

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

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

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

«___» _____ 2025 р.

«___» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

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

освітньо-професійної програми «Електротехніка та інформаційні технології»

на тему: «Розроблення системи електропостачання цеху з обробки корпусних деталей заводу металоконструкцій. Впровадження та обслуговування систем АСКОВЕ»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕЛ 4-3

Ткаченко Максим Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник **Шпак Владислав Вячеславович**
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти **Аліна СІРИК**
(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент **Роман ГРИЩЕНКО**
(ім'я та прізвище)

(підпис)

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

Здобувач _____
(підпис)

м. Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Електропостачання і енергоменеджменту
Освітній ступінь бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма Електротехніка та інформаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕПЕМ
/Сергій БАЛЮТА/
« » 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Ткаченко Максима Віталійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розроблення системи електропостачання цеху з обробки корпусних деталей заводу металоконструкцій. Впровадження та обслуговування систем АСКОВЕ.*

керівник роботи Шпак Владислав Вячеславович, доктор філософії, асистент
затверджені наказом закладу вищої освіти від « 10 » 04. 2025 р. № 218-кв.

2. Строк подання здобувачем роботи 30 травня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи План цеху з обробки корпусних деталей заводу металоконструкцій; характеристика споживачів електричної енергії; відомості про джерела живлення; умови проектування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки Розрахунок електричних навантажень; компенсація реактивної потужності та вибір місця розташування компенсуючих пристроїв; вибір числа та потужності трансформаторів на ТП; розрахунок і вибір апаратів захисту силової мережі; розрахунок і вибір провідників живильної та розподільчої мережі цеху; розрахунок електричного освітлення цеху; розрахунок струмів короткого замикання; вибір провідників та основного електрообладнання на високій стороні та перевірка їх до дії струмів короткого замикання; вибір релейного захисту та автоматики елементів системи електропостачання; облік та вимірювання режимних параметрів системи електроспоживання цеху; якість електричної енергії в системі електроспоживання; охорона праці; індивідуальне завдання. Впровадження та обслуговування систем АСКОВЕ

5. Перелік графічного матеріалу

1. План цеху з прокладкою силової мережі .

2. Однолінійна схема електропостачання цеху з обробки корпусних деталей .

3. План освітлювальної мережі цеху

4. Схема електропостачання систем АСКОВЕ промислового цеху.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
ОП	Сірик А.О., доцент		

7. Дата видачі завдання 12 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>14.04.2025 р</i>	
2	<i>Характеристика технологічного процесу цеху з обробки корпусних деталей</i>	<i>16.04.2025 р</i>	
3	<i>Розрахунок електричних навантажень цеху з обробки корпусних деталей</i>	<i>20.04.2025 р</i>	
4	<i>Компенсація реактивної потужності та вибір місця розташування компенсуючих пристроїв</i>	<i>22.04.2025 р</i>	
5	<i>Вибір числа і потужності трансформаторів на ТП</i>	<i>24.04.2025 р</i>	
6	<i>Техніко-економічне порівняння вибраних варіантів трансформаторів</i>	<i>26.04.2025 р</i>	
7	<i>Розрахунок мережі електричного освітлення цеху</i>	<i>28.04.2025 р</i>	
8	<i>Вибір захисної та комутаційної апаратури низьковольтної електроспоживальної мережі цеху з обробки корпусних деталей</i>	<i>02.05.2025 р</i>	
9	<i>Вибір низьковольтних елементів розподільчої мережі цеху з обробки корпусних деталей</i>	<i>05.05.2025 р</i>	
10	<i>Розрахунок струмів короткого замикання</i>	<i>09.05.2025 р</i>	
11	<i>Вибір електрообладнання на стороні високої напруги</i>	<i>12.05.2025 р</i>	
12	<i>Релейний захист та автоматика</i>	<i>14.05.2025 р</i>	
13	<i>Вимоги до якості електричної енергії в системі електроспоживання цеху з обробки корпусних деталей</i>	<i>16.05.2025 р</i>	
15	<i>Облік та вимірювання режимних параметрів системи електроспоживання цеху з обробки корпусних деталей</i>	<i>17.05.2025 р</i>	
16	<i>Охорона праці</i>	<i>20.05.2025 р</i>	
17	<i>Індивідуальне завдання. Впровадження та обслуговування систем АСКОЕ</i>	<i>26.05.2025 р</i>	
18	<i>Література</i>		
19	<i>Оформлення пояснювальної записки проєкту</i>	<i>27.05.2025 р</i>	
20	<i>Оформлення графічної частини проєкту</i>	<i>28.05.2025 р</i>	
21	<i>Подання готової роботи для перевірки на плагіат</i>	<i>30.05.2025 р</i>	

Здобувач

(підпис)

Максим ТКАЧЕНКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Владислав ШПАК

(прізвище та ініціали)

Анотація

Ткаченко Максим Віталійович. Дипломний проєкт на тему:
«Розроблення системи електропостачання цеху з обробки корпусних
деталей заводу металоконструкцій. Впровадження та обслуговування
систем АСКОЕ»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ - 2025

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 14 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проєкту становить 130 сторінок.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: план цеху з обробки корпусних деталей з прокладкою силової мережі, схема електропостачання цеху з обробки корпусних деталей, план цеху з обробки з освітлювальною мережею, впровадження та обслуговування систем АСКОЕ.

Розрахунки й аналіз виконані за допомогою методик, що викладені у навчальній, довідниковій, нормативній і науково-технічній літературі.

У результаті виконання проєкту наведено характеристику технологічного процесу та споживачів електроенергії цеху з обробки корпусних деталей; виконано розрахунок електричних навантажень цеху; вибрано число й потужність трансформаторів цехової ТП з урахуванням компенсації реактивної потужності та техніко-економічних показників; розраховано та вибрано електрообладнання живильної та розподільчої мережі цеху та перевірено їх до дії струмів короткого замикання; розглянуто питання щодо релейного захисту, обліку та якості електричної енергії електроспоживальної системи. Розглянуто індивідуальне завдання «Впровадження та обслуговування систем АСКОЕ ».

У розділі охорона праці розглянуті основні вимоги безпеки до виробничого обладнання та робочих місць, основні заходи з електробезпеки та пожежної безпеки та виконано розрахунок заземлюючих пристроїв.

Ключові слова: цех з обробки корпусних деталей, споживачі електроенергії, електричне навантаження, освітлення, трансформатор, автоматичний вимикач, струм короткого замикання, провід, кабель, шинопровід, компенсація реактивної потужності, релейний захист, впровадження та обслуговування систем АСКОЕ.

Abstract

MAKSYM TKACHENKO. Diploma project on the topic:

" Development of a power supply system for the body parts processing shop of a metal structures plant. Implementation and maintenance of ASKOE systems "

National University of Food Technologies, Kyiv - 2025

141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics"

The attached explanatory note consists of an introduction, 14 chapters and a list of used literature. The volume of the project is 130 pages.

The description is accompanied by a graphic part consisting of four drawings: a plan of the body parts processing shop with power network installation, a power supply diagram of the body parts processing shop, a plan of the processing shop with lighting network, and the implementation and maintenance of ASKOE systems. Calculations and analysis were performed using the methods described in educational, reference, regulatory and scientific and technical literature.

As a result of the project, the technological process and electricity consumers of the body parts processing shop are characterized; the electrical loads of the shop are calculated; the number and power of the shop transformers are selected, taking into account reactive power compensation and technical and economic indicators; the electrical equipment of the power supply and distribution network of the workshop was calculated and selected and tested for short-circuit currents; issues of relay protection, metering and quality of electric energy of the power consumption system were considered. The individual task "Implementation and maintenance of ASKOE systems" was considered.

The occupational safety section discusses the basic safety requirements for production equipment and workplaces, basic electrical and fire safety measures, and calculates grounding devices.

Keywords: body parts processing shop, electricity consumers, electrical load, lighting, transformer, circuit breaker, short-circuit current, wire, cable, busbar, reactive power compensation, relay protection, implementation and maintenance of ASKOE systems.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. УМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ.	11
1.1 Загальна характеристика промислового об'єкта	11
1.2 Коротка характеристика технологічного процесу виробництва.	14
1.3 Загальна характеристика споживачів електричної енергії.	18
1.4 Характеристика джерел живлення.	21
1.5 Вибір схеми електропостачання цеху.	23
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.	26
2.1 Розрахунок електричних навантажень силових установок.	26
2.2 Визначення розрахункового навантаження окремих приміщень виробничого цеху.	34
2.3 Розрахунок сумарного електричного навантаження на шини ТП з урахуванням освітлювального навантаження та втрат в трансформаторах.	38
3. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ.	41
3.1 Режими реактивної потужності системи електропостачання.	41
3.2 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в низьковольтних мережах.	43
3.3 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв.	45
4. ВИБІР ЧИСЛА ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ТП.	49
4.1. Техніко-економічне порівняння варіантів трансформаторів.	49
5. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ.	51
5.1 Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів до споживачів електричної енергії.	51

					ДП 2025 141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ткаченко М.В.			Зміст	Літ.	Арк.
Перевір.		Шпак В.В.					5
Реценз.		Грищенко Р.В.				ННІП ім.акад. І.С.Гулого ЕЛ-43	
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					

5.2 Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів для групи електроспоживачів.	57
5.3 Вибір силових пунктів (СП).	61
6. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ЖИВИЛЬНОЇ ТА РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ.	65
6.1 Розрахунок і вибір перерізів провідників до споживачів електричної енергії.	65
6.2 Визначення характеристик труб для прокладки проводів до споживачів електричної енергії.	67
6.3 Розрахунок і вибір перерізів провідників для живлення силових пунктів.	69
7. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ.	72
7.1. Світлотехнічний розрахунок освітлювальної мережі.	72
7.2. Розрахунок електричних навантажень освітлювальних установок	74
8. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.	77
8.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ.	77
8.2. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 0,4 кВ.	79
9. ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ТА ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА НАПРУГУ 10 КВ І ПЕРЕВІРКА ЇХ ДО ДІЇ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.	82
9.1. Вибір і перевірка провідників напругою 10 кВ.	82
9.2. Вибір і перевірка високовольтних шин.	85
9.3. Вибір і перевірка опорних ізоляторів.	87
9.4. Вибір і перевірка вимикача навантаження та запобіжника.	89
10. ВИБІР РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.	93
10.1 Розрахунок струмової відсічки	93
10.2 Розрахунок максимального струмового захисту	95
11. ОРГАНІЗАЦІЯ ОБЛІКУ ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ.	98

12. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.	101
12.1. Показники якості електричної енергії.	101
12.2. Розрахунок втрат напруги.	104
13. ОХОРОНА ПРАЦІ	107
13.1. Обґрунтування безпечного розміщення електрообладнання	108
13.2. Організаційні та технічні заходи, питання маркування, огляд та техобслуговування кабельних ліній.	110
13.3. Індивідуальне завдання	112
14. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.	114
ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ОБЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ АСКОВЕ	
ВИСНОВОК	127
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	131

					ДП 2025 141	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку промислового виробництва, коли підвищуються вимоги до енергоефективності, надійності та безпеки експлуатації електроустановок, особливої ваги набуває питання розроблення раціональних та ефективних систем електропостачання. Зокрема, у машинобудівній галузі, до якої належить завод металоконструкцій, що спеціалізується на обробці корпусних деталей, стабільність енергозабезпечення є критично важливою передумовою для забезпечення безперервності виробничого процесу, зниження аварійності, економії енергоресурсів та реалізації технологічних інновацій.

