розуміють різницю між фактичним значенням напруги в певній точці мережі та її номінальним значенням за умов повільно змінного режиму. При цьому вважається, що напруга змінюється повільно, якщо швидкість її зміни не перевищує 1% за секунду. Дотримання допустимих значень відхилень є важливим фактором забезпечення якісного електропостачання та нормальної роботи всіх категорій електроприймачів:

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

Нормально допустиме відхилення напруги в мережах НН становить встановлене нормативними документами значення, тоді як максимально допустиме відхилення для мереж низької та високої напруги (до 20 кВ) регламентується окремими межами, які забезпечують безпечну та стабільну роботу електроприймачів і всієї СЕП.

Особливо чутливими до змін рівня напруги є освітлювальні установки, у яких навіть незначні відхилення можуть призводити до помітного зниження світлового потоку або перевитрати електроенергії.

Значення відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора:

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

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

U_1 - відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ док.ум.	Підпис	Дата		48

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:

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

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

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: $S_{н.тр.} = 630 \text{ кВА}$, $U_{к.з.} = 5,5\%$, $\Delta P_{к.з.} = 7,6 \text{ кВт}$.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_{розр.} = \frac{\sqrt{P_{розр.}^2 + Q_{неск.}^2}}{N_{опт}}, \text{ кВА}; \quad S_{розр.} = \frac{\sqrt{1146,5^2 + 397,2^2}}{3} = 404,5 \text{ кВА}$$

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

$$tg\varphi = \frac{Q_{неск.}}{P_{розр.\Sigma}} = \frac{397,2}{1345,1} = 0,3$$

Отже $tg\varphi = 0,3$, $\cos\varphi = 0,95$.

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:

$$\Delta U_T = \frac{404,5}{630} \cdot \left(\frac{7,6}{630} \cdot 0,95 + 0,055 \cdot 0,3 \right) = 0,018 = 1,8\%$$

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

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

Отримане значення знаходиться в межах норми.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		49

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

Під час проектування систем електропостачання необхідно передбачати впровадження сучасних технічних рішень, а також використання електрообладнання, що відповідає чинним стандартам і забезпечує підвищену надійність, енергоефективність та зручність експлуатації. Результатом виконаних проектних робіт є розроблена однолінійна схема внутрішньоцехового електропостачання (рис. 2.6), яка відображає структуру живлення та взаємозв'язки основних елементів системи.

Крім того, складено розгорнуту схему силової мережі ділянки ковальсько-штампувального цеху заводу металообробної промисловості, яка наведена на слайді презентації.

