

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

До захисту допущено

кафедрою електротехніки та електроенергетики протокол № _____ від _____

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

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

Проектування системи електропостачання 0,4 кВ металообробного
підприємства ТОВ «Ustor»
(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 _____ Ангеліна ДЕНИСОВА
(підпис) (ім'я, прізвище)

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

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

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))

Денисова Ангеліна Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

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

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

1. Тема роботи: Проектування системи електропостачання 0,4 кВ
металообробного підприємства ТОВ «Ustor»

керівник роботи Васюченко Павло Вікторович, к.пед.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

№ 4801-5/4400

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

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

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

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

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

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

5. План роботи

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика технологічного процесу об'єкту, що проєктується	20.12-10.01	
2	ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ: розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП)	11.01-11.02	
3	Розрахунок потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ	12.02-28.02	
4	Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху	01.03-15.03	
5	Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ	16.03-30.03	
6	Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з присіднань)	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	Проекткування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження	01.06-14.06	
11	Оформлення пояснювальної записки, презентації	15.06-20.06	

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

Здобувач вищої освіти _____ Ангеліна ДЕНИСОВА
(підпис) (ім'я, прізвище)

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

РЕФЕРАТ

до бакалаврської роботи на тему «Проектування системи електропостачання 0,4 кВ металообробного підприємства ТОВ «Ustor»»

Ангеліни Денисової

Пояснювальна записка містить 55 сторінок, 2 рисунків, 4 таблиць, 0 додатків, 28 використаних джерел.

Бакалаврська робота присвячена розробці системи електропостачання напругою 0,4 кВ для металообробного підприємства ТОВ «Ustor». Метою роботи є забезпечення надійного, безпечного та економічно ефективного електропостачання виробничих споживачів із дотриманням сучасних вимог нормативно-технічної документації.

У роботі виконано аналіз технологічного процесу підприємства та складу електроприймачів, визначено категорію надійності електропостачання, проведено розрахунок електричних навантажень силового й освітлювального обладнання. На основі отриманих результатів здійснено вибір схеми електропостачання, кількості та потужності силових трансформаторів, а також виконано розрахунок і вибір компенсувальних пристроїв для підвищення коефіцієнта потужності та зниження втрат електричної енергії.

У процесі проектування проведено вибір комутаційно-захисної апаратури, кабельних ліній і струмопровідних частин, виконано розрахунок струмів короткого замикання та перевірку показників якості електричної енергії. Розроблено однолінійну схему електропостачання підприємства, яка забезпечує необхідний рівень надійності та безперебійності живлення технологічного обладнання.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки, виробничого освітлення та захисту навколишнього середовища під час експлуатації електроустановок підприємства.

Запропоновані технічні рішення забезпечують ефективне використання електроенергії, зменшення експлуатаційних витрат, підвищення надійності роботи електрообладнання та відповідність системи електропостачання чинним нормативним вимогам.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, МЕТАЛООБРОБНЕ ПІДПРИЄМСТВО, ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА, ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

ABSTRACT
up to bachelor's work on the topic
“Design of a 0.4 kV power supply system for the metalworking enterprise of LLC
“Ustor””

Angelina Denisova

The explanatory note contains 55 pages, 2 drawings, 4 table, 0 supplements, 28 victorious texts.

The bachelor's thesis is dedicated to the development of a 0.4 kV electrical supply system for the metalworking enterprise of Ustor LLC. The goal of this work is to ensure reliable, safe and cost-effective power supply to electrical equipment based on the current requirements of regulatory and technical documentation.

The work carried out an analysis of the technological process of production and storage of electrical devices, determined the category of reliability of electrical supply, and carried out the design of electrical equipment, power supply and lighting equipment. Based on the obtained results, the selection of power supply circuits, the strength and voltage of power transformers was made, as well as the design and selection of compensating devices to increase the coefficient pressure and reduction of electrical energy consumption.

During the design process, the selection of switching equipment, cable lines and power-conducting parts was carried out, the design of short-circuit currents was determined and the electrical energy indicators were verified. A single-line power supply scheme has been developed, which will ensure the necessary level of reliability and uninterrupted life of technological equipment.

This section is dedicated to food safety, electrical safety, fire safety, fire lighting, and the protection of excess fluid during the operation of electrical installations of the enterprise.

The proposed technical solutions will ensure efficient use of electricity, a reduction in operating costs, increased reliability of the electrical system and reliability of the electrical supply system. We are in good standing with the normative vimogam.

KEY WORDS: ELECTRICAL SYSTEM, ELECTRICAL VANTAGE, TRANSFORMER PIDSTATION, COMPENSATION OF REACTIVE FUNCTION, SHORT-CIRCUIT, ELECTRICAL, METAL FORMING INDUSTRY, ELECTRICAL SECURITY, ELECTRICITY, ENERGY EFFICIENCY.

ЗМІСТ

с

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	5
ВСТУП	6
1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	7
2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ	10
2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ і вище 1 кВ	10
2.1.1. Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів	13
2.1.2. Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів	15
2.2. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв в мережі напругою до 1 кВ	17
2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв по умові вибору оптимального числа цехових трансформаторів	19
2.2.2. Визначення додаткової потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ в цілях оптимального зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями РМ	21
2.3 Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху	23
2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ	25
2.5. Вибір типу та параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах	27
2.6. Вибір марки та перерізів струмопровідних частин	31
2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ	33

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Денисова				Проектування системи електропостачання 0,4 кВ металообробного підприємства ТОВ «Ustor»	Лист	Лист	Листов
Перевірив	Васюченко							
Н. контрол.						ДЕА-Е22+Е23пр ННІ УПА ХНУ ім. В.Н. Каразіна		
Затв.	Васюченко							

2.7.1. Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання	34
2.7.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К-2	37
2.8 Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП	39
2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження	42
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	44
3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	44
3.2 Заходи щодо забезпечення електробезпеки	45
3.3 Пожежна та вибухова безпека	46
3.4 Вимоги до виробничого освітлення	48
3.5 Захист навколишнього середовища	49
Висновки до розділу 3	51
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ЕП	електроприймач
СЕП	система електропостачання
ТП	трансформаторна підстанція
КТП	комплектна трансформаторна підстанція
ПС	підстанція
ГПП	головна знижувальна підстанція
ПГВ	підстанція глибокого введення
КРМ	компенсація реактивній потужності
ЯЕЕ	якість електричної енергії
ДЖ	джерело живлення
ККУ	комплектна конденсаторна установка
ДРП	джерело реактивної потужності
РП	реактивна потужність
КУ	конденсаторна установка
АД	асинхронний двигун
СД	синхронний двигун
ДСП	дугосталеплавильна піч
ВВ	високовольтні (ЕП, електроустаткування і т.д.)
НВ	низьковольтні (ЕП, електроустаткування і т.д.)

ВСТУП

Система електропостачання підприємства являє собою сукупність електричних мереж напругою до та понад 1 кВ, електрообладнання, трансформаторних і перетворювальних підстанцій. Її основним призначенням є забезпечення виробничих потреб шляхом передачі електричної енергії від джерела живлення до споживачів у необхідному обсязі та з належними показниками якості.

Одним із ключових завдань у сфері виробництва та використання електроенергії є раціональне використання енергетичних ресурсів. З огляду на те, що близько 70 % усієї електроенергії споживається промисловими підприємствами, саме в цьому секторі зосереджений найбільший потенціал для енергозбереження.

Досягнення суттєвої економії електроенергії можливе лише за умови ефективно організованої системи електропостачання, застосування енергоощадного обладнання та впровадження сучасних систем обліку електроенергії. Це дозволяє здійснювати аналіз енергоспоживання, визначати найбільш енергоємні ділянки виробництва, розробляти заходи щодо зниження енергетичних витрат і оцінювати їхню ефективність.

Система електропостачання промислового підприємства повинна відповідати таким основним вимогам:

1. Потужність встановлених джерел живлення має відповідати максимальним значенням електричних навантажень підприємства.
2. Лінії електропередачі та електричні апарати повинні мати достатню пропускну здатність для передачі необхідної потужності.
3. Система має забезпечувати високу надійність електропостачання, тобто безперервну подачу електричної енергії електроприймачам.
4. Необхідно підтримувати належну якість електроенергії, зокрема стабільність напруги та частоти.
5. Система повинна характеризуватися мінімально можливими капітальними вкладеннями та експлуатаційними витратами, а також забезпечувати зручність експлуатації й безпечне обслуговування електроустановок.

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Одним із важливих етапів проектування систем електропостачання промислових підприємств є аналіз технологічного процесу та оцінка наслідків можливого припинення подачі електричної енергії. Основною метою такої характеристики є визначення величини ймовірних економічних, технічних і виробничих збитків, які можуть виникнути в результаті аварійного або планового відключення електроенергії. Отримані результати дають змогу встановити необхідний рівень надійності електропостачання об'єкта, а також визначити категорію електроприймачів відповідно до чинних нормативних документів.