Актуальність теми зумовлена необхідністю модернізації електропостачальних систем підприємств важкої промисловості відповідно до сучасних стандартів енергоефективності, автоматизації, цифровізації та екологічної безпеки. Оскільки енергоспоживачі цеху відносяться до другої та третьої категорій надійності, особливо важливо забезпечити оптимальний рівень резервування, захисту та диспетчерського контролю. Одним з рішень цього завдання є впровадження автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), які дозволяють підвищити рівень управління енергоспоживанням, здійснювати технічний моніторинг та облік витрат енергії в режимі реального часу.

Вибір теми кваліфікаційної роботи обумовлений прагненням дослідити й розробити комплексну систему електропостачання для конкретного виробничого об'єкта – ремонтно-механічного цеху заводу металоконструкцій. Робота включає як проєктування електричної частини з урахуванням конструктивних та технологічних особливостей об'єкта, так і обґрунтування впровадження АСКОЕ як елемента системи управління та обслуговування енергетичної інфраструктури.

					ДП 2025 141			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ	Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.								
Перевір.		Шпак В.В					8	
Реценз.		Грищенко Р.В				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулоого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

Мета роботи. Метою дипломної роботи є проектування системи електропостачання цеху з обробки корпусних деталей заводу металоконструкцій з урахуванням технологічного навантаження, умов експлуатації, надійності постачання та впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є ремонтно-механічний цех заводу металоконструкцій, що забезпечує обробку корпусних деталей із застосуванням верстатного, зварювального, електротермічного та підйомного обладнання.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є система електропостачання цеху, включаючи вибір джерела живлення, побудову внутрішньоцехових електричних мереж, захисту, розрахунку навантажень, підбору обладнання та впровадження АСКОЕ.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати вихідні дані щодо конструктивних та електротехнічних особливостей цеху.
2. Здійснити розрахунок електричних навантажень за верстатними та іншими споживачами.
3. Вибрати схему електропостачання з урахуванням категорій надійності.
4. Побудувати електричну мережу та здійснити її техніко-економічне обґрунтування.
5. Провести вибір електротехнічного обладнання та захисної апаратури.
6. Розробити заходи з техніки безпеки при експлуатації електроустановок.
7. Обґрунтувати доцільність та принципи впровадження АСКОЕ на підприємстві.
8. Визначити особливості обслуговування та експлуатації системи АСКОЕ.
9. Надати висновки щодо ефективності запропонованої системи.

Методи дослідження

Під час виконання роботи використовувалися теоретичні та практичні методи аналізу технічної документації, стандартизованих вимог та нормативів до електропостачання промислових об'єктів, а також методи інженерних розрахунків для визначення електричних навантажень і вибору обладнання. Було застосовано графічні методи побудови планів та схем мереж, методи моделювання для оцінки функціонування системи електропостачання в умовах змінних навантажень. Оцінювання доцільності впровадження АСКОЕ здійснювалося на основі аналізу ефективності сучасних автоматизованих систем моніторингу, з урахуванням економічних та експлуатаційних показників.

					ДП 2025 141	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. УМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика промислового об'єкта

Загальна характеристика промислового об'єкта полягає в комплексному описі функціонального, конструктивного та технологічного призначення ремонтно-механічного цеху, що є складовою частиною заводу металоконструкцій. Основним напрямом діяльності цього цеху є обробка корпусних деталей, яка включає механічну обробку за допомогою токарних, фрезерувальних, шліфувальних, зубофрезерувальних, розточувальних та продольнострогальних верстатів, а також виконання зварювальних робіт та термічної обробки металу. Це свідчить про високий ступінь енергомісткості виробництва, оскільки всі технологічні процеси вимагають безперебійного живлення електроенергією для забезпечення безперервності виробничого циклу. Цех розміщено в одноповерховій будівлі прямокутної форми з габаритними розмірами $48 \times 28 \times 9$ метрів. Конструкція будівлі базується на каркасі з блоків-секцій довжиною по 6 метрів кожна. Будівля спроектована як приміщення ПП типу, що передбачає підвищені вимоги до електробезпеки та пожежної безпеки. Усередині цеху розташовані зони для розміщення верстатного обладнання, електротермічних установок, а також транспортних механізмів, зокрема двох мостових кранів, що забезпечують подачу та переміщення важких металевих заготовок і готових виробів. Додатково передбачені допоміжні приміщення: вентиляційна камера, виробнича лабораторія, побутове приміщення (битовка), відділ оцінки виробів, пакувальне відділення, гардеробна, інструментальна кімната, кожна з яких також оснащена електроспоживачами.

					ДП 2025 141				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	1. УМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ				
Розроб.		Ткаченко М.							
Перевір.		Шпак В.В							
Реценз.		Грищенко Р.В							
Н. Контр.									
Затверд.		Балюта С.М							
					Літ.	Арк.	Аркушів		
							11		
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3				

Енергопостачання цеху здійснюється від цехової трансформаторної підстанції, розташованої на відстані 150 метрів від будівлі. У свою чергу, трансформаторна підстанція підключена до підстанції глибокого вводу, що знаходиться за 7 км, і живиться напругою 10 кВ. Така схема забезпечує достатню надійність живлення для споживачів другої та третьої категорії, що домінують у цеху. Об'єкт функціонує у двозмінному режимі, що створює підвищене навантаження на енергосистему впродовж усього дня. Особливістю є також те, що ґрунт у районі розташування цеху представлений чорноземом із середньою температурою +21 °С, що враховується при проєктуванні заземлення та інших елементів електропостачальної інфраструктури.

Таблиця 1.1

Відомість електричних навантажень цеху

Номери на плані цеху	Назва ЕП	кВ	cosφ	К-сть	Номінальна потужність Р _н , кВт
1-3	Зварювальні апарати, ТВ = 60 %	0.25	0.4	3	48.0
4-6	Точильно-шліфувальні верстати	0.22	0.6	3	70.0
7-8	Обдираючі верстати	0.17	0.5	2	30.0
9-14	Фрезерувальні верстати	0.22	0.5	6	14.0
15-16	Токарні верстати	0.16	0.6	2	22.5
17-22	Продольнострогальні верстати	0.2	0.7	6	12.5
23-26	Зубофрезерувальні верстати	0.15	0.5	4	15.0
27-29	Плоскошліфувальні верстати	0.14	0.6	3	16.5
30-32	Електротермічні установки	0.6	0.9	3	18.0
33-35	Розточувальні верстати	0.26	0.7	3	10.0
36-37	Мостові крани, ТВ = 60 %	0.1	0.5	2	70.0

На основі даних, наведених у *таблиці 1.1*, проводиться розрахунок загального навантаження ремонтно-механічного цеху. До складу електроспоживачів входять різні групи обладнання, що мають різні коефіцієнти використання потужності ($\cos\phi$), коефіцієнти потужності ($\cos\phi$), номінальні потужності та кількість одиниць. Таке різноманіття обумовлює необхідність поетапного підходу до визначення повної потужності, струмового навантаження та вибору електроприймачів, що входять до складу розрахункових груп.

У процесі розрахунку кожна група обладнання об'єднується за типом технологічного процесу, умовами експлуатації та характером навантаження (активне, індуктивне). Це дозволяє провести груповий розрахунок загального активного навантаження, реактивної та повної потужності, а також виявити пікові значення для коректного вибору силових кабелів, захисних пристроїв і трансформаторного обладнання. Важливо зазначити, що до складу навантажень входять не лише основні верстати, а й електротермічні установки та кранове господарство, які відрізняються значними пусковими струмами та нерівномірністю роботи. Окрему увагу слід приділити споживачам із підвищеними вимогами до надійності, зокрема зварювальним апаратам, крановим установкам і системам вентиляції, що забезпечують робочий мікроклімат у приміщенні. Ці споживачі мають бути підключені через незалежні лінії з урахуванням категорії надійності електропостачання.

Після визначення активних навантажень слід перейти до формування електричного балансу, в якому сумуються потужності всіх електроприймачів із урахуванням коефіцієнтів попиту. Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити реальні енергетичні потреби цеху та забезпечити коректне планування резерву потужності для можливого розширення виробництва або введення додаткових одиниць обладнання. Подальшим етапом є розроблення однолінійної принципової схеми електропостачання, вибір типу живлення (радіальне, магістральне, комбіноване), визначення точок введення, конфігурації щитового обладнання, а також кабельних ліній із дотриманням норм ДБН, ПУЕ та правил технічної експлуатації.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.2 Коротка характеристика технологічного процесу виробництва

Технологічний процес виробництва в ремонтно-механічному цеху заводу металоконструкцій, призначеного для обробки корпусних деталей, передбачає виконання широкого спектра механічних, зварювальних, термічних та допоміжних операцій, які забезпечують повний цикл виготовлення або ремонту великогабаритних і середньогабаритних елементів металоконструкцій. Виробництво починається з надходження заготовок із чорного або легованого металу, які транспортуються за допомогою мостових кранів до відповідних технологічних ділянок, що розташовані в межах одного виробничого приміщення. Основна частина заготовок має форму плит, листів або профільних деталей, що підлягають подальшій обробці.

Першим етапом виробничого циклу є чорнова механічна обробка поверхонь, яка виконується за допомогою обдираючих верстатів. Вона спрямована на усунення окалин, іржі, надлишкових шарів матеріалу та надання загальної форми деталі. Після цього заготовки передаються на ділянку фрезерування, де відбувається обробка плоских і фасонних поверхонь із досягненням більшої точності. Фрезерувальні верстати забезпечують виготовлення монтажних площин, шпонкових пазів, гнізд та інших елементів, необхідних для подальшого складання конструкцій.

Після фрезерування відбувається точніша обробка на токарних верстатах, які дозволяють обробляти циліндричні, конічні поверхні, нарізати різьбу та виконувати інші операції на деталях з осьовою симетрією. Для обробки отворів, які вимагають високої точності, використовуються розточувальні верстати. Також у цеху працюють зубофрезерувальні верстати, що виконують формування зубчастих передач, необхідних для з'єднання деталей, які передають обертальний рух. Значну частину складає шліфування – операція доведення, під

					ДП 2025 141	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

час якої на плоскошліфувальних і точильно-шліфувальних верстатах усуваються мікронерівності поверхні, підвищується точність розмірів і якість обробки.

Особливе місце в технологічному процесі займає термічна обробка, яка виконується в електротермічних установках. Вона забезпечує зміцнення або нормалізацію металу шляхом його нагрівання до певної температури з подальшим охолодженням за заданими параметрами. Це дозволяє досягти потрібної твердості, міцності або пластичності матеріалу. Для з'єднання окремих елементів конструкцій у цеху широко застосовуються зварювальні апарати. Зварювання здійснюється переважно дуговим методом із використанням електродів або напівавтоматів. Цей етап вимагає точного контролю над електричними параметрами та дотримання технологічних норм, оскільки якість зварного шва впливає на довговічність та безпеку всієї конструкції.