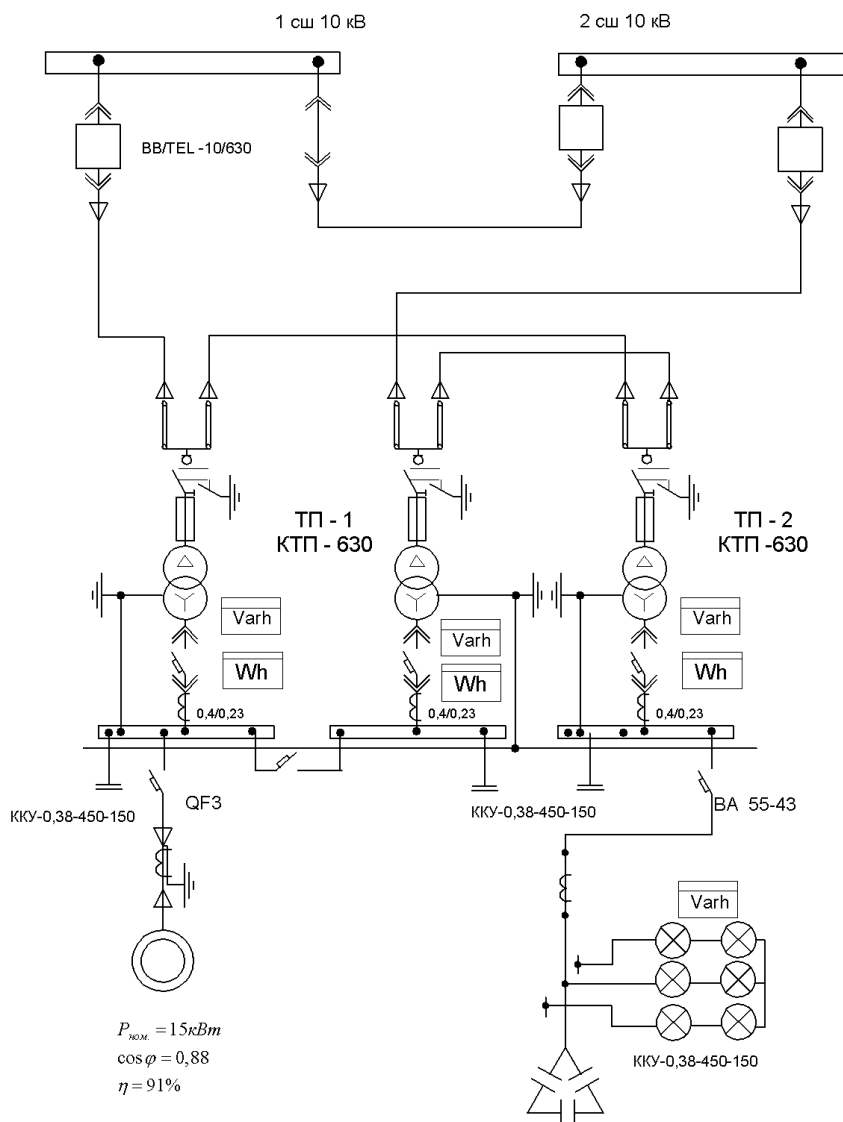


Рисунок 2.6. - Схема живлення цехових трансформаторів подвійними магістралями

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		50

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

В розділі «Електричні розрахунки» було виконано комплекс електричних розрахунків внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ, що дозволило обґрунтувати технічні рішення щодо електропостачання вузла навантаження.

У процесі розрахунку електричних навантажень визначено сумарні активні, реактивні та повні потужності від силових і освітлювальних електроприймачів, що стало основою для подальшого вибору обладнання та елементів мережі. На основі отриманих даних розраховано необхідну потужність компенсуючих пристроїв, що забезпечує підвищення коефіцієнта потужності та зменшення втрат електроенергії.

Виконано раціональне розміщення цехових трансформаторів з урахуванням плану цеху, що дозволило мінімізувати довжини ліній та втрати напруги. Обрано оптимальну схему внутрішньоцехової мережі, яка відповідає вимогам надійності, економічності та зручності експлуатації.

Проведено вибір комутаційно-захисних апаратів для одного з приєднань, що забезпечує надійний захист мережі від перевантажень і коротких замикань. Також обґрунтовано вибір марки та перерізу струмоведучих частин відповідно до допустимих струмових навантажень і умов експлуатації.

Розрахунок струмів короткого замикання дозволив перевірити вибране обладнання та провідники на термічну і динамічну стійкість, що підтверджує їхню працездатність у аварійних режимах. Оцінка якості електроенергії показала, що відхилення напруги на шинах трансформаторної підстанції знаходяться в допустимих межах.

Також розроблено однолінійну схему електропостачання вузла навантаження, яка узагальнює всі прийняті технічні рішення та відображає структуру системи електропостачання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		51

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Об'єктом проектування в даній бакалаврській роботі є система електропостачання вузла технологічного обладнання ковальсько-штампувального цеху підприємства металообробної промисловості. Робота електротехнічного та технологічного обладнання пов'язана з наявністю ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників та безпеку виробничого процесу.

Основним небезпечним фактором є електричний струм. Під час експлуатації електроустановок напругою до 1000 В існує небезпека ураження персоналу електричним струмом внаслідок пошкодження ізоляції, випадкового дотику до струмоведучих частин або порушення правил технічної експлуатації електрообладнання.

Ковальсько-штампувальне виробництво характеризується наявністю обладнання з підвищеним рівнем шуму та вібрації. Джерелами шуму є ковальські молоти, преси, компресори, вентилятори та електродвигуни. Тривалий вплив шуму може викликати зниження працездатності, погіршення слуху та підвищену втомлюваність працівників.