Правильне визначення категорії електроприймачів має важливе значення під час розроблення системи електропостачання підприємства, оскільки від цього залежить кількість незалежних джерел живлення, структура електричних мереж, вибір комутаційного обладнання, застосування пристроїв автоматичного введення резерву (АВР), а також загальна надійність роботи виробництва. Чим вищими є вимоги до безперервності технологічного процесу, тим більш складною та надійною повинна бути система електропостачання.

Відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) усі електроприймачі поділяються на три категорії за ступенем надійності електропостачання.

До першої категорії належать електроприймачі, припинення електропостачання яких може призвести до особливо тяжких наслідків. Серед них — загроза життю та здоров'ю людей, виникнення аварійних ситуацій, значні матеріальні втрати, пошкодження дороговартісного обладнання, порушення складних технологічних процесів, а також масове виготовлення бракованої продукції. Для таких споживачів обов'язково передбачається живлення від двох або більше незалежних джерел електроенергії. У разі відмови одного джерела

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

живлення електропостачання повинно автоматично переключатися на резервне без тривалих перерв у роботі. До електроприймачів першої категорії можуть належати системи аварійного освітлення, протипожежного захисту, вентиляційні установки небезпечних виробництв, диспетчерські та серверні центри, а також окремі види високотехнологічного обладнання.

До другої категорії належать електроприймачі, відключення яких не створює безпосередньої небезпеки для людей, але викликає суттєві економічні втрати через зниження обсягів виробництва, простої технологічного обладнання, зупинку механізмів або промислового транспорту. Перерва в електропостачанні таких споживачів допускається лише на час, необхідний для підключення резервного джерела живлення оперативним персоналом або автоматичними пристроями. Як правило, для електроприймачів другої категорії передбачається живлення від двох незалежних джерел або використання резервних ліній електропередачі.

До третьої категорії належать усі інші електроприймачі, які не підпадають під вимоги першої та другої категорій. Зазвичай це обладнання допоміжних цехів, складських приміщень, адміністративних будівель та інших об'єктів, відключення яких не спричиняє значних виробничих або економічних наслідків. Для таких споживачів достатнім вважається живлення від одного джерела електроенергії. Допускається перерва в електропостачанні на час проведення ремонтних робіт, усунення аварійних пошкоджень або заміни несправних елементів мережі, проте її тривалість не повинна перевищувати однієї доби.

Вибір категорії електроприймачів безпосередньо впливає на технічні рішення, які приймаються під час проєктування систем електропостачання. Для забезпечення необхідного рівня надійності застосовуються різноманітні технічні заходи, серед яких резервування ліній електропередачі, встановлення додаткових трансформаторів, використання автоматичних пристроїв перемикання живлення, джерел безперебійного живлення та дизель-генераторних установок.

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

Використання таких рішень дозволяє мінімізувати ризики аварійних зупинок виробництва, зменшити економічні втрати та забезпечити стабільне функціонування підприємства.

Таким чином, визначення категорії надійності електропостачання є одним із ключових завдань при проектуванні електричних мереж промислових об'єктів. Від правильності цього вибору залежать ефективність роботи підприємства, безпека персоналу, збереження обладнання та якість виробничих процесів. Тому аналіз технологічного процесу та оцінка наслідків можливих перерв в електропостачанні є обов'язковими складовими розроблення сучасних систем електропостачання.

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

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

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

Електричне навантаження є однією з основних характеристик роботи системи електропостачання та являє собою величину споживаної електричної потужності або струму, що змінюється в часі відповідно до режиму роботи електроприймачів. Навантаження може характеризуватися активною потужністю P (кВт), реактивною потужністю Q (квар) або силою струму I (А). Зміна цих параметрів залежить від особливостей технологічного процесу, режиму експлуатації обладнання, кількості працюючих електроприймачів та інших виробничих факторів.

Розрахунок електричних навантажень є одним із найважливіших етапів проєктування систем електропостачання, оскільки саме на його основі здійснюється вибір та перевірка основних елементів електричної мережі. За величиною розрахункового навантаження визначають необхідну кількість і потужність силових трансформаторів на всіх рівнях системи електропостачання, вибирають комутаційну та захисну апаратуру, струмопроводи, кабельні та повітряні лінії електропередачі, а також встановлюють допустимі перерізи струмопровідних частин.

Крім того, результати розрахунків навантажень використовуються для визначення втрат електроенергії в мережах, оцінювання режимів роботи обладнання, вибору засобів компенсації реактивної потужності та перевірки якості електроенергії. Правильне визначення навантажень дозволяє забезпечити надійну та економічно ефективну роботу системи електропостачання впродовж усього терміну її експлуатації.

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

Особливе значення має точність визначення очікуваних електричних навантажень. Від правильності виконаних розрахунків значною мірою залежать техніко-економічні показники проєктованого об'єкта. Завищення розрахункових навантажень призводить до необґрунтованого збільшення потужності трансформаторів, застосування кабелів більшого перерізу, використання дорожчого електрообладнання та, як наслідок, до зростання капітальних витрат на будівництво системи електропостачання.

Водночас заниження розрахункових навантажень може стати причиною перевантаження обладнання, прискореного зношування електричних апаратів, збільшення втрат електроенергії, погіршення показників якості електроенергії та зниження надійності електропостачання. У деяких випадках це може призвести до аварійних режимів роботи, виходу обладнання з ладу та порушення технологічного процесу.

Таким чином, визначення електричних навантажень є основою для розроблення ефективної системи електропостачання. Точність розрахунків дозволяє забезпечити оптимальне співвідношення між надійністю, безпекою та економічністю роботи електроенергетичного господарства підприємства, а також створити необхідний резерв потужності для подальшого розвитку виробництва.

У даному дипломному проєкті для визначення розрахункових електричних навантажень застосовується метод упорядкованих діаграм, який на сьогодні є одним із найбільш поширених і рекомендованих при розробленні технічних та робочих проєктів систем електропостачання. Цей метод дозволяє з достатньою точністю визначати очікувані навантаження на всіх ступенях живильних і розподільчих мереж, що є необхідною умовою правильного вибору електрообладнання та елементів системи електропостачання.

Згідно з даним методом, розрахункове активне навантаження електроприймачів визначається за середньою потужністю та коефіцієнтом максимуму за формулою:

$$P_p = K_p \cdot \Sigma P_{см},$$

де P_p — розрахункова активна потужність групи електроприймачів, кВт;
 K_p — розрахунковий коефіцієнт навантаження (коефіцієнт максимуму);
 $\Sigma P_{см}$ — сумарна середня потужність групи електроприймачів, кВт.

Значення розрахункового коефіцієнта K_p визначається за довідковими таблицями залежно від кількості ефективних електроприймачів n_e та середньозваженого коефіцієнта використання групи K_v :

$$K_p = f(n_e; K_v.гр.зв).$$

Для кожної групи електроприймачів попередньо визначається сумарна встановлена (номінальна) потужність, яка приймається відповідно до паспортних даних електричного обладнання. На основі встановленої потужності та коефіцієнтів використання розраховується середня потужність навантаження, після чого визначається розрахункова активна потужність групи.

Застосування методу упорядкованих діаграм дозволяє врахувати нерівномірність роботи електроприймачів, характер технологічного процесу та ймовірність одночасного ввімкнення обладнання. Це забезпечує достатню точність розрахунків і створює основу для подальшого вибору трансформаторів, кабельних ліній, шинопроводів, комутаційної апаратури та інших елементів системи електропостачання.

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

2.1.1. Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів

Розрахунок електричних навантажень силових електроприймачів виконується методом упорядкованих діаграм. Вихідними даними для розрахунку є номінальні потужності електрообладнання, коефіцієнти використання та коефіцієнти потужності окремих груп електроприймачів.

Для кожної групи електроприймачів визначається сумарна встановлена (номінальна) потужність, яка приймається відповідно до паспортних даних електротехнічного обладнання. Для окремих електроприймачів, що працюють у повторно-короткочасному режимі (ПКР), зокрема зварювальних машин та підйомно-транспортного обладнання, паспортні дані попередньо приводяться до номінальної потужності тривалого режиму роботи.

Сумарна номінальна потужність вузла навантаження становить:

$$\Sigma P_n = 7977,32 \text{ кВт.}$$

Розрахунок електричних навантажень виконується для найбільш завантаженої зміни. Для кожної характерної групи електроприймачів середня активна потужність визначається за формулою:

$$P_{cm} = P_n \cdot K_v,$$

де:

- P_n – номінальна потужність групи електроприймачів, кВт;
- K_v – коефіцієнт використання.

Для першої групи електроприймачів:

$$P_{cm1} = P_{n1} \cdot K_{v1} = 2400 \cdot 0,35 = 840 \text{ кВт.}$$

Середня реактивна потужність визначається за виразом:

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

Для першої групи:

$$Q_{cm1} = 840 \cdot 1,17 = 982 \text{ квар.}$$

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

Аналогічно виконуються розрахунки для інших груп електроприймачів.
Результати розрахунків зводяться до таблиці 2.1.