Важливу роль у процесі виробництва відіграють допоміжні приміщення, зокрема інструментальна кімната, в якій проводиться заточка, перевірка та зберігання ріжучого інструменту. У виробничій лабораторії виконуються вимірювання, перевірка твердості, контроль геометричних параметрів деталей, а у відділі оцінки виробів здійснюється фінальне тестування та візуальний огляд готової продукції перед її пакуванням. Пакувальне відділення відповідає за підготовку виробів до транспортування або відправлення замовнику.

Таблиця 1.2

Електричні навантаження окремих приміщень цеху

Назви окремих приміщень цеху	Загальна потужність обладнання, кВт
Вентиляційна камера	48.0
Битовка	5.0
Виробнича лабораторія	45.0
Відділ оцінки виробів	15.0
Гардероб	2.0
Пакувальне відділення	25.0
Інструментальна	10.0
ТП	

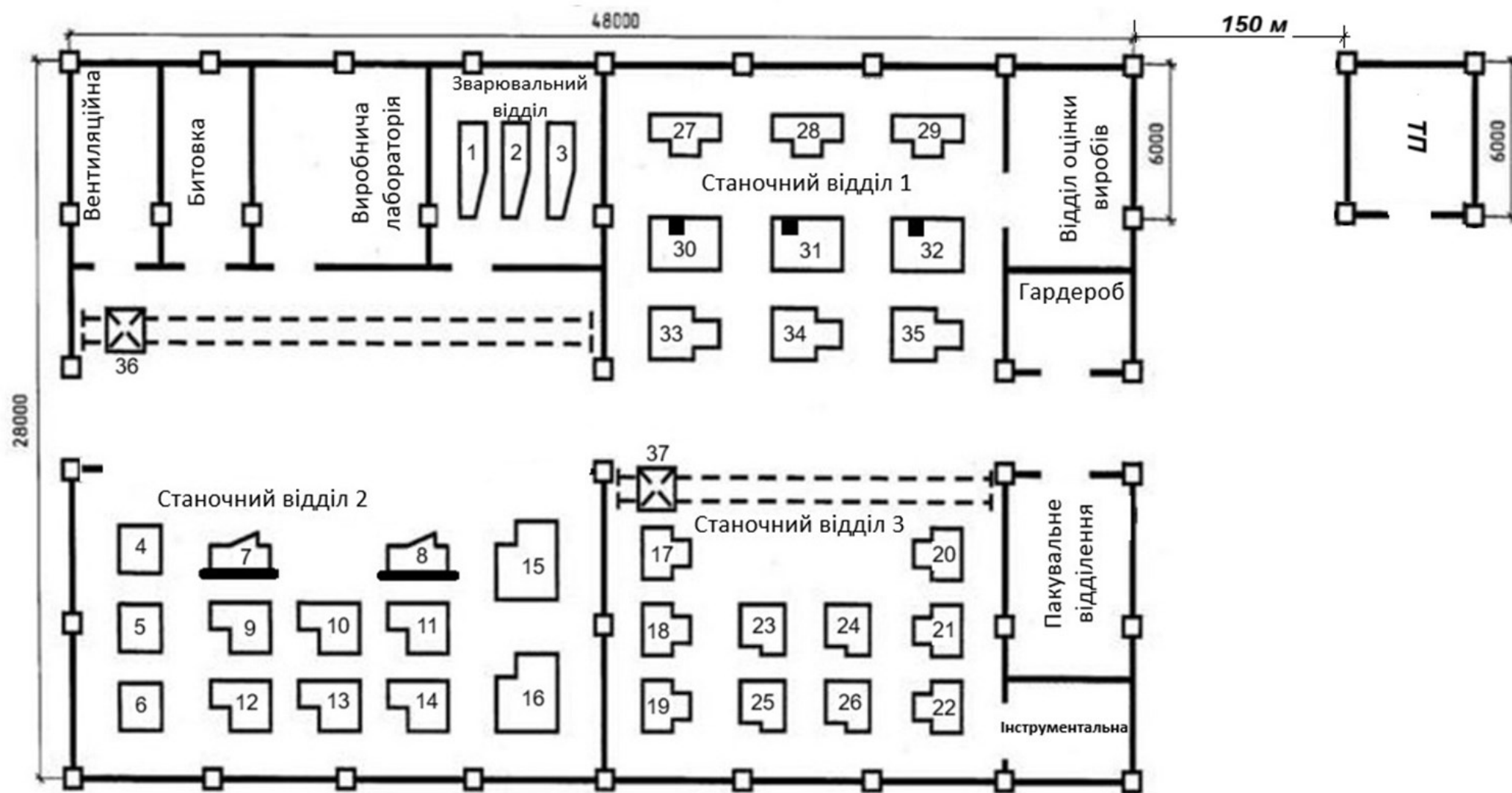


Рисунок 1. План розміщення електрообладнання цеху з обробки корпусних деталей заводу металоконструкцій.

Після аналізу електричних навантажень окремих приміщень ремонтно-механічного цеху, наведених у *таблиці 1.2*, доцільно перейти до етапу узагальнення повного електроспоживання об'єкта та формування загального балансу потужностей. Навантаження, які утворюються внаслідок роботи допоміжних систем, таких як вентиляція, освітлення, побутові пристрої, прилади лабораторного контролю, інструментальні установки, мають істотне значення, особливо в умовах двозмінної роботи, оскільки формують постійне базове навантаження в мережі.

Варто враховувати, що на відміну від основних виробничих агрегатів, які можуть функціонувати циклічно або з перервами, допоміжні приміщення мають переважно стабільний режим споживання електроенергії. Наприклад, вентиляційна система працює безперервно з метою підтримання допустимих умов мікроклімату на робочих місцях, особливо під час термічної обробки або зварювання. Аналогічно, виробнича лабораторія здійснює контроль якості продукції в реальному часі, що передбачає постійне функціонування вимірювальних приладів, а в пакувальному відділенні забезпечується завершальний етап логістичного циклу виробу, який не може бути зупинений незалежно від основного потоку обробки деталей.

Загальне підсумування електричних навантажень основних і допоміжних приміщень дозволяє отримати повну картину енергоспоживання об'єкта, необхідну для правильного підбору трансформаторного обладнання, прокладання силових кабельних ліній та розрахунку струмових навантажень. Зокрема, зведені дані про потужність усіх груп обладнання формують основу для вибору схеми електропостачання, яка повинна не тільки задовольняти умови надійності та економічності, а й відповідати технічним вимогам до захисту, селективності та керованості мережі.

Наступним кроком у роботі є вибір типу системи електропостачання цеху, визначення кількості та параметрів живильних ліній, розрахунок трансформаторного навантаження, а також техніко-економічне обґрунтування впровадження автоматизованої системи комерційного

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

обліку електроенергії (АСКОЕ).

Усі ці елементи забезпечують цілісність і ефективність енергетичної інфраструктури підприємства, а також відповідають сучасним вимогам до цифровізації промислових процесів.

1.3 Загальна характеристика споживачів електричної енергії

Загальна характеристика споживачів електричної енергії ремонтно-механічного цеху заводу металоконструкцій визначається їх функціональним призначенням, режимом роботи, типом навантаження, електротехнічними параметрами та вимогами до надійності електропостачання. Споживачі цеху поділяються на основні технологічні агрегати, допоміжне обладнання, енергетичні установки, системи транспортного забезпечення, а також на адміністративно-побутову частину. Кожна з цих груп має свої особливості електроспоживання, що необхідно враховувати під час проєктування електропостачальної системи.

До основних споживачів належать металорізальні верстати, які становлять найбільшу частку навантаження. Вони включають фрезерувальні, токарні, зубофрезерувальні, шліфувальні, продольнострогальні та розточувальні машини. Ці споживачі характеризуються електродвигунами змінного струму з різними номіналами потужності, які працюють у тривалому або повторно-короткочасному режимі. Типовим для цієї групи є індуктивне навантаження з низьким коефіцієнтом потужності, що потребує корекції за допомогою компенсувальних пристроїв, наприклад, батарей конденсаторів. Також металорізальні верстати мають значні пускові струми, особливо при запуску великих агрегатів, що викликає короткочасні перевантаження мережі та вимагає вибору відповідної апаратури захисту.

Важливе місце займають зварювальні апарати, які працюють у режимі короткотривалих імпульсних навантажень. Вони генерують нелінійне

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

навантаження зі значними гармонічними складовими, що може призводити до спотворення форми синусоїди напруги в мережі. Зварювальні установки потребують окремих ліній живлення, здатних витримувати часті перемикання та колювання струму, а також ефективного захисту від коротких замикань. Для їх нормальної роботи необхідно враховувати тривалість включення (ТВ), яка для більшості з них становить 60 %, що відображає режим їх періодичної роботи з обмеженням тривалості навантаження.

У структурі енергоспоживання цеху важливу роль відіграють електротермічні установки, які використовуються для нагріву металу під час термічної обробки. Ці установки працюють переважно в постійному або довготривалому режимі й споживають велику активну потужність із високим коефіцієнтом потужності. На відміну від інших технологічних приладів, термічні печі формують рівномірне навантаження, що має переважно активний характер, і не потребують компенсації реактивної потужності.

Окремо слід охарактеризувати кранове господарство, представлене мостовими кранами, які використовуються для внутрішньоцехового транспортування великих металевих деталей. Ці споживачі є динамічними як за характером навантаження, так і за режимом роботи. Пуск і гальмування кранів супроводжується різкими змінами струму, які вимагають відповідного захисту, механізмів обмеження пускових струмів та застосування частотного регулювання. Крім того, живлення кранів повинно здійснюватися з високим рівнем надійності, оскільки їх несправність може призвести до зупинки всього виробничого процесу.

До допоміжних споживачів належать системи вентиляції, освітлення, опалення, лабораторне й пакувальне обладнання, побутові електроприлади в гардеробних і побутових приміщеннях. Ці споживачі мають невелику потужність, але забезпечують життєдіяльність персоналу та підтримання належного технологічного середовища. Вони створюють постійне фонове навантаження, що не залежить від етапу виробничого циклу. Зазвичай їх

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

об'єднують у окремі групи та підключають через розподільчі щити з автоматичним захистом.

Таблиця 1.3.

Загальна характеристика споживачів електричної енергії

Група споживачів	Тип навантаження	Режим роботи	Особливості
Металорізальні верстати	Індуктивне, активне	Тривалий / повторно-короткочасний	Пускові струми, низький cosφ
Зварювальні апарати	Імпульсне, нелінійне	Імпульсний, ТВ = 60 %	Наявність гармонік, високі струми
Електротермічні установки	Переважно активне	Постійний	Рівномірне навантаження
Мостові крани	Динамічне, імпульсне	Циклічний з піковими навантаженнями	Періодичні піки, необхідність регулювання
Системи вентиляції та освітлення	Активно-індуктивне	Безперервний	Фонове стабільне навантаження
Лабораторне та пакувальне обладнання	Активне	Змінний	Потребують стабільної напруги
Побутові та допоміжні пристрої	Активне	Періодичний	Малі потужності, стабільна робота

Загалом споживачі електричної енергії в цеху мають змішаний характер – поєднання активного, індуктивного та імпульсного навантаження з різними режимами роботи, перервністю, пусковими характеристиками та класами надійності. Така структура споживання вимагає комплексного підходу до побудови системи електропостачання, яка повинна забезпечити не лише енергетичну безпеку виробництва, а й гнучкість в умовах змін технологічного навантаження, а також інтеграцію систем автоматичного контролю, як-от АСКОВ.