До шкідливих факторів належать також підвищена температура повітря робочої зони, теплове випромінювання від нагрівальних печей та гарячих металевих заготовок. В умовах підвищених температур зростає навантаження на організм працівників, що може призвести до погіршення самопочуття та зниження продуктивності праці.

Під час роботи технологічного обладнання існує небезпека отримання механічних травм через рухомі частини машин, транспортних механізмів та підйомно-транспортного обладнання. Крім того, можливими є пожежонебезпечні ситуації, пов'язані з короткими замиканнями, перевантаженнями електромереж та несправністю електрообладнання.

3.2. Заходи забезпечення електробезпеки

Для забезпечення безпечної експлуатації системи електропостачання необхідно передбачити комплекс технічних та організаційних заходів щодо захисту персоналу від ураження електричним струмом.

Основними заходами електробезпеки є:

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						52
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- використання надійної робочої та додаткової ізоляції струмоведучих частин;
- виконання захисного заземлення корпусів електрообладнання;
- застосування автоматичного відключення живлення при виникненні аварійних режимів;
- використання захисних огорож та блокувань;
- встановлення попереджувальних знаків безпеки;
- проведення періодичного контролю стану ізоляції електрообладнання.

Захисне заземлення є одним із найефективніших способів захисту від ураження електричним струмом. Усі металеві неструмоведучі частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути приєднані до системи заземлення.

Експлуатацію електроустановок повинен здійснювати персонал, який пройшов спеціальне навчання, перевірку знань правил безпечної експлуатації електроустановок та має відповідну групу з електробезпеки. Під час виконання робіт в електроустановках необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, діелектричні килимки, захисні каски, ізолювальні штанги, покажчики напруги та інші захисні засоби.

3.3. Пожежна безпека виробничого об'єкта

Пожежна безпека є важливою складовою безпечної експлуатації систем електропостачання промислових підприємств. Причинами виникнення пожеж можуть бути короткі замикання, перевантаження електричних мереж, порушення контактних з'єднань, перегрів кабельних ліній та несправність електрообладнання.

Для запобігання пожежам необхідно:

- здійснювати правильний вибір перерізів кабелів та проводів;
- застосовувати автоматичні вимикачі та запобіжники відповідно до розрахункових навантажень;
- регулярно проводити огляд та технічне обслуговування електрообладнання;
- контролювати стан контактних з'єднань;
- виконувати вимірювання опору ізоляції.

Виробничі приміщення повинні бути обладнані первинними засобами пожежогасіння. Для гасіння електроустановок під напругою використовуються

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		53

вуглекислотні та порошкові вогнегасники. На території підприємства необхідно забезпечити вільний доступ до евакуаційних виходів, пожежних гідрантів та засобів пожежогасіння.

3.4. Виробнича санітарія та освітлення

Для забезпечення безпечних і комфортних умов праці необхідно підтримувати нормативні параметри виробничого середовища.

У ковальсько-штампувальних цехах особливе значення має організація вентиляції, оскільки в процесі виробництва виділяється значна кількість тепла. Для видалення надлишкового тепла та забезпечення нормативних параметрів мікроклімату застосовуються загальнообмінні та місцеві вентиляційні системи. Освітлення виробничих приміщень повинно відповідати вимогам чинних норм. Недостатнє освітлення може спричинити зниження продуктивності праці, підвищення втомлюваності працівників та збільшення кількості виробничих травм. Для освітлення доцільно використовувати сучасні світлодіодні світильники, які характеризуються високою світловою віддачею, економічністю та тривалим терміном експлуатації.

Крім робочого освітлення необхідно передбачити аварійне освітлення для забезпечення безпечної евакуації працівників у разі аварійного відключення електроенергії.

3.5. Заходи щодо охорони навколишнього середовища

Під час проектування системи електропостачання необхідно враховувати вимоги екологічної безпеки та раціонального використання енергетичних ресурсів.