Сумарні середні навантаження по цеху становлять:

$$\Sigma P_{cm} = 3295,92 \text{ кВт};$$

$$\Sigma Q_{cm} = 3848,09 \text{ квар.}$$

Наступним етапом є визначення середньозваженого коефіцієнта використання групи електроприймачів за формулою:

$$K_{в.гр} = \Sigma P_{cm} / \Sigma P_n.$$

Підставивши отримані значення, одержимо:

$$K_{в.гр} = 3295,92 / 7977,32 = 0,41.$$

Після визначення середньозваженого коефіцієнта використання обчислюється ефективна кількість електроприймачів. Для спрощення розрахунків використовується формула:

$$n_{ef} = (\Sigma P_n)^2 / \Sigma P_n^2,$$

або наближений метод, якщо виконується умова:

$$m = P_{n.max} / P_{n.min} > 3 \text{ та } K_{и.гр} > 0,2.$$

За результатами розрахунків ефективна кількість електроприймачів становить:

$$n_{ef} = 53,18.$$

За відомими значеннями n_{ef} та $K_{в.гр}$ із довідкових таблиць визначається коефіцієнт розрахункового навантаження:

$$K_p = f(n_{ef}; K_{и.гр}).$$

Для даного випадку:

$$n_{ef} = 53,18;$$

$$K_{и.гр} = 0,41;$$

$$K_p = 0,7.$$

Розрахункова активна потужність вузла навантаження становить:

$$P_p = K_p \cdot \Sigma P_{cm} = 0,7 \cdot 3295,92 = 2307,14 \text{ кВт.}$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова реактивна потужність:

$$Q_p = K_p \cdot \Sigma Q_{см} = 0,7 \cdot 3848,09 = 2693,66 \text{ квар.}$$

Повна розрахункова потужність визначається за формулою:

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

Після підстановки числових значень отримуємо:

$$S_p = 3546,85 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм визначається за формулою:

$$I_p = S_p / (\sqrt{3} \cdot U_n), \text{ А,}$$

де $U_n = 0,4 \text{ кВ}$ – номінальна напруга мережі.

Отримані результати розрахунку електричних навантажень використовуються для подальшого вибору силових трансформаторів, комутаційної апаратури, кабельних ліній та інших елементів системи електропостачання.

2.1.2. Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів

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

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

$$K_{пра} = 1,1.$$

Розрахункова активна потужність освітлювальних електроприймачів становить:

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

$$P_{p.o} = 129,58 \text{ кВт.}$$

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

Розрахункова реактивна потужність освітлювального навантаження визначається за формулою:

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

де:

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

Тоді:

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

Повна потужність освітлювального навантаження визначається за виразом:

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

Після підстановки розрахункових значень отримуємо:

$$S_{p.o} = 136,40 \text{ кВА.}$$

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

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

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

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

Отримані значення сумарних розрахункових навантажень використовуються для подальшого вибору силових трансформаторів, компенсуючих установок, струмопровідних частин та іншого обладнання системи електропостачання.

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

2.2 Розрахунок потужності компенсуючих установок у мережі напругою до 1 кВ

Сумарна розрахункова потужність конденсаторних батарей низької напруги (КБНН), що встановлюються в цеховій мережі, визначається на основі техніко-економічних розрахунків за критерієм мінімуму приведених витрат у два етапи:

1. Визначення економічно оптимальної кількості цехових трансформаторів.
2. Визначення додаткової потужності компенсуючих установок для оптимального зниження втрат електроенергії в трансформаторах та мережі напругою 6–10 кВ.

Сумарна розрахункова потужність конденсаторних батарей визначається за формулою:

$$Q_{\text{НК}} = Q_{\text{НК1}} + Q_{\text{НК2}},$$

де:

$Q_{\text{НК1}}$ – потужність конденсаторних батарей, необхідна для вибору оптимальної кількості трансформаторів;

$Q_{\text{НК2}}$ – додаткова потужність компенсуючих установок для зменшення втрат активної потужності.

Таблиця 2.1. Розрахунок електричних навантажень

№ п/п	Найменування характерних груп ЕП	Вихідні дані						Справочні дані		Середньо навантаження			Ефек. число ЕП п еф	Коеф. розр. наван. Кн	Розрахункове макс. навантаження			
		Кіль-ть шт. п	Номинальна (встан.) потужність, кВт			Коеф. використання	cos	tg	Р см, кВт	Q см, квар	Рр, кВт	Qр, квар			Sp, кВА	Розрахунковий струм, А		
			Одного ЕП	Загальна	Потужність при ПВ=1													
																	Рнпн/Рнпмх	Рн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1	Приводи рольгангів	240	7,70	2400,00	2400,00	0,35	0,65	1,17	982,07									
2	Привод канавних стовпів	120	0,515	750,00	750,00	0,35	0,65	1,17	306,90									
3	Вентилятори	50	1,5	80,00	80,00	0,75	0,80	0,75	45,00									
4	Насоси, компресори	70	0,540	350,00	350,00	0,75	0,80	0,75	196,88									
5	Крани, телефери, ПВ=2,5%	75	10,300	1850,00	925,00	0,18	0,45	1,98	330,42									
6	Крани, телефери, ПВ=10%	45	10,80	1150,00	727,32	0,18	0,45	1,98	259,81									
7	Зварювальні машини зовнішнього зв'язування Sp,кВА	45	10,40	700,00	245,00	0,30	0,35	2,68	196,72									
8	Елеватори, Конвеєрні блокові	60	3,100	2500,00	2500,00	0,60	0,70	1,02	1530,31									
9	Інші силові ЕП:	705	300,00	9780,00	7977,32	0,41			3848,09	53,18	0,70	2307,14	2693,66	3546,65	5119,15			
10	Освітлювальні ЕП:				124,00		0,95	0,33	3295,92		0,95	129,58	42,59	136,40	196,88			
11	Всього по цеху:				8101,32							2436,72	2736,26	3663,98	5288,49			
	Номинальна напруга, Uн																	
	Площа цеху, F																	
	Встан. потужність електрич. освітлення, Рно																	
	Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних ЕП																	
	Коеф. спроса, Kco				0,95													
	Коеф. пуск. рег. апаратури, Kпа				1,1													
	Питома щільність електрич. навантаження, Рплт				12,4	Вт/м2												
	Встановл. потужність, Рно				124	кВт												

□

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

Правильний вибір кількості та потужності трансформаторів можливий лише на основі техніко-економічного аналізу з урахуванням категорії надійності електропостачання споживачів, рівня компенсації реактивної потужності, перевантажувальної здатності трансформаторів, стандартного ряду їх потужностей та режимів роботи електричних навантажень.

Встановлення надмірної кількості трансформаторів є економічно недоцільним, оскільки призводить до збільшення капітальних вкладень, експлуатаційних витрат і втрат електроенергії. Крім того, ускладнюється схема електропостачання та її експлуатація.

При виборі трансформаторів рекомендується:

- застосовувати трансформатори потужністю понад 1000 кВА при наявності потужних електроприймачів або значних змінних навантажень;
- забезпечувати максимальну однотипність трансформаторного обладнання;
- для двотрансформаторних підстанцій вибирати потужність трансформаторів таким чином, щоб у разі виходу з ладу одного трансформатора другий міг забезпечити живлення електроприймачів I та II категорій.

Мінімальна кількість трансформаторів визначається за формулою:

$$N_{\min} = S_p / (\beta \cdot S_{\text{ном.тр}}),$$

де:

- β – коефіцієнт завантаження трансформатора;
- $S_{\text{ном.тр}}$ – номінальна потужність трансформатора.

Для електроприймачів I категорії приймаємо:

$$\beta = 0,65-0,7.$$

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

За результатами розрахунку отримано:

$$N_{\text{мін}} = 2.$$

Економічно оптимальна кількість трансформаторів визначається за формулою:

$$N_{\text{опт}} = N_{\text{мін}} + m,$$

де m – кількість додатково встановлених трансформаторів.

При:

- $N_{\text{мін}} = 2;$
- $K_3 = 0,8;$
- $m = 0;$

одержуємо:

$$N_{\text{опт}} = 2.$$

Для вибраної кількості трансформаторів визначається максимально допустима реактивна потужність, що може передаватися через трансформатори в мережу 0,4 кВ, після чого розраховується необхідна потужність конденсаторних батарей:

$$Q_{\text{нк1}} = 2000 \text{ квар.}$$

Потужність компенсуючих установок, що припадає на один трансформатор, становить:

$$Q_{\text{нк1тр}} = 1000 \text{ квар.}$$

За найближчим стандартним рядом вибираємо комплектну конденсаторну установку:

$$\text{УК-0,38-1000УКЛ (20} \times \text{50 квар).}$$

Таким чином, для двох трансформаторів встановлюються дві компенсувальні установки потужністю по 1000 квар кожна.

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

2.2.2 Визначення додаткової потужності компенсуючих установок для зниження втрат активної потужності

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

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

Для даного випадку прийнято:

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

У результаті розрахунків отримано від'ємне значення некомпенсованої реактивної потужності, що свідчить про відсутність необхідності встановлення додаткових компенсуючих пристроїв для зниження втрат у трансформаторах.

Отже:

$$Q_{нк2} = 0 \text{ квар.}$$

Загальна потужність компенсуючих установок становить:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2} = 2000 \text{ квар.}$$

Встановлення конденсаторних батарей на стороні 0,4 кВ дозволяє зменшити переструми реактивної потужності через трансформатори 10/0,4 кВ, що сприяє зниженню втрат активної потужності та підвищенню енергоефективності системи електропостачання.