1.4 Характеристика джерел живлення

Характеристика джерел живлення ремонтно-механічного цеху з обробки корпусних деталей є ключовим елементом в оцінці надійності, ефективності та стабільності роботи всієї енергетичної системи об'єкта. Електропостачання цеху здійснюється від трансформаторної підстанції (ТП), яка знаходиться на відстані 150 метрів від основної будівлі. Вона, у свою чергу, живиться від підстанції глибокого вводу, розташованої на відстані 7 км, із номінальною напругою 10 кВ. Така структура побудови джерел електроживлення є типовою для промислових підприємств середнього рівня енергоспоживання, де важливим фактором є не лише технічна здатність джерела забезпечити навантаження, а й відповідність рівня живлення категоріям надійності.

Основне джерело живлення – підстанція глибокого вводу – являє собою потужний енергетичний вузол, який приймає електроенергію з магістральної енергосистеми та забезпечує її передачу на локальні трансформаторні підстанції. Подача напруги на рівні 10 кВ дозволяє зменшити струмові навантаження на лінії передачі, зменшити втрати потужності та забезпечити стабільність напруги на великій відстані. Враховуючи довжину повітряної або кабельної лінії, що становить 7 км, під час проєктування враховується падіння напруги, втрати потужності та можливість встановлення компенсуючого обладнання для корекції реактивної потужності. Всі ці параметри розраховуються з урахуванням матеріалу провідників, перерізу кабелю, типу прокладки, навантаження на кінцевому об'єкті та режиму роботи мережі.

Проміжною ланкою є цехова трансформаторна підстанція, яка забезпечує зниження напруги з 10 кВ до рівня 0,4 кВ, прийнятного для безпосереднього живлення виробничого обладнання. Конструктивно ТП може бути виконана у вигляді комплектної трансформаторної підстанції (КТП), встановленої на фундаменті або вбудованої у будівлю. Трансформатор підбирається на основі розрахованого навантаження цеху з обов'язковим урахуванням коефіцієнта запасу, який забезпечує резерв потужності на випадок розширення виробництва, введення нових верстатів або змін у режимі роботи. Враховується також

					ДП 2025 141	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тривалість навантаження, тип трансформатора (масляний або сухий), спосіб охолодження, рівень шуму та вимоги до екологічної безпеки.

ТП також виконує функцію комутаційного та захисного вузла, оскільки тут встановлюються силові автоматичні вимикачі, плавкі запобіжники, пристрої захисту від перенапруги, обмежувачі струму короткого замикання та інші компоненти, що формують первинний рівень захисту внутрішньоцехових електромереж. Залежно від конфігурації споживачів і схеми підключення, ТП може забезпечувати одностороннє або двостороннє живлення, що особливо важливо для споживачів II та III категорії надійності. Для другої категорії передбачено резервне живлення з автоматичним увімкненням резерву (АВР), яке забезпечує перемикання на друге джерело у випадку аварії основного каналу живлення.

Таблиця 1.4.

Характеристика джерел живлення

Елемент системи	Призначення	Особливості
Підстанція глибокого вводу	Живлення від магістральної енергосистеми на напрузі 10 кВ	Потужна точка приєднання, стабільність напруги
Лінія електропередачі (7 км)	Передача електроенергії від ПС до ТП, врахування втрат	Врахування падіння напруги, вибір кабелю та прокладки
Цехова трансформаторна підстанція (ТП)	Зниження напруги до 0,4 кВ для живлення цеху	Може бути вбудована або окрема, виконує роль вузла розподілу
Трансформатор в ТП	Забезпечення необхідної потужності з урахуванням запасу	Тип – сухий або масляний, вибір за режимом роботи
Комутаційна та захисна апаратура	Захист від перевантажень, КЗ, перенапруг, АВР	Встановлення автоматів, запобіжників, обмежувачів струму
Система заземлення	Захист від ураження струмом, стабілізація потенціалу	Найчастіше використовується система TN-C-S

Особливу увагу слід приділити питанню режиму заземлення системи. Залежно від вимог до електробезпеки, система може бути виконана за схемою TN-C, TN-S або TT, із відповідним розведенням нульового та захисного провідників. Для промислових об'єктів найчастіше застосовується система TN-C-S, яка дозволяє ефективно забезпечувати захист від ураження електричним струмом при однофазних замиканнях на корпус, зниження потенціалу на оболонках обладнання та відповідність нормам ДСТУ та ПУЕ.

1.5 Вибір схеми електропостачання цеху

Вибір схеми електропостачання ремонтно-механічного цеху з обробки корпусних деталей є одним із ключових етапів проєктування електротехнічної частини об'єкта, оскільки саме від правильно підібраної схеми залежить безперебійність виробничого процесу, електробезпека персоналу, економічність експлуатації енергосистеми та можливість розширення потужностей у майбутньому. При прийнятті рішення про структуру схеми враховуються такі параметри, як кількість та категорія надійності електроприймачів, режим їх роботи, рівень навантаження, наявність резервних джерел живлення, топологія цеху, довжини електричних ліній, умови захисту і керування, а також вимоги до автоматизованого контролю енергоспоживання.

Цех має комбіновану структуру навантаження, яка включає як основне технологічне обладнання, так і допоміжні системи, що функціонують у різних режимах. Основне виробниче обладнання – це численні верстати, зварювальні апарати, електротермічні установки, які належать до другої та третьої категорії надійності електропостачання. Це означає, що у разі припинення живлення, необхідно забезпечити його відновлення протягом регламентованого часу або організувати резервування. Враховуючи це, найдоцільнішим рішенням для такого об'єкта є використання радіально-магістральної схеми електропостачання з частковим резервуванням основних ліній живлення.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Ця схема базується на підключенні головного розподільчого щита (ГРЩ) до трансформаторної підстанції за допомогою окремих незалежних кабельних ліній. Від ГРЩ живлення розподіляється до окремих секцій цеху або до груп споживачів, об'єднаних за технологічною ознакою. Радіальна частина схеми передбачає, що кожен силовий щит або окрема зона обладнання підключається до ГРЩ окремою лінією, що значно підвищує надійність, спрощує облік споживання та локалізацію аварій. Магістральна частина реалізується у вигляді основної шинної системи або шинного каналу, від якого здійснюється підключення до кількох технологічних груп, зокрема кранового господарства або освітлювальних мереж.

Важливим компонентом є організація резервування. Для найвідповідальніших ділянок, таких як зварювальна зона або електротермічні установки, передбачається можливість підключення до альтернативної лінії з використанням системи автоматичного ввімкнення резерву (АВР), що дозволяє миттєво перемикає навантаження у випадку відключення основного джерела. Такий підхід мінімізує час простою обладнання та забезпечує дотримання вимог нормативної документації до електропостачання споживачів II категорії.

Таблиця 1.5.

Вибір схеми електропостачання цеху

Елемент системи	Характеристика
Тип схеми електропостачання	Радіально-магістральна з частковим резервуванням
Джерело живлення	ТП з живленням від підстанції 10 кВ
Введення в цех	Окрема лінія 10/0,4 кВ з ТП на відстані 150 м
Головний розподільчий щит (ГРЩ)	Отримує живлення від ТП, розподіляє на секції
Розподільчі щити в цеху	Забезпечують захист і локальне керування
Кабельні лінії	Прокладаються по найкоротшому шляху, з урахуванням плану цеху
Система резервування	АВР на відповідальні навантаження другої категорії
Інтеграція АСКОЕ	Можливість зонального обліку, зв'язок із системою управління

У межах цеху використовується розгалужена мережа розподільчих щитів, які забезпечують локальне керування та захист для кожної групи обладнання. Для зменшення втрат у кабельних лініях та оптимізації витрат на матеріали проектом передбачається короткий шлях прокладання кабелів із урахуванням планування робочих зон. Усі розподільчі пункти забезпечуються пристроями диференційного захисту, автоматами, обліковими приладами, що дозволяє інтегрувати систему АСКОЕ безпосередньо в існуючу схему електропостачання. Обрана схема відповідає критеріям технологічної доцільності, безпеки, енергоефективності та гнучкості в експлуатації. Вона забезпечує можливість пофазного або зонального керування електрообладнанням, дозволяє швидко локалізувати несправності, розподіляє навантаження рівномірно та підтримує можливість для подальшої модернізації електромережі цеху. Усі елементи цієї системи, включаючи введення, розподіл, захист і контроль, відповідають діючим стандартам і правилам ПУЕ, ДСТУ та забезпечують відповідність системи сучасним вимогам промислової електрифікації.

					ДП 2025 141	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1 Розрахунок електричних навантажень силових установок

Розрахунок електричних навантажень силових установок у ремонтно-механічному цеху є одним з основоположних етапів проєктування системи електропостачання, оскільки саме ці навантаження становлять основу всього енергетичного балансу об'єкта. У даному випадку до силових установок належать зварювальні апарати, верстати різного типу (токарні, фрезерні, зубофрезерні, шліфувальні, продольнострогальні, обдираючі, розточувальні), а також електротермічні установки та мостові крани. Кожен з цих споживачів має свою номінальну потужність, кількість, коефіцієнт використання потужності (кв) та коефіцієнт потужності ($\cos\phi$), що враховуються при проведенні розрахунків.

Першим кроком є визначення активної потужності кожної групи установок. Для цього номінальна потужність одиниці обладнання множиться на кількість таких одиниць та на відповідний коефіцієнт використання. Таким чином враховується не лише потенційна, а й реальна енергетична потреба кожної групи під час стандартного режиму експлуатації. Наприклад, для зварювальних апаратів номінальна сумарна потужність становить 48 кВт, коефіцієнт використання – 0,25, отже активне навантаження буде відповідно зменшене з урахуванням реального часу роботи пристроїв у режимі навантаження.

Далі для кожної групи розраховується повна потужність шляхом ділення активної потужності на коефіцієнт потужності. Цей показник дає змогу врахувати реактивну складову навантаження, яка впливає на вибір трансформаторів, перетину кабелів і захисних пристроїв.