Одним із напрямів зменшення негативного впливу на навколишнє середовище є підвищення енергоефективності електропостачання шляхом:

- компенсації реактивної потужності;
- зменшення втрат електроенергії в мережі;
- використання енергоефективних електродвигунів;
- застосування сучасних силових трансформаторів із зниженими втратами;
- використання світлодіодного освітлення.

Запропоновані в проєкті технічні рішення дозволяють знизити споживання електроенергії та підвищити ефективність роботи системи електропостачання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						54
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

В розділі «Охорона праці» проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для ковальсько-штампувального цеху металообробного підприємства. Розглянуто основні питання електробезпеки, пожежної безпеки, виробничої санітарії та захисту навколишнього середовища. Запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці, попередження виробничого травматизму та забезпечення надійної роботи електрообладнання.

Реалізація наведених заходів дозволить підвищити рівень безпеки праці персоналу, забезпечити відповідність умов експлуатації вимогам нормативних документів та створити передумови для ефективного функціонування системи електропостачання ковальсько-штампувального цеху.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						55
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Метою проектування внутрішньоцехової системи електропостачання було створення такої електричної мережі, яка забезпечує всі електроприймачі необхідною кількістю електроенергії належної якості при одночасному підвищенні енергоефективності та надійності роботи системи. Особлива увага приділялася впровадженню сучасних енергозберігаючих рішень, що дозволяють зменшити втрати електроенергії та оптимізувати структуру електропостачання цеху.

В ході проектування було реалізовано комплекс технічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності системи. Зокрема, застосовано принцип глибокого введення живлення (ПГЖ) із дробленням трансформаторних підстанцій, що дозволило максимально наблизити джерела живлення до центрів електричних навантажень та зменшити протяжність внутрішньоцехових мереж.

Важливим елементом оптимізації стало раціональне розміщення трансформаторів на площі цеху, що забезпечило більш рівномірний розподіл навантаження, скорочення довжини кабельних ліній і зниження втрат електроенергії в мережах.

Додатково в мережах напругою до 1 кВ передбачено використання компенсуючих пристроїв, що сприяє зниженню реактивних потоків потужності та, як наслідок, зменшенню втрат активної потужності в елементах системи електропостачання. Це також позитивно вплинуло на покращення коефіцієнта потужності та загальних енергетичних показників цеху.

Окремо слід відзначити застосування сучасних швидкодіючих захисних апаратів, які забезпечують своєчасне відключення аварійних ділянок мережі. Це значно підвищує надійність внутрішньоцехового електропостачання, зменшує ризик пошкодження обладнання та скорочує час ліквідації аварійних ситуацій.

В розділі «Охорона праці» виконано дослідження основних небезпечних і шкідливих виробничих чинників, що можуть виникати під час експлуатації системи електропостачання ковальсько-штампувального цеху підприємства металообробної галузі. Проаналізовано вимоги щодо забезпечення електробезпеки, пожежної безпеки, виробничої санітарії, а також заходи, спрямовані на мінімізацію негативного впливу виробництва на навколишнє середовище.

Розроблено комплекс технічних та організаційних рішень, спрямованих на підвищення безпеки виробничого персоналу, зниження ризику виникнення аварійних

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						56
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ситуацій і виробничого травматизму, а також забезпечення надійної та безперебійної роботи електротехнічного обладнання. Особливу увагу приділено заходам захисту від ураження електричним струмом, попередженню пожеж, підтриманню нормативних параметрів виробничого середовища та підвищенню енергоефективності системи електропостачання.

Впровадження запропонованих заходів сприятиме створенню безпечних і комфортних умов праці, забезпеченню відповідності виробничого процесу чинним нормативно-правовим актам з охорони праці, пожежної та техногенної безпеки, а також підвищенню надійності функціонування системи.

В сукупності реалізовані технічні рішення дозволили сформувати ефективну, надійну та енергоощадну систему електропостачання, яка відповідає сучасним вимогам промислових підприємств і забезпечує стабільну роботу технологічного процесу.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
						57
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. 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.

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		58

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».

					ЕТ та ЕЕ 4815.046.000 ПЗ	Аркуш
Ізм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		59