Проведені розрахунки підтвердили доцільність застосування двох силових трансформаторів потужністю 1600 кВА кожний та встановлення в мережі 0,4 кВ компенсуючих установок сумарною потужністю 2000 квар, що забезпечує

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

економічно обґрунтований та надійний режим роботи системи електропостачання.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2. Розрахунок компенсуючих пристроїв та вибір цехових трансформаторів

Кат	Pr+Pro	Qr+Qro	Sp	J=Sp/F	Sгр	B	Nmin	Nопт	Qt	Qнк1	Qнк1'	Qнк1 спр	Q неск	j	Qнк2	Qнк*Noпт	Вф
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	2436,72	2736,26	3663,98	0,37	1600,00	0,80	1,90	2,00	784,85	1951,41	975,71	1000,00	736,26	0,44	-671,74	2000,00	0,80

2.3 Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Під час розміщення цехових трансформаторних підстанцій необхідно дотримуватися таких основних принципів:

- максимальне наближення трансформаторних підстанцій до центрів електричних навантажень, що дозволяє скоротити довжину мереж низької напруги та зменшити втрати електроенергії;
- оптимальний розподіл встановлених потужностей трансформаторів, обґрунтований техніко-економічними розрахунками;
- забезпечення найкоротшого шляху живлення підстанції від джерела електропостачання, що сприяє зменшенню витрат провідникових матеріалів і втрат електроенергії в живильних мережах.

Місце розташування цехових трансформаторних підстанцій визначається щільністю електричних навантажень, розміщенням технологічного обладнання, можливістю встановлення компенсуючих пристроїв, а також умовами виробничого середовища, які залежать від особливостей технологічного процесу.

Досвід проєктування та експлуатації систем електропостачання свідчить про доцільність застосування комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), які забезпечують високий рівень заводської готовності обладнання та скорочують обсяги монтажних робіт на об'єкті.

Розміщення трансформаторних підстанцій поблизу центрів навантажень дає змогу вже на стадії проєктування підвищити енергоефективність системи електропостачання за рахунок зменшення втрат електроенергії та скорочення довжини розподільних мереж. При цьому вибір місця встановлення КТП, кількості та потужності трансформаторів повинен забезпечувати покриття розрахункових навантажень, відповідати умовам навколишнього середовища та необхідному рівню надійності електропостачання.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежно від місця розташування відносно виробничого приміщення розрізняють внутрішньоцехові, вбудовані, прибудовані та окремо розташовані трансформаторні підстанції.

Внутрішньоцехові підстанції забезпечують максимальне наближення до центрів навантажень і найкращі показники економічності. Їх доцільно застосовувати у багатопрольотних виробничих будівлях великої ширини, розміщуючи поблизу колон у зонах, що не використовуються технологічним обладнанням.

Вбудовані підстанції використовуються у виробничих приміщеннях з високою щільністю навантажень або в цехах невеликої ширини, де відсутня можливість встановлення окремих внутрішньоцехових підстанцій.

Прибудовані підстанції рекомендується застосовувати у приміщеннях із несприятливими умовами середовища або технологічними процесами, пов'язаними з виділенням значної кількості тепла, пилу чи можливим розливом рідкого металу. У таких випадках часто використовуються комплектні трансформаторні підстанції зовнішнього встановлення.

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

Для даного проєкту прийнято рішення щодо встановлення прибудованої двотрансформаторної комплектної трансформаторної підстанції. Такий варіант забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання споживачів, відповідає умовам виробництва та дозволяє раціонально організувати схему розподілу електроенергії.

З огляду на значну щільність електричного навантаження та наявність електроприймачів I та II категорій за надійністю електропостачання, обрано двотрансформаторну підстанцію з двома силовими трансформаторами потужністю 1600 кВА кожний. Потужність трансформаторів вибрана з

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

урахуванням допустимих перевантажень в аварійних режимах відповідно до чинних нормативних документів.

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

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

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

2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Цехові мережі розподілу електроенергії повинні:

- забезпечувати необхідну надійність електропостачання споживачів електроенергії в залежності від їх категорії;
- бути зручними та безпечними в експлуатації;
- мати оптимальні техніко-економічні показники (мінімум приведених витрат);
- мати конструктивне виконання, що забезпечує застосування індустріальних методів монтажу.

Схеми цехових мереж ділять на магістральні та радіальні.

Магістральні схеми доцільно застосовувати при живленні електроприймачів, розташованих відносно рівномірно по площі цеху, а також для живлення груп електроприймачів, що належать одній технологічній лінії.

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

Для всіх магістральних схем характерні такі особливості:

1. Схема магістрального живлення забезпечує знижену надійність електропостачання в порівнянні з радіальними схемами, оскільки при пошкодженні магістралі всі її споживачі втрачають живлення. Тому для підвищення надійності передбачені резервні перемички в мережі 0,4 кВ.

2. Вартість виконання магістральних мереж зазвичай нижча вартості виконання радіальних за рахунок використання меншої кількості встановлюваного обладнання та нижчої вартості монтажу живильної лінії.

3. Магістральні схеми дозволяють застосовувати новітні системи провідників, що забезпечують швидкий монтаж.

4. У магістральних мережах в порівнянні з радіальними більші струми короткого замикання, але зазвичай менші втрати напруги та потужності.

При радіальній схемі живлення електроприймачі (ЕП) НН отримують живлення окремими лініями, що відходять від РУНН ТП. Радіальні схеми застосовують при зосереджених навантаженнях з їх нерівномірним розподілом по площі цеху.

Перевагами радіальних схем є їх висока надійність, оскільки аварія на одній з ліній не впливає на роботу інших ЕП. Недоліки радіальних схем — значні капіталовкладення в провідникові частини, комутаційно-захисну апаратуру, обмеження можливості застосування індустріальних методів монтажу.

В останні роки при розташуванні ТП в центрах електричних навантажень у мережі до 1 кВ отримала поширення схема БТМ — блок трансформатор — магістраль.

Виконана за схемою БТМ внутрішнь цехова мережа спрощується, оскільки КТП може бути виконана без розподільного пристрою низької напруги (РУНН). У цьому випадку від трансформатора КТП відходить магістральний шинопровід

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

(ШМА), призначений для передачі електроенергії кільком розподільним шинопроводам (ШРА) або декільком ЕП.

Схема електропостачання ЕП цеху представлена на плакаті графічної частини дипломного проекту.

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

Під час експлуатації електричних мереж можливі порушення нормального режиму роботи, зокрема перевантаження та короткі замикання, які супроводжуються різким зростанням струму в провідниках. У зв'язку з цим внутрішньоцехові електричні мережі повинні бути надійно захищені від аварійних режимів роботи. Для цього застосовуються комутаційно-захисні апарати, що забезпечують автоматичне відключення пошкодженої ділянки мережі за мінімально можливий час.

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

Вибір автоматичних вимикачів виконується з дотриманням таких основних умов:

- відповідність номінальної напруги автомата номінальній напрузі мережі;
- відповідність номінального струму розчеплювача розрахунковому струму захищуваної ділянки мережі.

При цьому для автоматичних вимикачів, що встановлюються у шафах, необхідно враховувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85, який зменшує допустиме навантаження через погіршення умов охолодження.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір ввідного автоматичного вимикача

Ввідні автомати вибираються за встановленою потужністю цехових трансформаторів з урахуванням можливих перевантажень у післяаварійному режимі відповідно до вимог нормативних документів.

Розрахунковий струм визначає умови вибору ввідного автомата. За результатами розрахунку приймається селективний автомат, для якого виконується умова:

$$I_{\text{ном.ав}} \geq I_{\text{розр.}}$$

Отримане значення підтверджує правильність вибору, оскільки:

$$4000 \text{ А} < 4000 \text{ А}, \text{ що є гранично допустимим значенням.}$$

Для встановлення приймається автомат типу ЕО-40.

Секційний автомат обирається на ступінь нижче за номіналом від ввідного вимикача, у зв'язку з чим приймається автомат типу Е25 з номінальним струмом $I_n = 2500 \text{ А}$.

Вибір автоматичних вимикачів для захисту електродвигунів

Для захисту електродвигунів використовуються автоматичні вимикачі, параметри яких визначаються залежно від режиму пуску та характеру навантаження.

Для одиночних електродвигунів пусковий струм визначається за формулою:

$$I_{\text{пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном.дв}},$$

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

Для режиму одночасного запуску самозапускних двигунів враховується сума пускових струмів відповідної групи електроприймачів.

Для випадку пуску найбільш потужного двигуна при роботі решти електроприймачів у нормальному режимі використовується залежність, що враховує сумарні номінальні струми та пусковий струм найбільш потужного двигуна.

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

Розрахунок виконується для двигуна потужністю 10 кВт.

Номінальний струм двигуна визначається за паспортними даними:

$$I_{ном} \approx \dots \text{ А.}$$

Пусковий струм при кратності $k_p = 6$ становить:

$$I_{пуск} \approx \dots \text{ А.}$$

За результатами розрахунку приймається до встановлення автомат типу ВА-2004/30.