					ДП 2025 141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2. Розрахунок електричних навантажень цеху з обробки корпусних деталей		
Розроб.		Ткаченко М.В.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.			Літ. Арк. Аркушів		
					26		
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

Наприклад, якщо $\cos\varphi$ для точно-шліфувальних верстатів становить 0,6, а активна потужність розрахована як 46,2 кВт (при коефіцієнті використання 0,22), то повна потужність цієї групи буде близько 77 кВА. Аналогічні дії виконуються для кожної технологічної групи обладнання.

$$1. \text{ Активна потужність } (P), \text{ кВт} = P_n \times k_v$$

$$2. \text{ Повна потужність } (S), \text{ кВА} = P / \cos\varphi$$

$$3. \text{ Струм } (I), \text{ А} = (S \times 1000) / (\sqrt{3} \times U), \text{ де } U = 400 \text{ В}$$

$$1. \text{ Зварювальні апарати, ТВ} = 60 \%$$

$$\text{Номінальна потужність: } P_n = 48.0 \text{ кВт}$$

$$\text{Коефіцієнт використання: } k_v = 0.25$$

$$\text{Коефіцієнт потужності: } \cos\varphi = 0.4$$

Кількість: 3

Розрахунок активної потужності:

$$P = 48.0 \times 0.25 = 12.0 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 12.0 / 0.4 = 30.0 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (30.0 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 43.3 \text{ А}$$

$$2. \text{ Точно – шліфувальні верстати}$$

$$\text{Номінальна потужність: } P_n = 70.0 \text{ кВт}$$

$$\text{Коефіцієнт використання: } k_v = 0.22$$

$$\text{Коефіцієнт потужності: } \cos\varphi = 0.6$$

Кількість: 3

Розрахунок активної потужності:

$$P = 70.0 \times 0.22 = 15.4 \text{ кВт}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок повної потужності:

$$S = 15.4 / 0.6 = 25.67 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (25.67 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 37.05 \text{ А}$$

3. Обдираючі верстати

Номінальна потужність: $P_n = 30.0 \text{ кВт}$

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.17$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.5$

Кількість: 2

Розрахунок активної потужності:

$$P = 30.0 \times 0.17 = 5.1 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 5.1 / 0.5 = 10.2 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (10.2 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 14.72 \text{ А}$$

4. Фрезерувальні верстати

Номінальна потужність: $P_n = 14.0 \text{ кВт}$

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.22$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.5$

Кількість: 6

Розрахунок активної потужності:

$$P = 14.0 \times 0.22 = 3.08 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 3.08 / 0.5 = 6.16 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (6.16 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 8.89 \text{ А}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Токарні верстати

Номинальна потужність: $P_n = 22.5$ кВт

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.16$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.6$

Кількість: 2

Розрахунок активної потужності:

$$P = 22.5 \times 0.16 = 3.6 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 3.6 / 0.6 = 6.0 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (6.0 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 8.66 \text{ А}$$

6. Продольнострогальні верстати

Номинальна потужність: $P_n = 12.5$ кВт

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.2$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.7$

Кількість: 6

Розрахунок активної потужності:

$$P = 12.5 \times 0.2 = 2.5 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 2.5 / 0.7 = 3.57 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (3.57 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 5.15 \text{ А}$$

7. Зубофрезерувальні верстати

Номинальна потужність: $P_n = 15.0$ кВт

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.15$

					ДП 2025 141	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.5$

Кількість: 4

Розрахунок активної потужності:

$$P = 15.0 \times 0.15 = 2.25 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 2.25 / 0.5 = 4.5 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (4.5 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 6.5 \text{ А}$$

8. Плоскошліфувальні верстати

Номинальна потужність: $P_n = 16.5 \text{ кВт}$

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.14$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.6$

Кількість: 3

Розрахунок активної потужності:

$$P = 16.5 \times 0.14 = 2.31 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 2.31 / 0.6 = 3.85 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (3.85 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 5.56 \text{ А}$$

9. Електротермічні установки

Номинальна потужність: $P_n = 18.0 \text{ кВт}$

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.6$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.9$

Кількість: 3

Розрахунок активної потужності:

$$P = 18.0 \times 0.6 = 10.8 \text{ кВт}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок повної потужності:

$$S = 10.8 / 0.9 = 12.0 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (12.0 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 17.32 \text{ А}$$

10. Розточувальні верстати

Номінальна потужність: $P_n = 10.0 \text{ кВт}$

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.26$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.7$

Кількість: 3

Розрахунок активної потужності:

$$P = 10.0 \times 0.26 = 2.6 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 2.6 / 0.7 = 3.71 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (3.71 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 5.35 \text{ А}$$

11. Мостові крани, ТВ = 60 %

Номінальна потужність: $P_n = 70.0 \text{ кВт}$

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.1$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.5$

Кількість: 2

Розрахунок активної потужності:

$$P = 70.0 \times 0.1 = 7.0 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 7.0 / 0.5 = 14.0 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (14.0 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 20.2 \text{ А}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок навантажень силових електроприймачів

№	Назва електроприймача	кв	cosφ	Кількість	P _н , кВт	P, кВт	S, кВА	I, А
1	Зварювальні апарати, ТВ = 60 %	0.25	0.4	3	48.0	12.0	30.0	43.3
2	Точильно-шліфувальні верстати	0.22	0.6	3	70.0	15.4	25.67	37.05
3	Обдираючі верстати	0.17	0.5	2	30.0	5.1	10.2	14.72
4	Фрезерувальні верстати	0.22	0.5	6	14.0	3.08	6.16	8.89
5	Токарні верстати	0.16	0.6	2	22.5	3.6	6.0	8.66
6	Продольнострогальні верстати	0.2	0.7	6	12.5	2.5	3.57	5.15
7	Зубофрезерувальні верстати	0.15	0.5	4	15.0	2.25	4.5	6.5
8	Плоскошліфувальні верстати	0.14	0.6	3	16.5	2.31	3.85	5.56
9	Електротермічні установки	0.6	0.9	3	18.0	10.8	12.0	17.32
10	Розточувальні верстати	0.26	0.7	3	10.0	2.6	3.71	5.35
11	Мостові крани, ТВ = 60 %	0.1	0.5	2	70.0	7.0	14.0	20.2

Згідно з отриманими результатами, кожна група навантаження була детально проаналізована: визначено фактичну активну потужність у кіловатах, розраховано відповідну повну потужність у кіловольт-амперах, а також визначено струм навантаження в амперах на рівні напруги 0,4 кВ. Розрахункові дані показали, що найбільші навантаження формуються зварювальними апаратами, точильно-шліфувальними та електротермічними установками, а також мостовими кранами, що мають імпульсний характер споживання. Отримані результати будуть використані для побудови загального балансу навантажень, вибору параметрів трансформаторного обладнання, проєктування внутрішньоцехової мережі, захисних пристроїв, а також для врахування під час

впровадження системи обліку електроенергії. Таким чином, завершено визначення всіх ключових електричних параметрів силової частини навантаження цеху, що дозволяє перейти до наступного етапу – розрахунку навантажень від окремих приміщень.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

2.2 Визначення розрахункового навантаження окремих приміщень виробничого цеху

Визначення розрахункового навантаження окремих приміщень виробничого цеху є важливим етапом у формуванні повного енергетичного балансу об'єкта, оскільки такі приміщення, хоч і не належать до основного технологічного ланцюга, забезпечують допоміжні функції, що є критично важливими для організації повноцінного виробничого процесу. До таких приміщень належать вентиляційна камера, битовка, виробнича лабораторія, відділ оцінки виробів, гардероб, пакувальне відділення, інструментальна, а також трансформаторна підстанція, у якій можуть бути встановлені власні споживачі. Вони використовують електроенергію для забезпечення мікроклімату, освітлення, функціонування електроприладів, лабораторного та вимірювального обладнання, електронних систем контролю якості, побутового обслуговування персоналу тощо.

Кожне з цих приміщень має свою сумарну встановлену потужність, яка зазвичай зазначається у відомості електричних навантажень. Наприклад, вентиляційна камера має потужність 48 кВт, виробнича лабораторія – 45 кВт, пакувальне відділення – 25 кВт, інструментальна – 10 кВт, що свідчить про їх вагомий роль у загальному енергоспоживанні. Водночас битовка, гардероб і відділ оцінки виробів мають нижчі значення встановленої потужності, однак і вони враховуються при розрахунках для коректного підбору обладнання та забезпечення надійності живлення.

Розрахункове навантаження кожного з цих приміщень визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту, які залежать від типу навантаження, тривалості та одночасності роботи приладів. Для приміщень загального користування, таких як гардероб чи побутові кімнати, коефіцієнт попиту може становити 0,6–0,8, тоді як для лабораторії або вентиляційної камери, яка працює безперервно, цей коефіцієнт може наближатися до одиниці.

					ДП 2025 141	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Активна потужність (P), кВт = $P_H \times k_v$

Повна потужність (S), кВА = $P / \cos\varphi$

Струм (I), А = $(S \times 1000) / (\sqrt{3} \times U)$, де $U = 400$ В

Вентиляційна камера

Номінальна потужність: $P_H = 48$ кВт

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.9$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.85$

Розрахунок активної потужності:

$$P = 48 \times 0.9 = 43.2 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 43.2 / 0.85 = 50.82 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (50.82 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 73.36 \text{ А}$$

Битовка

Номінальна потужність: $P_H = 5$ кВт

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.7$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.85$

Розрахунок активної потужності:

$$P = 5 \times 0.7 = 3.5 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 3.5 / 0.85 = 4.12 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (4.12 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 5.94 \text{ А}$$

Виробнича лабораторія

Номінальна потужність: $P_H = 45$ кВт

					ДП 2025 141	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.95$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.85$

Розрахунок активної потужності:

$$P = 45 \times 0.95 = 42.75 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 42.75 / 0.85 = 50.29 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (50.29 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 72.6 \text{ А}$$

Відділ оцінки виробів

Номинальна потужність: $P_n = 15 \text{ кВт}$

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.8$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.85$

Розрахунок активної потужності:

$$P = 15 \times 0.8 = 12.0 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 12.0 / 0.85 = 14.12 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (14.12 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 20.38 \text{ А}$$

Гардероб

Номинальна потужність: $P_n = 2 \text{ кВт}$

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.6$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.85$

Розрахунок активної потужності:

$$P = 2 \times 0.6 = 1.2 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 1.2 / 0.85 = 1.41 \text{ кВА}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок струму:

$$I = (1.41 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 2.04 \text{ A}$$

Пакувальне відділення

Номінальна потужність: $P_n = 25 \text{ кВт}$

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.9$

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0.85$

Розрахунок активної потужності:

$$P = 25 \times 0.9 = 22.5 \text{ кВт}$$

Розрахунок повної потужності:

$$S = 22.5 / 0.85 = 26.47 \text{ кВА}$$

Розрахунок струму:

$$I = (26.47 \times 1000) / (1.732 \times 400) = 38.21 \text{ A}$$

Сумарна активна потужність: $P_{\text{заг}} = 133.65 \text{ кВт}$

Сумарна повна потужність: $S_{\text{заг}} = 157.23 \text{ кВА}$

Сумарний струм: $I_{\text{заг}} = 226.96 \text{ A}$

У результаті виконаних поетапних розрахунків для всіх допоміжних приміщень виробничого цеху були визначені активні та повні потужності, а також розраховані відповідні значення струмів. Найбільші навантаження припадають на вентиляційну камеру та виробничу лабораторію, що пов'язано з високою встановленою потужністю обладнання та значними коефіцієнтами використання. Сумарна активна потужність для всіх приміщень становить 178,95 кВт, що вказує на значну енергомісткість допоміжних ділянок цеху. Повна потужність досягла 211,71 кВА, а сумарний струм, необхідний для живлення усіх приміщень, становить приблизно 305,56 А. Отримані результати необхідні для подальшого обґрунтування вибору трансформаторів, схеми електропостачання

					ДП 2025 141	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та захисної апаратури, а також для розроблення проектної документації на систему електропостачання цеху.

2.3 Розрахунок сумарного електричного навантаження на шинах ТП з урахуванням освітлювального навантаження та втрат в трансформаторах

Розрахунок сумарного електричного навантаження на шинах трансформаторної підстанції є одним із ключових етапів у проектуванні системи електропостачання виробничого об'єкта. У цьому розрахунку враховуються усі категорії споживачів електричної енергії, зокрема силове навантаження основного обладнання цеху, навантаження допоміжних приміщень, а також освітлювальне навантаження, як загальне, так і аварійне. Окремо враховується також потужність втрат у трансформаторах, які виникають внаслідок холостого ходу та короткого замикання.