Номінальний струм розчеплювача з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта визначається з урахуванням умов монтажу в шафі керування.

Приймається:

$$I_{н.розч} = 30 \text{ А.}$$

Для запобігання хибним спрацюванням під час пуску електродвигуна виконується перевірка за умовою неспрацювання автомата при пускових струмах. Уставка струму розчеплювача приймається:

$$I_{уст} = 300 \text{ А.}$$

Інші електродвигуни розраховуються аналогічно. Результати вибору та розрахунків зведені до таблиці 2.5.

Розрахункове навантаження на магістральні та розподільні шинопроводи (ШМА та ШРА) визначається з урахуванням рівномірного завантаження всіх ліній живлення.

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

Таблиця 2.5. Вибір апаратів та струмоведучих частин

№ авт.	Призначення, місце в схемі	Розрахункове навантаження Р, кВт	Розр. струм I, А	Кратність пускового струму, Кп	Пиковий струм Іпк, А	Ір/0,85	Ном.струм розщеплювач Іном.р., А	Ном.струм автомата Іном.а., А	Тип авт.	Ісраб. Розч. КА	Ідл., А ТВЧ	Марка перетин СВЧ, мм2	Втрати Напруги. В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
QF1	ШРА1-АД1	10	19,4	6	116,425	22,83	30	30	ВА-2004/30	0,3	32	АВВГ(4*8)	0,264209
QF2	ШРА1-АД2	15	29,11	6	174,637	34,24	40	50	ВА-2004/50	0,5	55	АВВГ(4*16)	0,396313
QF3	ШРА1-АД3	25	48,51	6	291,062	57,07	60	60	ВА-2004/60	0,6	65	АВВГ(4*25)	0,660522
QF4	ШРА1-АД4	75	145,5	6	873,186	171,2	200	250	ВА-2004/250	2,5	200	АВВГ(4*70)	1,981566
QF5	ШРА1-АД5	120	232,8	6	1397,1	273,9	300	400	ВА-2004/400	4	305	АВВГ(4*150)	3,170506
QF6	ШРА1-АД6	100	194	6	1164,25	228,3	250	250	ВА-2004/250	2,5	270	АВВГ(4*120)	2,642088
QF7	ШРА1-АД7	30	58,21	6	349,274	68,49	75	100	ВА-2004/100	1	75	АВВГ(4*35)	0,792626
QF8	ШМА-ШРА1		639,9			752,8	800	800	ВА-2004/800	8	750	ШРА-73	
QF9	ШМА-ШРА2		639,9			752,8	800	800	ВА-2004/800	8	750	ШРА-73	
QF10	ШМА-ШРА3		639,9			752,8	800	800	ВА-2004/800	8	750	ШРА-73	
QF11	ШМА-ШРА4		639,9			752,8	800	800	ВА-2004/800	8	750	ШРА-73	
QF12	Вводной	1600	3403			4004	4000	4000	Э40		3000	ШМА68-НУ3	
QF13	Секційний						2500	2500	Э25				

2.6 Вибір марки та перерізів струмопровідних частин

У внутрішньоцехових мережах напругою до 1 кВ в умовах невибухонебезпечних приміщень переріз провідників вибирається за умовою нагріву тривалим допустимим струмом:

$$I_p \max \leq I_{\text{доп}},$$

де:

- $I_p \max$ – розрахунковий максимальний струм лінії, А;
- $I_{\text{доп}}$ – тривалий допустимий струм стандартного перерізу провідника, А.

На першому етапі вибору провідників визначається їх марка залежно від характеру виробничого середовища, конфігурації цеху та способу прокладання електричної мережі.

До вибору перерізів кабелів і проводів приступають після вибору комутаційно-захисних апаратів, оскільки обраний за умовою нагріву провідник повинен додатково перевірятися на відповідність захисту за умовою:

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

де:

- I_z – номінальний струм розчеплювача, А;
- k_z – коефіцієнт захисту (приймається за довідковими даними).

Для заданих умов експлуатації електрообладнання (мікроклімат, характер технологічного процесу) коефіцієнт захисту для кабельних ліній приймається рівним 1.

Перевірка кабелів за втратою напруги

Обрані кабельні лінії додатково перевіряються за умовою допустимого падіння напруги:

$$\Delta U_{\text{факт}} \leq 0,05 \cdot U_n,$$

де:

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

- I_p – розрахунковий струм;
- l – довжина кабельної лінії;
- r_0, x_0 – питомі активний та індуктивний опори кабелю;
- $\cos\varphi = 0,6, \sin\varphi = 0,8$.

Приклад розрахунку

Розглянемо вибір кабельної лінії для електродвигуна потужністю 10 кВт. Приймається до встановлення трижильний кабель з алюмінієвими жилами марки АВВГ.

Для розрахунку приймаємо переріз 8 мм², для якого тривалий допустимий струм становить 32 А.

Перевірка за умовою нагріву:

$$I_{\text{доп}} \geq k_z \cdot I_z$$

$$32 \geq 1 \cdot 30 \text{ А,}$$

умова виконується, отже обраний кабель відповідає вимогам.

Таким чином, приймається кабель типу АВВГ 4×8 мм² з допустимим тривалим струмом 32 А.

Результати розрахунків заносяться до таблиці 2.5. Аналогічно виконуються розрахунки для інших електродвигунів.

Вибір шинопроводів

Для розподілу електроенергії також обираються магістральні та розподільні шинопроводи типу:

- ШМА68-НУЗ з номінальним струмом 3000 А;
- ШРА-73 з номінальним струмом 750 А.

Перевірка вибраних шинопроводів також виконується за умовою нагріву та допустимого падіння напруги.

Усі результати розрахунків зведені до таблиці 2.5.

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

2.7 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ

Метою розрахунку струмів короткого замикання (КЗ) у мережах напругою до 1 кВ є перевірка правильності вибору комутаційних і захисних апаратів, а також шинопроводів на термічну та електродинамічну стійкість до дії струмів КЗ. Крім того, виконується перевірка автоматичних вимикачів за граничною відключаючою здатністю та чутливістю захисту.

Для перевірки апаратів за граничним струмом КЗ визначають максимальне значення трифазного короткого замикання. Для оцінки чутливості захистів розраховується мінімальне значення однофазного короткого замикання у найбільш віддаленій точці електричної мережі від джерела живлення.

Особливістю розрахунків струмів короткого замикання в мережах до 1 кВ є:

- виконання розрахунків в іменованих одиницях;
- врахування активних та індуктивних опорів усіх елементів кола КЗ (кабельних ліній, шинопроводів, трансформаторів, апаратів захисту, контактних з'єднань тощо);
- урахування опорів дуги та перехідних контактних опорів у місці пошкодження.

Допускається не враховувати вплив асинхронних двигунів, якщо їх сумарний номінальний струм не перевищує 10 % початкового значення періодичної складової струму короткого замикання.

Розрахунок виконується у такій послідовності:

- складається розрахункова схема електричної мережі з позначенням точок короткого замикання;
- будується схема заміщення, у якій усі елементи замінюються активними та індуктивними опорами;

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

- визначаються параметри елементів мережі (опори прямої та нульової послідовності, а також опір кола «фаза–нуль»);
- розраховуються струми трифазного та однофазного короткого замикання для характерних точок мережі.

Методика розрахунку струмів короткого замикання в електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ відповідає вимогам ГОСТ 28249–89.

2.7.1 Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

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

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

де:

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

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

- $r\Sigma = r_T + r_A + r_{др},$
- $x\Sigma = x_C + x_T + x_A + x_{др},$

де:

- x_C – еквівалентний індуктивний опір системи живлення, приведений до сторони низької напруги;
- r_T, x_T – активний та індуктивний опори трансформатора;
- r_A, x_A – опори автоматичних вимикачів;

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

- гдр, хдр – опори інших елементів (трансформаторів струму, шинопроводів, контактних з'єднань тощо).

Еквівалентний індуктивний опір системи визначається за формулою:

$$x_C = U^2_{cp.BH} / S_{k3.BH},$$

де:

- $U_{cp.BH}$ – середня напруга мережі вищої напруги, В;
- $S_{k3.BH}$ – потужність короткого замикання на шинах вищої напруги трансформатора, кВА.

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

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

Таблиця 2.7. Опір питомих елементів мережі

Опір послідовно стей	Питомий опір мОм/м	СВЧ			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМА 3000 (Ш1) (35м)	ШРА 750 (Ш2) (20м)	Кабель АВВГ (4*8) мм ² (Кб) (20м)	ТА 1 30/5	ТА 2 4000/5	QF 3	QF 4	QF 8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пряма	r ₁	0,03	0,15	1,28	3	0,05	1,1	0,65	0,14
	x ₁	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	0,5	0,17	0,08
Нульова	r ₀	0,037	0,162	2,5					
	x ₀	0,042	0,164	0,075					
Фаза-нуль	r _{ф-0}	0,067	0,262	4					
	x _{ф-0}	0,056	0,294	0,15					

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

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

де:

- $\Delta P_{\kappa 3}$ – втрати короткого замикання трансформатора, кВт (паспортні дані);
- $U_{\kappa 3}$ – напруга короткого замикання трансформатора, % (паспортні дані);
- $U_{H\ H}$ – номінальна напруга обмотки низької напруги трансформатора, кВ;
- $S_{H\ tr}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА.