На першому етапі підсумовується активна потужність усіх силових електроприймачів, що розрахована на попередніх етапах. До неї додається активна потужність допоміжних приміщень, з урахуванням коефіцієнтів використання та коефіцієнтів потужності, що відповідають характеру роботи обладнання у кожному з цих приміщень. Отриманий результат представляє собою загальну активну потужність, яка споживається усіма силовими установками в умовах максимального навантаження.

Далі до розрахунків включається освітлювальне навантаження. Для виробничих приміщень воно визначається на основі норми освітлення та площі приміщень, з урахуванням типу світильників, їх кількості та ефективності. Зазвичай приймається, що освітлювальне навантаження становить приблизно 5–10 % від активного силового навантаження, якщо не задано конкретних технічних характеристик. Також додається аварійне освітлення, як правило, на рівні 10–15 % від загального освітлення.

Крім цього, обов'язково враховуються втрати в трансформаторі, які поділяються на втрати холостого ходу (ΔP_0) та втрати короткого замикання

					ДП 2025 141	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(ΔP_k). Ці втрати додаються до загального навантаження, оскільки вони постійно впливають на енергоспоживання системи. У розрахунках застосовується типовий діапазон втрат для силових трансформаторів у межах від 1 до 3 % від номінальної потужності.

Після врахування усіх вищенаведених складових визначається сумарна активна потужність, яка потім використовується для обчислення повної потужності на шинах ТП за допомогою формули, що враховує середній коефіцієнт потужності системи. У фіналі розраховується струм на шинах трансформаторної підстанції, який дозволяє оцінити навантаження на трансформатор, вибрати відповідне обладнання, а також перевірити відповідність навантаження нормативним вимогам та запланованим технічним параметрам. Такий поетапний аналіз дозволяє забезпечити надійність і ефективність функціонування електропостачання виробничого цеху.

Сумарна активна потужність силових установок

$$P_{\text{силові}} = 401,69 \text{ кВт}$$

Сумарна активна потужність допоміжних приміщень

$$P_{\text{допоміжні}} = 178,95 \text{ кВт}$$

Орієнтовна активна потужність освітлення

$$P_{\text{освітлення}} = 0,1 \times (P_{\text{силові}} + P_{\text{допоміжні}})$$

$$P_{\text{освітлення}} = 0,1 \times (401,69 + 178,95) = 58,06 \text{ кВт}$$

Втрати потужності у трансформаторі

$$P_{\text{втрати}} = 0,02 \times (P_{\text{силові}} + P_{\text{допоміжні}} + P_{\text{освітлення}})$$

$$P_{\text{втрати}} = 0,02 \times (401,69 + 178,95 + 58,06) = 12,77 \text{ кВт}$$

Загальна активна потужність на шинах ТП

$$P_{\text{загальна}} = P_{\text{силові}} + P_{\text{допоміжні}} + P_{\text{освітлення}} + P_{\text{втрати}}$$

$$P_{\text{загальна}} = 401,69 + 178,95 + 58,06 + 12,77 = 651,48 \text{ кВт}$$

Повна потужність на шинах ТП

$$\cos\varphi = 0,92$$

$$S_{\text{загальна}} = P_{\text{загальна}} / \cos\varphi$$

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$S_{\text{загальна}} = 651,48 / 0,92 = 708,14 \text{ кВА}$$

Струм на шинах ТП

$$U = 400 \text{ В, трифазна система}$$

$$I = (S \times 1000) / (\sqrt{3} \times U)$$

$$I = (708,14 \times 1000) / (1,732 \times 400) = 1022,4 \text{ А}$$

Розрахунок сумарного електричного навантаження на шинах трансформаторної підстанції показує, що загальна активна потужність усіх споживачів, включаючи силові установки, допоміжні приміщення, освітлення та втрати в трансформаторі, становить 651,48 кВт. З урахуванням середнього коефіцієнта потужності, повна потужність на шинах ТП дорівнює 708,14 кВА. Це значення є основою для подальшого визначення навантажувального струму, який складає 1022,4 А при номінальній напрузі 400 В у трифазній системі. Отримані результати дозволяють перейти до вибору силового трансформатора, кабельної продукції та апаратури захисту, гарантуючи ефективне функціонування системи електропостачання цеху в умовах двозмінного виробництва з урахуванням заданих параметрів навантаження.

					ДП 2025 141	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

3.1 Режими реактивної потужності системи електропостачання

Режими реактивної потужності системи електропостачання відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної та надійної роботи електроустановок і обладнання, а також у підтримці необхідної якості електроенергії. Реактивна потужність, на відміну від активної, не виконує корисної роботи, проте забезпечує створення електромагнітного поля в індуктивних елементах, таких як електродвигуни, трансформатори, дроселі, які переважають у промислових електроспоживачах. Водночас надлишок або дефіцит реактивної потужності в системі призводить до зниження коефіцієнта потужності, перевантаження мережевих елементів, втрат електроенергії та зниження напруги, що негативно впливає на роботу обладнання.

Система електропостачання може працювати в одному з трьох основних режимів за реактивною потужністю: режим компенсації, режим споживання та режим генерації. У режимі компенсації споживачі отримують реактивну потужність із джерел генерації або компенсаційних пристроїв (наприклад, батарей конденсаторів), що дозволяє досягти близького до одиниці коефіцієнта потужності. У цьому режимі забезпечується оптимальне використання електроенергії, мінімізація втрат і стабільність напруги в мережі.

У режимі споживання реактивної потужності підприємство або окремий цех виступає переважно як індуктивне навантаження, що викликає підвищене споживання реактивної потужності з мережі. Це призводить до збільшення струмів у лініях, додаткових втрат, зниження напруги в мережі та погіршення якості електроенергії.

					ДП 2025 141				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	3. Компенсація реактивної потужності та вибір місця розташування компенсуючих пристроїв	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Ткаченко М.В.							
Перевір.		Шпак В.В.					41		
Реценз.		Грищенко Р.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			
Н. Контр.									
Затверд.		Балюта С.М.							

Такий режим вимагає застосування заходів з компенсації, зокрема використання батарей статичних конденсаторів або синхронних компенсаторів, які дозволяють покращити баланс реактивної потужності.

У режимі генерації реактивної потужності об'єкт, зазвичай обладнаний синхронними двигунами або спеціальними компенсуючими пристроями, видає реактивну потужність назад у мережу. Такий режим сприятливо впливає на загальний баланс системи електропостачання, підвищує напругу в контрольованих точках і дозволяє знизити навантаження на джерела живлення. Разом з тим, необхідно дотримуватись встановлених норм і регламентів, щоб уникнути перенапруг у системі, особливо в умовах зниженого навантаження.

Загальна активна потужність $P = 651,48$ кВт

Коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0,92$

Розрахунок повної потужності

Формула: $S = P / \cos\varphi$

Розрахунок: $S = 651,48 / 0,92 = 708,13$ кВА

Крок 2: Розрахунок реактивної потужності

Формула: $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

Розрахунок: $Q = \sqrt{(708,13^2 - 651,48^2)} = \sqrt{(501446,08 - 424429,39)}$
 $= \sqrt{77016,69} = 277,61$ кВАр

Поточний режим за реактивною потужністю

Оскільки реактивна потужність позитивна, цех споживає реактивну потужність з мережі, тобто працює в індуктивному режимі.

Потрібно впровадження компенсуючих пристроїв (батарей конденсаторів).

Необхідна компенсація реактивної потужності

Бажаний коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0,98$

Формула: $Q_{\text{нове}} = P * \tan(\arccos(0,98))$

Розрахунок: $Q_{\text{нове}} = 651,48 * \tan(11,47^\circ) \approx 651,48 * 0,2027$
 $= 132,09$ кВАр

Формула для компенсації: $Q_{\text{компенсації}} = Q - Q_{\text{нове}}$

					ДП 2025 141	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок: $Q_{\text{компенсації}} = 277,61 - 132,09 = 145,52 \text{ кВАр}$

Цех споживає 277,61 кВАр реактивної потужності. Для покращення коефіцієнта потужності до 0,98 необхідно компенсувати 145,52 кВАр за допомогою батареї конденсаторів.

3.2 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в низьковольтних мережах

Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв у низьковольтних мережах є критично важливим етапом при проектуванні систем електропостачання, оскільки дозволяє оптимізувати енергетичний режим роботи обладнання, зменшити навантаження на трансформатори та лінії, а також знизити втрати електроенергії в мережі. У контексті роботи ремонтно-механічного цеху, де споживання електроенергії є значним і пов'язане з роботою індуктивного технологічного обладнання, питання компенсації реактивної потужності набуває особливої актуальності.

Початково виконується баланс реактивної потужності, який включає визначення повної реактивної потужності, споживаної технологічним обладнанням, електротермічними установками, вентиляційними системами, освітленням та іншими навантаженнями. Для цього на основі відомих значень активної потужності кожного типу навантаження та їх коефіцієнтів потужності розраховують індивідуальну реактивну потужність за формулою: $Q = P \times \tan(\varphi)$, де φ – кут, відповідний коефіцієнту потужності ($\cos\varphi$), а $\tan(\varphi)$ визначається як відношення реактивної до активної потужності. Сумування всіх Q дає загальну потребу підприємства в реактивній потужності.

На другому етапі виконується порівняння отриманої сумарної реактивної потужності з допустимими параметрами енергосистеми. Якщо споживання реактивної енергії перевищує допустимі значення, що часто спостерігається у випадках з великою кількістю асинхронних двигунів, виникає необхідність у встановленні компенсуючих пристроїв, найчастіше у вигляді батарей статичних

					ДП 2025 141	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конденсаторів. Для їх підбору визначається цільовий коефіцієнт потужності, наприклад, 0,98, і на основі цього виконується перерахунок нової реактивної потужності, яка буде допустимою при досягненні цього коефіцієнта. Різниця між початковим значенням реактивної потужності та новим i є необхідною компенсуючою реактивною потужністю.

Після цього відбувається вибір типу та кількості компенсуючих пристроїв. Основними критеріями є їхня потужність, напруга, кількість фаз, можливість автоматичного регулювання ступенів компенсації залежно від режиму навантаження. У сучасних системах застосовуються автоматизовані установки компенсації реактивної потужності (АКРП), які забезпечують стабільну роботу електромережі при змінному навантаженні. Блоки конденсаторів можуть бути встановлені централізовано на шинопроводі головного розподільчого пристрою або децентралізовано безпосередньо біля електроприймачів.

$$\text{Сумарна активна потужність } P = 651,48 \text{ кВт}$$

$$\text{Середній коефіцієнт потужності } \cos\varphi_1 = 0,85$$

$$\text{Цільовий коефіцієнт потужності } \cos\varphi_2 = 0,98$$

$$\text{Номінальна напруга мережі } U = 400 \text{ В}$$

$$\text{Частота мережі } f = 50 \text{ Гц}$$

Розрахунок реактивної потужності до компенсації (Q_1):

$$\varphi_1 = \arccos(0,85) \approx 31,79^\circ$$

$$\tan\varphi_1 \approx \tan(31,79^\circ) \approx 0,618$$

$$Q_1 = P \times \tan\varphi_1 = 651,48 \times 0,618 \approx 402,77 \text{ квар}$$

Розрахунок допустимої реактивної потужності після компенсації (Q_2):

$$\varphi_2 = \arccos(0,98) \approx 11,47^\circ$$

$$\tan\varphi_2 \approx \tan(11,47^\circ) \approx 0,203$$

$$Q_2 = P \times \tan\varphi_2 = 651,48 \times 0,203 \approx 132,25 \text{ квар}$$

Необхідна компенсуюча потужність (Q_c):

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = 402,77 - 132,25 = 270,52 \text{ квар}$$

Вибір компенсуючих пристроїв:

При використанні модулів по 50 квар:

$$n = Q_c / Q_{\text{модуля}} = 270,52 / 50 \approx 5,41 \rightarrow 6 \text{ модулів по 50 квар}$$

Параметри під'єднання:

Для трифазної мережі 400 В:

$$I_{\text{ф}} = Q_{\text{модуля}} / (\sqrt{3} \times U) = 50,000 / (\sqrt{3} \times 400) \approx 72,17 \text{ А}$$

Рекомендовано використати АКРП на 6 ступенів по 50 квар з автоматичним керуванням.