Приклад розрахунку.

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

Параметри трансформатора ТМЗ-1600-10/0,4; $U_{\kappa} = 6,0 \%$, $\Delta P_{\kappa. 3.} = 16,5$ кВт.

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

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

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

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

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

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$I_{H\Delta\Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{K3}^{(3)} \quad 2237 \leq 0,1 \cdot 32820$$

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

2.7.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К-2

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

$$I_{nom}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ср.ли}}{\sqrt{(r_{1\Sigma}'' + r_{o\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma}'' + x_{o\Sigma})^2}},$$

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

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + r_{1Ш1} + r_{A4} + r_{1Ш2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1КБ}$$

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

$$x_{1\Sigma}' = x_{1\Sigma} + x_{1Ш1} + x_{A4} + x_{1Ш2} + x_{TA} + x_{1КБ};$$

Опори нульової послідовності

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

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

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

Приклад розрахунку

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$r_{0\Sigma} = r_{0T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A4} + r_{0III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{0KB} =$$

$$= 1,03 + 0,14 + 0,05 + 0,037 \cdot 35 + 0,65 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 = 59,54 \text{ мОм};$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0m} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A4} + x_{0III2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{0KB} =$$

$$= 5,98 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,042 + 0,17 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,075 = 16,43 \text{ мОм.}$$

Перевірка автоматів по максимальному струму відключення:

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

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

$$75 \geq 32,8 \text{ кА}$$

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

Умова виконується, максимальний струм відключення автомата Е40 -
 $I_{\text{макс.відключення}} = 75 \text{ кА}$

Перевірка автоматів на чутливість захисту:

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

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

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

Автомат задовольняє перевірку на чутливість захисту.

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

Електрична енергія, що подається для живлення електроприймачів, повинна відповідати вимогам стандарту ГОСТ 13109–87 за показниками якості, що забезпечують надійність та економічність роботи електрообладнання. Згідно з вимогами ПУЕ, вся електрична мережа від цехової підстанції до кінцевих споживачів повинна бути перевірена на допустимі відхилення напруги з урахуванням режиму напруги на шинах центру живлення. У разі перевищення допустимих значень необхідно передбачити технічні заходи з регулювання напруги.

Відхилення напруги визначається як різниця між фактичним значенням напруги $U_{\text{ф}}$ та номінальним значенням $U_{\text{н}}$ при повільних змінах режиму, коли швидкість зміни напруги не перевищує 1 %/с:

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

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

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

Втрати (збитки), спричинені відхиленнями напруги, поділяються на дві складові: електромагнітну та технологічну. Електромагнітна складова зумовлена додатковими втратами електроенергії в елементах електричної мережі, тоді як технологічна пов'язана зі зниженням продуктивності технологічного обладнання та ефективності праці персоналу.

Найбільш чутливими до змін рівня напруги є освітлювальні установки та конденсаторні батареї. Зокрема, при зниженні напруги на 5% світловий потік ламп розжарювання зменшується приблизно на 20% , а підвищення напруги на 10% може скоротити їх термін служби у 4 рази.

Відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора визначається за виразом:

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

де:

- U_{011} – відхилення номінальної напруги вторинної обмотки трансформатора від номінальної напруги мережі низької напруги;
- U_{H1} – відхилення від номінальної напруги в мережі високої напруги для основного регулювального відгалуження обмотки ВН;
- U_{01} – відхилення напруги регулювального відгалуження;
- U_1 – відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;
- E – добавка напруги при регулюванні;
- ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі.

$$\Delta U_m = \beta \cdot (R_m \cdot \cos \varphi + X_m \cdot \sin \varphi) = \frac{S_p}{S_{нтр}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{нтр}} \cdot \cos \varphi + U_{кз} \cdot \sin \varphi \right)$$

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

$$\text{або } \Delta U_m = \frac{Q_p}{\sin \varphi} \cdot U_{кз},$$

де $\Delta P_{кз}$ и $U_{кз}$ – паспортні данні трансформатора, відповідно втрати короткого замикання, кВт, и напруга короткого замикання, %.

К даним умовам маємо:

$$S_{н\text{ тр}} = 1600 \text{ кВА}; U_{кз} = 6,0\%; \Delta P_{кз} = 16,5 \text{ кВт.}$$

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{неск}^2}}{N_{\min}}$$

$$S_p = \frac{\sqrt{2436,72^2 + 736,26^2}}{2} = 1272,8 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт активної потужності визначаємо, враховуючи значення коефіцієнта реактивної потужності

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{неск}}{P_{p\Sigma}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{736,26}{2436,72} = 0,3$$

Відповідно $\cos \varphi = 0,96$, $\sin \varphi = 0,29$.

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

На стороні високої напруги трансформатора підтримується напруга 10 кВ ($U_1 = 5 \%$, $U_H = 0$).

Відхилення напруги на стороні низької напруги трансформатора при включенні відводу $+2,5 \%$ становить:

$$U_{01} = 2,5 \%, U_{011} = 2,5 \%.$$

Втрати напруги в трансформаторі при розрахунковому навантаженні:

$$\Delta U_m = \frac{1272,8}{1600} \cdot \left(\frac{16,5}{1600} \cdot 0,96 + 0,06 \cdot 0,29 \right) = 0,022 = 2,2\%$$

Визначаємо відхилення напруги на стороні НН трансформатора з

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

врахуванням заданих відхилень при включенні його з 2,5%.

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

Отримане значення знаходиться в границі норми.

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

Під час проектування системи електропостачання передбачено впровадження сучасних технічних рішень та використання нового вітчизняного електротехнічного обладнання.

Основні етапи проектування внутрішньоцехової системи електропостачання були розглянуті в процесі виконання дипломного проєкту. Результатом виконаних розрахунків і прийнятих технічних рішень є однолінійна схема внутрішньоцехового електропостачання, наведена в графічній частині дипломного проєкту (лист 2).

Живлення вузла навантаження здійснюється від мережі напругою 10 кВ. Напруга внутрішньоцехової розподільної мережі становить 0,4/0,23 кВ.

Для забезпечення електропостачання електроприймачів вузла навантаження передбачено встановлення двотрансформаторної комплектної трансформаторної підстанції 2КТП-1600/10/0,4. Коефіцієнт завантаження силових трансформаторів у нормальному режимі роботи становить 0,8, що забезпечує економічну та надійну роботу обладнання, а також створює необхідний резерв потужності на випадок аварійних режимів.

У мережі напругою 0,4 кВ для компенсації реактивної потужності передбачено встановлення конденсаторних установок загальною потужністю 2000 квар ($2 \times \text{УК-0,38-1000УКЛ}$). Використання компенсуючих пристроїв дозволяє підвищити коефіцієнт потужності, знизити втрати електричної енергії в мережі та покращити якість електроенергії.

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

Для живлення споживачів електроенергії прийнято рішення застосувати прибудовану комплектну трансформаторну підстанцію (КТП), що забезпечує компактність розміщення обладнання та зручність його експлуатації.

Розподіл електричної енергії по території цеху виконано за схемою «трансформатор – магістраль». До магістрального шинопроводу ШМА68-НУЗ-3000 підключено чотири розподільні шинопроводи ШРА-73-750, які забезпечують живлення окремих груп електроприймачів.

Для захисту електрообладнання від перевантажень і струмів короткого замикання передбачено застосування автоматичних вимикачів типів ЕО та ВА, що забезпечують надійний захист електричних мереж і технологічного обладнання.

Проведені розрахунки показали, що відхилення напруги в проєктованій мережі не перевищують допустимих значень, установлених вимогами ДСТУ EN 50160 та нормативних документів щодо якості електричної енергії.

Таким чином, у процесі виконання дипломного проєкту були успішно вирішені всі поставлені завдання. Розроблена система електропостачання забезпечує необхідний рівень надійності, економічності та якості електроенергії, а також відповідає сучасним вимогам до проєктування промислових електричних мереж.

					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації систем електропостачання та електротехнічного обладнання працівники можуть зазнавати впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які здатні негативно впливати на стан здоров'я, працездатність персоналу та безпеку виробничого процесу. Тому одним із важливих завдань охорони праці є своєчасне виявлення таких факторів, оцінка рівня їх впливу та розроблення заходів щодо їх усунення або мінімізації.

Основним небезпечним фактором під час роботи з електроустановками є дія електричного струму. Ураження електричним струмом може виникнути внаслідок дотику до струмопровідних частин, пошкодження ізоляції електрообладнання, порушення правил експлуатації або недотримання вимог безпеки. Наслідками ураження можуть бути електричні опіки, порушення роботи серцево-судинної та нервової систем, а в окремих випадках — смертельний травматизм.

До небезпечних виробничих факторів також належить можливість виникнення електричної дуги та коротких замикань. Електрична дуга супроводжується виділенням значної кількості теплової енергії, яскравого світлового випромінювання та продуктів горіння, що може спричинити термічні опіки, пошкодження органів зору та займання горючих матеріалів. Особливо високий ризик виникнення таких явищ існує під час проведення ремонтних та налагоджувальних робіт.

У виробничих приміщеннях електротехнічного призначення можливий вплив електромагнітних полів, що створюються силовими трансформаторами, розподільчими пристроями, кабельними лініями та іншим електрообладнанням. При тривалому впливі електромагнітні поля можуть викликати підвищену

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

втому, головний біль, зниження концентрації уваги та погіршення загального самопочуття працівників.

Одним із шкідливих виробничих факторів є підвищений рівень шуму, який виникає під час роботи силових трансформаторів, вентиляційних установок, електродвигунів та іншого технологічного обладнання. Тривалий вплив шуму негативно позначається на слуховому апараті працівників, сприяє розвитку професійних захворювань та знижує продуктивність праці.

Під час експлуатації електрообладнання також можуть виникати несприятливі мікрокліматичні умови. Джерелами надлишкового тепловиділення є трансформатори, силові перетворювачі та інше електротехнічне обладнання. Підвищена температура повітря в робочій зоні може призводити до швидкої втомлюваності персоналу, зниження працездатності та погіршення самопочуття.

Додаткову небезпеку становлять рухомі частини механізмів, електроприводів та вентиляційного обладнання. У разі недотримання вимог безпеки можливе отримання механічних травм, забоїв або пошкоджень кінцівок.

Важливим фактором виробничого середовища є пожежна небезпека. Причинами виникнення пожеж можуть бути короткі замикання, перевантаження електричних мереж, несправність електрообладнання, порушення правил монтажу та експлуатації електроустановок. Пожежі в електротехнічних приміщеннях становлять значну загрозу як для персоналу, так і для матеріальних цінностей підприємства.

3.2 Заходи щодо забезпечення електробезпеки

Електробезпека є важливою складовою охорони праці на підприємствах, де експлуатуються електроустановки та електротехнічне обладнання. Її основною метою є захист працівників від ураження електричним струмом,

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

впливу електричної дуги та інших небезпечних факторів, пов'язаних з використанням електроенергії.

Для забезпечення електробезпеки застосовується комплекс технічних та організаційних заходів. До основних технічних засобів належать захисне заземлення, занулення, автоматичні вимикачі, запобіжники та пристрої захисного відключення, які забезпечують швидке відключення пошкоджених ділянок мережі. Важливу роль також відіграють надійна ізоляція струмопровідних частин, захисні огороження та попереджувальні знаки безпеки.

Під час виконання робіт в електроустановках працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, килимки, ізолювальний інструмент та покажчики напруги. До роботи допускається лише персонал, який пройшов відповідне навчання, інструктажі з охорони праці та має необхідну групу з електробезпеки.

Важливими організаційними заходами є проведення регулярних перевірок технічного стану електрообладнання, контролю справності захисних пристроїв, вимірювання опору ізоляції та заземлювальних пристроїв. Ремонтні роботи повинні виконуватися тільки після зняття напруги та вжиття необхідних заходів безпеки.

Таким чином, дотримання вимог електробезпеки дозволяє запобігти нещасним випадкам, забезпечити безпечні умови праці та надійну роботу електроустановок.

3.3 Пожежна та вибухова безпека

Пожежна та вибухова безпека є одним із найважливіших напрямів охорони праці на промислових підприємствах. Її основним завданням є запобігання

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

виникненню пожеж і вибухів, захист життя та здоров'я працівників, а також збереження виробничого обладнання, будівель і матеріальних цінностей.

Основними причинами виникнення пожеж в електроустановках є короткі замикання, перевантаження електричних мереж, несправність електрообладнання, пошкодження ізоляції провідників та порушення правил експлуатації електротехнічних установок. У виробничих приміщеннях також існує небезпека займання горючих матеріалів від нагрітих поверхонь обладнання або електричної дуги.

Для забезпечення пожежної безпеки передбачається використання автоматичних вимикачів, запобіжників та інших пристроїв захисту, що запобігають аварійним режимам роботи електрообладнання. Важливе значення мають справний стан електричних мереж, своєчасне проведення профілактичних оглядів та дотримання правил експлуатації електроустановок.

Виробничі та електротехнічні приміщення повинні бути обладнані первинними засобами пожежогасіння, зокрема порошковими або вуглекислотними вогнегасниками, а також системами пожежної сигналізації та оповіщення про пожежу. Необхідно забезпечити вільний доступ до евакуаційних виходів і шляхів евакуації.

До організаційних заходів належать проведення інструктажів з пожежної безпеки, навчання персоналу діям у разі виникнення пожежі та регулярний контроль за виконанням вимог пожежної безпеки. Працівники повинні знати місця розташування засобів пожежогасіння та вміти ними користуватися.

Таким чином, дотримання вимог пожежної та вибухової безпеки дозволяє знизити ризик виникнення аварійних ситуацій, забезпечити безпечні умови праці та надійну роботу обладнання і виробничих об'єктів.

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

3.4 Вимоги до виробничого освітлення

Раціонально організоване виробниче освітлення є важливою умовою забезпечення безпечних і комфортних умов праці. Від рівня освітленості робочих місць залежить продуктивність праці, якість виконання робіт, точність технологічних операцій та безпека персоналу. Недостатнє або нерівномірне освітлення може призводити до швидкої втоми працівників, зниження концентрації уваги, погіршення зору та підвищення ризику виробничого травматизму.

У виробничих приміщеннях передбачається використання природного та штучного освітлення. Природне освітлення забезпечується через віконні прорізи та світлові ліхтарі, а штучне — за допомогою світильників загального або комбінованого освітлення. Для більшості виробничих приміщень застосовується система загального рівномірного освітлення, яка створює необхідний рівень освітленості по всій площі приміщення.

Освітлення робочих місць повинно відповідати вимогам чинних норм і стандартів щодо освітленості, рівномірності розподілу світлового потоку, обмеження сліпучої дії світильників та забезпечення належної передачі кольорів. Особливу увагу слід приділяти місцям розташування електротехнічного обладнання, щитів керування, контрольно-вимірювальних приладів та проходів між обладнанням.

Для забезпечення безпеки персоналу в разі аварійного відключення електроенергії передбачається аварійне та евакуаційне освітлення. Воно забезпечує можливість безпечного завершення робіт, орієнтування працівників у приміщенні та своєчасної евакуації людей із небезпечної зони.

Світильники повинні відповідати умовам виробничого середовища, мати необхідний ступінь захисту від пилу та вологи, а також забезпечувати надійну та безпечну експлуатацію. Для зниження енергоспоживання доцільно

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

використовувати сучасні світлодіодні джерела світла, які характеризуються високою світловіддачею, тривалим терміном служби та економічністю.

Таким чином, правильна організація виробничого освітлення сприяє створенню безпечних умов праці, підвищенню продуктивності персоналу, зменшенню втомлюваності працівників та запобіганню виробничому травматизму.

3.5 Захист навколишнього середовища

Захист навколишнього середовища є важливою складовою діяльності сучасних промислових підприємств і спрямований на раціональне використання природних ресурсів, зменшення негативного впливу виробничих процесів на довкілля та забезпечення екологічної безпеки. Під час проєктування та експлуатації систем електропостачання необхідно враховувати вимоги природоохоронного законодавства та впроваджувати заходи, спрямовані на зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Одним із основних напрямів екологічного захисту є підвищення енергоефективності систем електропостачання. Зменшення втрат електричної енергії в мережах, застосування сучасного енергоощадного обладнання та використання засобів компенсації реактивної потужності дозволяють скоротити споживання енергоресурсів і знизити навантаження на енергетичну систему.

Під час експлуатації електрообладнання необхідно здійснювати контроль за технічним станом трансформаторів, кабельних ліній та комутаційної апаратури з метою запобігання виструмам трансформаторного масла, виникненню аварійних ситуацій та забрудненню ґрунтів і водних ресурсів. Особливу увагу слід приділяти правильному поводженню з відпрацьованими

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

матеріалами, електротехнічними відходами та обладнанням, що виводиться з експлуатації.

Важливим заходом є зниження рівня шуму та електромагнітного впливу від роботи силових трансформаторів, електродвигунів та іншого електротехнічного обладнання. Для цього застосовуються сучасні технічні рішення, що забезпечують відповідність параметрів виробничого середовища встановленим санітарним нормам.

На підприємстві повинні здійснюватися заходи щодо збору, сортування та утилізації відходів, а також контролю за дотриманням екологічних вимог під час проведення ремонтних і монтажних робіт. Працівники повинні бути ознайомлені з правилами екологічної безпеки та відповідальністю за порушення природоохоронного законодавства.

Таким чином, реалізація комплексу природоохоронних заходів сприяє зменшенню негативного впливу виробничої діяльності на довкілля, раціональному використанню природних ресурсів та забезпеченню екологічної безпеки підприємства.

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

Висновки до розділу 3

У даному розділі було проведено аналіз умов праці та розглянуто основні заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації електроустановок і виробничого обладнання. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть впливати на працівників під час виконання робіт, зокрема небезпеку ураження електричним струмом, вплив електромагнітних полів, шуму, підвищеної температури та можливість виникнення пожежних ситуацій.