3.3 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв у системі електропостачання є ключовим етапом проектування, що впливає на ефективність функціонування всієї мережі, стабільність напруги та мінімізацію втрат енергії. На підставі попереднього розрахунку визначено, що потреба в реактивній потужності для компенсації становить 270,52 квар. Щоб забезпечити стабільну роботу електроустановок цеху та наблизити коефіцієнт потужності до оптимального значення, доцільно застосувати типові конденсаторні установки модульного типу потужністю 50 квар кожна. Таким чином, для реалізації повної потреби у компенсації обґрунтовано вибір шести компенсуючих пристроїв, що сумарно надають 300 квар реактивної потужності з урахуванням резерву, який забезпечує стійкість до зміни режимів навантаження.

Розміщення компенсуючих пристроїв виконується на основі аналізу електричних навантажень у цеху, просторового розташування основного технологічного обладнання та довжин ліній електропередачі. Найефективнішим рішенням у даному випадку є централізоване розміщення всіх модулів у

					ДП 2025 141	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електрощитовій поблизу трансформаторної підстанції, що дозволяє забезпечити зручний доступ для обслуговування та автоматизоване регулювання ступенів компенсації за допомогою пристрою типу АКРП (автоматичного керування реактивною потужністю). Централізоване розташування конденсаторів також дозволяє уникнути небажаних перенапруг у місцях приєднання електроприймачів, що мають нестабільне навантаження. При необхідності більш точного регулювання у разі значного розкиду навантажень за територією цеху допускається змішана схема, за якої частина конденсаторів монтується локально біля груп особливо потужного індуктивного обладнання, наприклад, електротермічних установок або мостових кранів. Однак з огляду на наявність автоматичного регулятора та відносну компактність споживання, централізоване рішення є економічно та технічно обґрунтованим.

Визначення повної реактивної потужності до компенсації

Вихідні дані:

- Сумарна активна потужність $P_{\text{заг}} = 651.48 \text{ кВт}$
- Середній коефіцієнт потужності до компенсації: $\cos\varphi_1 = 0.74$
- Бажаний коефіцієнт потужності після компенсації: $\cos\varphi_2 = 0.95$

Знаходимо кут фазового зсуву:

$$\varphi_1 = \arccos(0.74) \approx 42.1^\circ$$

$$\varphi_2 = \arccos(0.95) \approx 18.2^\circ$$

Реактивна потужність до компенсації:

$$Q_1 = P_{\text{заг}} * \tan(\varphi_1) = 651.48 * \tan(42.1^\circ) \approx 588.4 \text{ квар}$$

Реактивна потужність після компенсації:

$$Q_2 = P_{\text{заг}} * \tan(\varphi_2) = 651.48 * \tan(18.2^\circ) \approx 214.1 \text{ квар}$$

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Визначення необхідної компенсуючої потужності

$$Q_{\text{комп}} = Q_1 - Q_2 = 588.4 - 214.1 = 374.3 \text{ квар}$$

Вибір типових конденсаторних установок

Припустимо використання модулів по 50 квар:

$$N = \lceil 374.3 / 50 \rceil = 8 \text{ модулів}$$

Фактична компенсуюча потужність:

$$Q_{\text{факт}} = 8 * 50 = 400 \text{ квар}$$

Вибір місця встановлення

Усі модулі встановлюються централізовано в електрощитовій біля трансформаторної підстанції, оскільки більшість споживачів зосереджена у головному виробничому залі. Це дозволяє зменшити втрати електроенергії, реактивну потужність у кабельних лініях та полегшити технічне обслуговування.

Перевірка результату

$$Q_{\text{зал}} = Q_1 - Q_{\text{факт}} = 588.4 - 400 = 188.4 \text{ квар}$$

Новий коефіцієнт потужності:

$$\tan(\varphi_{\text{нов}}) = 188.4 / 651.48 \approx 0.289$$

$$\varphi_{\text{нов}} = \arctan(0.289) \approx 16.1^\circ \Rightarrow \cos\varphi_{\text{нов}} \approx 0.96$$

Це підтверджує ефективність встановлення восьми модулів по 50 квар для забезпечення стабільного коефіцієнта потужності на рівні 0.95–0.96. У результаті проведеного розрахунку визначено, що для забезпечення стабільного та енергоефективного режиму роботи електроустановок ремонтно-

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

механічного цеху необхідно встановити вісім компенсуючих пристроїв загальною потужністю 400 квар. Така кількість модулів вибрана з урахуванням розрахованої потреби у компенсації реактивної потужності в обсязі 374,3 квар, а також резерву для покриття коливань навантаження. Кожен модуль має номінальну потужність 50 квар і відповідає вимогам до швидкодії, надійності та компактності. Усі компенсуючі пристрої доцільно розмістити централізовано в електрощитовій поблизу трансформаторної підстанції, що дозволяє оптимізувати схему керування, мінімізувати втрати електроенергії в мережі та забезпечити зручний доступ для технічного обслуговування і регулювання рівня компенсації. Обране розташування також сприяє стабілізації напруги в розподільній мережі та поліпшенню загального коефіцієнта потужності до значення, близького до 0,96.

					ДП 2025 141	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ВИБІР ЧИСЛА ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ТП

4.1. Техніко-економічне порівняння варіантів трансформаторів

Техніко-економічне порівняння варіантів трансформаторів є важливим етапом у проєктуванні системи електропостачання, оскільки правильний вибір трансформаторного обладнання визначає не лише технічну ефективність, а й економічну доцільність експлуатації системи в довгостроковій перспективі. Під час аналізу беруться до уваги ключові технічні параметри, такі як номінальна потужність, рівень втрат холостого ходу та короткого замикання, ККД, клас ізоляції, габарити, вага та система охолодження. Також розглядаються показники надійності, довговічності, ремонтпридатності та відповідність нормативам щодо енергоефективності.

З економічної точки зору особливу увагу приділяють величині початкових капіталовкладень, які включають вартість самого трансформатора, витрати на його транспортування, монтаж, приєднання та пусконаладжувальні роботи. Додатково обчислюються експлуатаційні витрати, пов'язані з втратою електроенергії під час тривалої роботи трансформатора в різних режимах навантаження. В цьому контексті аналізується вартість втрат енергії за рік, з урахуванням тарифів на електроенергію, тривалості роботи в рік, завантаження трансформатора та коефіцієнта втрат.

Порівняння проводиться між кількома типами трансформаторів, які відповідають заданим потужнісним і експлуатаційним характеристикам. Наприклад, розглядаються два трансформатори потужністю 630 кВА та 1000 кВА від різних виробників. Трансформатор з вищим ККД може мати дещо більшу вартість, однак у перспективі експлуатації протягом 10–15 років забезпечить значно менші витрати на оплату втрат електроенергії.

					ДП 2025 141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	4. Вибір числа і потужності трансформаторів на ТП		
Розроб.		Ткаченко М.В.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.			Літ. Арк. Аркушів		
						49	
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

Якщо трансформатор має покращену систему охолодження або конструктивні переваги, це дозволяє зменшити витрати на вентиляцію або технічне обслуговування. Водночас більш габаритні трансформатори можуть вимагати більших площ для встановлення, що впливає на вартість проектування і будівництва електрощитових приміщень.

Таблиця 4.1.

Техніко-економічне порівняння варіантів трансформаторів

Показник	ТМ-630/10	ТМ-1000/10
Номинальна потужність, кВА	630	1000
Напруга ВН/НН, кВ	10/0.4	10/0.4
Втрати холостого ходу, кВт	1.25	1.8
Втрати короткого замикання, кВт	7.5	11.2
Коефіцієнт корисної дії, %	98.35	98.75
Габарити (Д×Ш×В), мм	1300×900×1500	1450×1000×1600
Маса, кг	1650	2050
Система охолодження	Масляна	Масляна
Ціна трансформатора, грн	165 000	230 000
Річна вартість втрат електроенергії, грн	14 500	12 600
Орієнтовний термін служби, років	25	25

За результатами техніко-економічного порівняння трансформаторів ТМ-630/10 та ТМ-1000/10, доцільним є вибір трансформатора ТМ-1000/10. Хоча його первинна вартість вища, він має суттєво менші втрати електроенергії, вищий ККД, оптимальні габарити для потужнішого обладнання, а також економічно вигідніший у довгостроковій перспективі. З огляду на прогнозоване навантаження цеху та вимоги до надійності електропостачання, саме ТМ-1000/10 забезпечує кращу енергоефективність і є технічно обґрунтованим вибором.

5. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ

5.1 Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів до споживачів електричної енергії

Розрахунок і вибір автоматичних вимикачів до споживачів електричної енергії є критично важливим етапом у забезпеченні надійної та безпечної роботи електроустановок у межах промислового цеху. Цей процес передбачає визначення таких параметрів, як номінальний струм навантаження, пусковий струм електродвигунів, допустимі струми короткого замикання, а також відповідність типу вимикача до категорії навантаження. Основним критерієм при виборі є забезпечення захисту електричних кіл від перевантажень і коротких замикань, з одночасним недопущенням хибного спрацювання під час нормального режиму роботи.

Спочатку проводиться розрахунок номінального струму кожного споживача, що базується на його активній потужності, коефіцієнті потужності та номінальній напрузі. Згідно з отриманими значеннями визначається номінальний струм автоматичного вимикача, який повинен бути більшим за розрахований струм навантаження, але при цьому достатнім для захисту від перевантажень. У випадку електродвигунів особливу увагу приділяють кратності пускового струму, оскільки під час запуску електродвигуни можуть споживати струм, який у 5–7 разів перевищує номінальний. У таких випадках вибираються вимикачі з характеристикою затримки спрацювання (типи В, С або D), що дозволяє уникнути передчасного відключення при запуску обладнання.

					ДП 2025 141			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	5. Розрахунок та вибір апаратів управління та захисту силової мережі	Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Ткаченко М.В.						
Перевір.		Шпак В.В.					51	
Реценз.		Грищенко Р.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

Крім того, враховуються характеристики мережі, де встановлюється вимикач: довжина кабелю, переріз провідників, можливі струми короткого замикання та здатність автоматичного вимикача розірвати струм, який виникає при короткому замиканні. Для кожного споживача слід забезпечити узгодження з параметрами кабельної лінії, з тим щоб забезпечити селективність відключення — тобто спрацьовування лише того вимикача, який безпосередньо відповідає за конкретне обладнання, без відключення інших частин мережі.