Розглянуто комплекс технічних та організаційних заходів щодо забезпечення електробезпеки, які включають використання захисного заземлення, автоматичних засобів захисту, засобів індивідуального захисту та проведення відповідних інструктажів і навчання персоналу. Також проаналізовано вимоги пожежної та вибухової безпеки, виробничого освітлення та заходи щодо захисту навколишнього середовища.

Запропоновані заходи відповідають вимогам чинних нормативних документів і спрямовані на створення безпечних та комфортних умов праці, запобігання виробничому травматизму, підвищення надійності роботи електрообладнання та мінімізацію негативного впливу виробничої діяльності на довкілля.

Таким чином, реалізація розглянутих заходів з охорони праці забезпечує безпечну експлуатацію системи електропостачання, збереження здоров'я працівників, підвищення рівня виробничої безпеки та ефективності роботи підприємства в цілому.

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

ВИСНОВКИ

В умовах стрімкого розвитку електроенергетики та промислового виробництва особливого значення набуває освоєння сучасних методів проєктування систем електропостачання промислових підприємств (СЕП ПП). Від якості проєктних рішень значною мірою залежать надійність електропостачання, енергоефективність виробництва, економічність експлуатації електрообладнання та можливості подальшого розвитку підприємства. Тому застосування сучасних підходів до проєктування є необхідною умовою створення ефективних та конкурентоспроможних систем електропостачання.

На сьогодні процес проєктування СЕП зазнає суттєвих змін, пов'язаних із впровадженням новітнього електротехнічного обладнання, цифрових засобів керування та автоматизації, а також удосконаленням методів розрахунку режимів роботи електричних мереж. Особлива увага приділяється використанню сучасних методик визначення потужності компенсуючих установок (КУ), які дозволяють забезпечити раціональний баланс реактивної потужності в електричних мережах. Не менш важливим завданням є вибір оптимальних місць розташування компенсуючих пристроїв, що сприяє зниженню втрат електроенергії та покращенню режимів напруги у вузлах навантаження.

Актуальність зазначених питань також зумовлена впровадженням сучасних механізмів тарифоутворення на електричну енергію, зокрема застосуванням зонних тарифів та систем оплати за споживання і перетікання реактивної потужності. За таких умов правильний вибір параметрів системи електропостачання та засобів компенсації реактивної потужності дозволяє суттєво скоротити експлуатаційні витрати підприємства та підвищити ефективність використання електроенергії.

Комплексне вирішення зазначених завдань у процесі проєктування забезпечує стабільну та надійну роботу електричних мереж і вузлів

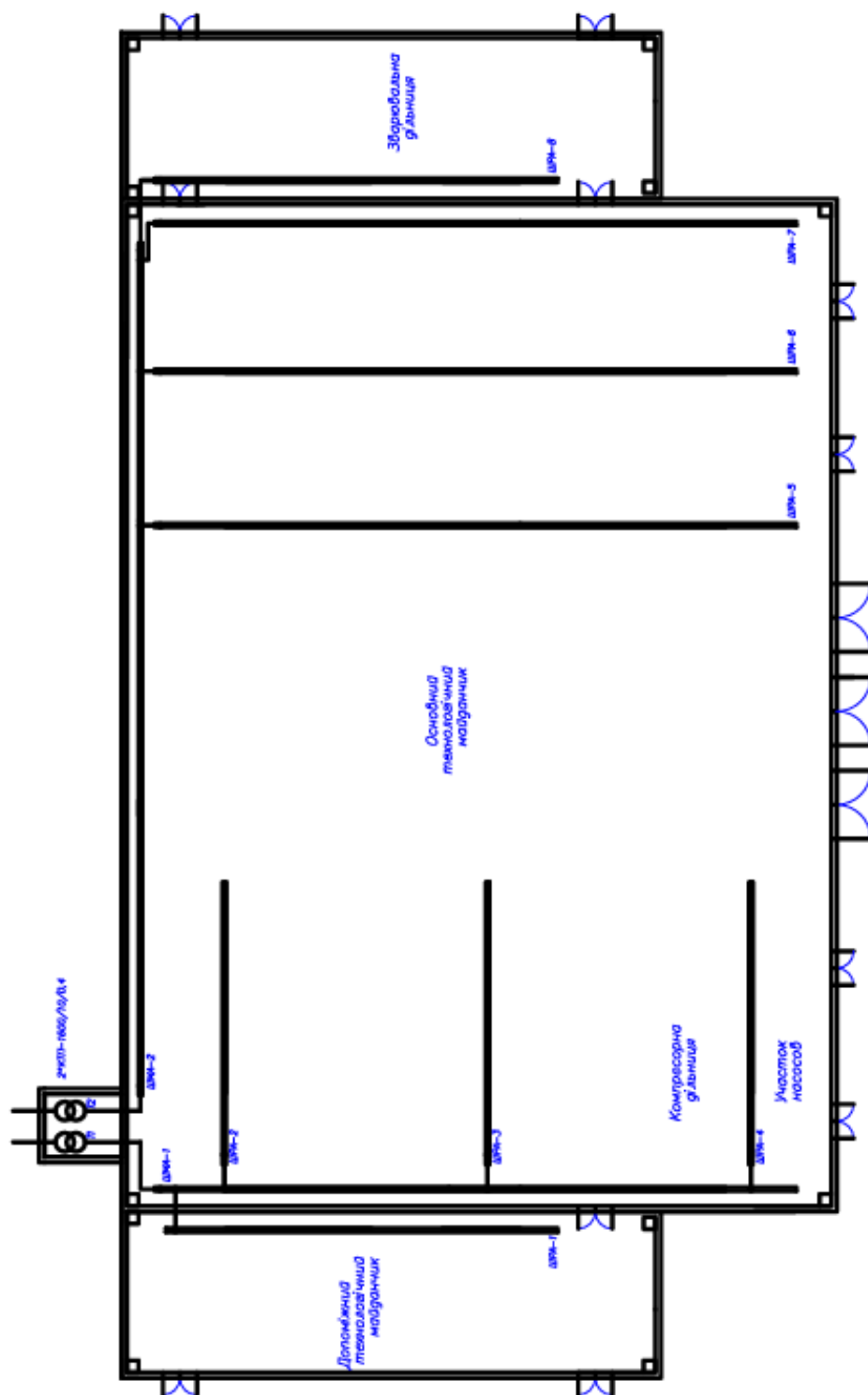
					ЕТ і ЕЕ 4815.003.000 ПЗ	Лист
						53
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження. Використання сучасних методів розрахунку дозволяє підтримувати оптимальні рівні напруги на всіх ступенях системи електропостачання, що позитивно впливає на роботу технологічного обладнання та підвищує його експлуатаційну надійність. Крім того, раціональне проєктування сприяє значному зниженню втрат активної та реактивної потужності в трансформаторах, кабельних лініях та інших елементах мережі.

Важливим результатом впровадження сучасних технічних рішень є підвищення якості електричної енергії, яка характеризується стабільністю напруги, частоти та іншими показниками, що регламентуються чинними стандартами. Висока якість електроенергії забезпечує безперебійну роботу електрообладнання, зменшує ймовірність виникнення аварійних режимів та сприяє збільшенню терміну служби електротехнічних установок.

Таким чином, застосування сучасних методів проєктування систем електропостачання промислових підприємств дозволяє досягти високих техніко-економічних показників, забезпечити енергоефективність виробництва, знизити експлуатаційні витрати, підвищити якість електроенергії та створити надійну основу для стабільного функціонування і подальшого розвитку підприємства.

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



Ситуаційний план промислового майданчика

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

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

16. Лежнюк П.Д. Оптимізація режимів електричних мереж. — Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2016. — 164 с.
17. Гук Ю.Б. Теорія надійності в електроенергетиці. — Київ: НТУУ «КПІ», 2017. — 286 с.
18. Андрієнко О.В. Релейний захист і автоматика систем електропостачання. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. — 324 с.
19. Козлов В.В. Компенсація реактивної потужності в системах електропостачання. — Харків: НТУ «ХПІ», 2018. — 216 с.
20. Болюх В.Ф. Електричні машини. — Харків: НТУ «ХПІ», 2019. — 560 с.
21. Кацман М.М. Електричні машини та трансформатори. — Київ: Вища школа, 2016. — 464 с.
22. Федоров А.А., Каменєва В.В. Основи електропостачання промислових підприємств. — Москва: Енергія, 2015. — 472 с.
23. Беркович М.А. Автоматизація систем електропостачання. — Київ: Техніка, 2017. — 295 с.
24. Биков Б.П. Якість електричної енергії в системах електропостачання. — Харків: Основа, 2018. — 240 с.
25. Жежеленко І.В., Сасенко Ю.Л. Показники якості електричної енергії та їх контроль. — Київ: Енергія, 2019. — 212 с.
26. Бессонов Л.А. Теоретичні основи електротехніки. — Київ: Вища школа, 2016. — 701 с.
27. Кацман М.М. Електричний привід. — Київ: Вища школа, 2018. — 392 с.
28. ДСТУ EN 62305. Блискавкозахист (комплекс стандартів).

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