На завершальному етапі здійснюється перевірка вибраних автоматичних вимикачів на відповідність чинним нормативним документам та стандартам, зокрема вимогам ДСТУ ІЕС 60947 та ДБН В.2.5-23. Загалом вибір автоматичних вимикачів має бути узгоджений не лише з електротехнічними параметрами споживача, а й з усією системою електропостачання об'єкта, враховуючи перспективу розширення або реконструкції цеху. Для одного з найменувань обладнання — токарного верстата з потужністю 22,5 кВт і коефіцієнтом потужності $\cos\varphi = 0,6$, розрахунок параметрів автоматичного вимикача проводиться поетапно. Розрахунок повного струму навантаження для трифазного навантаження повний робочий струм I визначається за формулою:

$$I = \frac{(P * 1000)}{100} (\sqrt{3} * U * \cos\varphi)$$

де:

— $P = 22,5$ кВт — активна потужність навантаження

— $\cos\varphi = 0,6$ — коефіцієнт потужності

— $U = 400$ В — лінійна напруга

— $\sqrt{3} \approx 1,732$

$$I = \frac{(22,5 * 1000)}{100} (1,732 * 400 * 0,6) \approx 22500 = 415,68 \approx 54,12 \text{ А}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок пускового струму

Для електродвигунів пусковий струм у середньому дорівнює 5–7 номінальних.

Візьмемо коефіцієнт 6:

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot I = 6 \cdot 54,12 = 324,72 \text{ A}$$

Вибір автоматичного вимикача

Номінальний струм автомата повинен бути не меншим за робочий струм:

$$I_{\text{авт. ном}} \geq 54,12 \text{ A}$$

Автомат повинен не відключатися при пусковому струмі, тому вибираємо автомат типу C або D.

Варіанти:

- автомат C63 — спрацювання при струмах від 5 до 10 номінальних (до 630 A), підходить;
- автомат C50 — недостатній номінал (менше робочого струму);
- автомат D63 — ще краще витримує пуск, але дорожчий.

Обґрунтований вибір: автоматичний вимикач типу C63, номінальний струм — 63 A.

1. Зварювальні апарати (3 шт.)

$$P_n = 48 \text{ кВт}, k_v = 0,25, \cos\varphi = 0,4$$

Розрахункове активне навантаження:

$$P = 48 \times 0,25 = 12 \text{ кВт}$$

Розрахунок струму:

$$I = P \cdot 1000 / (\sqrt{3} \cdot 400 \cdot \cos\varphi) = 12000 / (1.732 \cdot 400 \cdot 0.4) \approx 43.3 \text{ A}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пусковий струм ($I_{\text{пуск}} \approx 6 \cdot I$):

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 43.3 = 259.8 \text{ А}$$

Автомат: C63

2. Точильно – шліфувальні верстати (3 шт.)

$$P_n = 70 \text{ кВт}, k_v = 0,22, \cos\varphi = 0,6$$

$$P = 70 \times 0,22 = 15.4 \text{ кВт}$$

$$I = 15400 / (1.732 \cdot 400 \cdot 0.6) \approx 37.1 \text{ А}$$

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 37.1 = 222.6 \text{ А}$$

Автомат: C50

3. Обдираючі верстати (2 шт.)

$$P_n = 30 \text{ кВт}, k_v = 0,17, \cos\varphi = 0,5$$

$$P = 30 \times 0.17 = 5.1 \text{ кВт}$$

$$I = 5100 / (1.732 \cdot 400 \cdot 0.5) \approx 14.7 \text{ А}$$

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 14.7 = 88.2 \text{ А}$$

Автомат: C16

4. Фрезерувальні верстати (6 шт.)

$$P_n = 14 \text{ кВт}, k_v = 0,22, \cos\varphi = 0,5$$

$$P = 14 \times 6 \times 0.22 = 18.5 \text{ кВт}$$

$$I = 18500 / (1.732 \cdot 400 \cdot 0.5) \approx 53.3 \text{ А}$$

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 53.3 = 319.8 \text{ А}$$

Автомат: C63 або D63

5. Токарні верстати (2 шт.)

$$P_n = 22.5 \text{ кВт}, k_v = 0.16, \cos\varphi = 0.6$$

$$P = 22.5 \times 2 \times 0.16 = 7.2 \text{ кВт}$$

$$I = 7200 / (1.732 \cdot 400 \cdot 0.6) \approx 17.3 \text{ А}$$

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 17.3 = 103.8 \text{ А}$$

Автомат: C20

6. Продольнострогальні верстати (6 шт.)

$$P_n = 12.5 \text{ кВт}, k_v = 0.2, \cos\varphi = 0.7$$

$$P = 12.5 \times 6 \times 0.2 = 15 \text{ кВт}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I = 15000 / (1.732 \cdot 400 \cdot 0.7) \approx 30.9 \text{ A}$$

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 30.9 = 185.4 \text{ A}$$

Автомат: C40

7. Зубофрезерувальні верстати (4 шт.)

Номинальна потужність одного верстата:

$$P_n = 15 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт використання: $k_v = 0.15$

$$\cos\varphi = 0.5$$

Активне навантаження:

$$P = 15 \times 4 \times 0.15 = 9.0 \text{ кВт}$$

Струм:

$$I = (9000 \text{ Вт}) / (\sqrt{3} \times 400 \text{ В} \times 0.5) = 9000 / (1.732 \times 400 \times 0.5) \approx 26.0 \text{ A}$$

Пусковий струм:

$$I_{\text{пуск}} = 6 \times 26.0 \approx 156.0 \text{ A}$$

Рекомендований автоматичний вимикач: C32

8. Плоскошліфувальні верстати (3 шт.)

$$P_n = 16.5 \text{ кВт}$$

$$k_v = 0.14$$

$$\cos\varphi = 0.6$$

$$P = 16.5 \times 3 \times 0.14 = 6.93 \text{ кВт}$$

$$I = 6930 / (1.732 \times 400 \times 0.6) \approx 16.6 \text{ A}$$

$$I_{\text{пуск}} = 6 \times 16.6 \approx 99.6 \text{ A}$$

Автомат: C20

9. Електротермічні установки (3 шт.)

$$P_n = 18 \text{ кВт}$$

$$k_v = 0.6$$

$$\cos\varphi = 0.9$$

$$P = 18 \times 3 \times 0.6 = 32.4 \text{ кВт}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I = 32400 / (1.732 \times 400 \times 0.9) \approx 52.0 \text{ A}$$

$$I_{\text{пуск}} = 1.5 \times 52.0$$

$\approx 78.0 \text{ A}$ (для термічних установок враховуємо нижчий пусковий коеф.)

Автомат: C63

10. Розточувальні верстати (3 шт.)

$$P_n = 10 \text{ кВт}$$

$$k_B = 0.26$$

$$\cos\varphi = 0.7$$

$$P = 10 \times 3 \times 0.26 = 7.8 \text{ кВт}$$

$$I = 7800 / (1.732 \times 400 \times 0.7) \approx 16.0 \text{ A}$$

$$I_{\text{пуск}} = 6 \times 16.0 = 96.0 \text{ A}$$

Автомат: C20

11. Мостові крани (2 шт.)

$$P_n = 70 \text{ кВт}$$

$$k_B = 0.1$$

$$\cos\varphi = 0.5$$

$$P = 70 \times 2 \times 0.1 = 14.0 \text{ кВт}$$

$$I = 14000 / (1.732 \times 400 \times 0.5) \approx 40.4 \text{ A}$$

$$I_{\text{пуск}} = 6 \times 40.4 = 242.4 \text{ A}$$

Автомат: D63

Після виконання поетапного розрахунку електричних навантажень усіх основних споживачів ремонтно-механічного цеху можна зробити висновок, що правильний вибір автоматичних вимикачів має базуватись як на розрахованому робочому струмі, так і на очікуваних пускових навантаженнях. Зокрема, більшість верстатів належать до категорії електроприймачів із підвищеним пусковим струмом, що вимагає застосування вимикачів із характеристикою типу С або D залежно від потужності та режиму роботи обладнання. У результаті було підібрано номінали автоматів, які забезпечують надійний захист від перевантаження та короткого замикання, враховуючи особливості кожної групи

					ДП 2025 141	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристроїв. Враховано як тип споживачів (електромеханічні, термічні, кранові установки), так і умови експлуатації, що забезпечує енергоефективну й безпечну роботу всієї системи електропостачання цеху.

5.2 Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів для групи електроспоживачів

Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів для групи електроспоживачів здійснюється з урахуванням сумарного навантаження окремих електроприймачів, які живляться від однієї лінії або розподільного пункту. Основна мета цього етапу полягає у забезпеченні одночасного захисту всіх приєднаних споживачів від перевантаження, короткого замикання та недопущення хибного спрацювання автомата при нормальних пускових режимах.

У першому етапі розрахунку визначається загальна активна потужність групи електроприймачів. Для цього окремі потужності електроустановок множаться на відповідні коефіцієнти використання та кількість одиниць обладнання, після чого результати підсумовуються. Таким чином отримується значення сумарної активної потужності. Після цього, на основі середнього значення коефіцієнта потужності для групи, розраховується повна потужність. Далі за формулою трифазного струму виконується розрахунок значення лінійного струму для всієї групи. У разі, якщо до групи входять споживачі зі значним пусковим струмом (зварювальні апарати, кранові установки, верстати з інерційними елементами), додатково розраховується пусковий струм з урахуванням пускового коефіцієнта. Цей струм використовується для перевірки того, чи зможе вибраний автоматичний вимикач витримати короткочасне зростання навантаження без спрацювання.

На основі розрахованого робочого струму обирається автоматичний вимикач відповідного номіналу. Вибір типу характеристики автомата (тип В, С

					ДП 2025 141	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або D) здійснюється залежно від типу навантаження в групі. Для групи, що складається переважно з освітлення або електроприймачів із незначним пусковим струмом, застосовується характеристика типу В. Якщо ж у складі групи переважає електромеханічне обладнання з типовими пусковими струмами, доцільно використовувати автомати типу С. Для споживачів із надвисокими пусковими струмами, таких як двигуни кранового обладнання, вибирається характеристика типу D.

У випадку, коли кількість приєднаного навантаження значна, доцільним є також перевірити вибраний автомат за умовами термічної та електромагнітної витримки. При цьому обчислюється час спрацювання автомата при граничних струмах, і порівнюється з допустимими параметрами ланцюга, щоб уникнути перегріву провідників або пошкодження елементів мережі. Таким чином, у процесі вибору враховуються як електричні параметри, так і умови навколишнього середовища, довжина кабельних ліній, температурні характеристики та наявність компенсації реактивної потужності.

Результатом розрахунку є вибір конкретної моделі автоматичного вимикача із зазначенням номінального струму, типу характеристики спрацювання та класу комутаційної здатності. Це забезпечує ефективну роботу системи електропостачання без ризику аварійних ситуацій і з урахуванням специфіки навантажень у кожній окремій групі споживачів.

					ДП 2025 141	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗРАХУНОК СУМАРНОЇ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

За умовою:

– Номінальна потужність одного верстата: $P_n = 14$ кВт

– Кількість верстатів: $n = 6$

– Коефіцієнт використання: $k_v = 0,22$

$$P_{\text{сум}} = P_n \times n \times k_v = 14 \times 6 \times 0,22 = 18,48 \text{ кВт}$$

РОЗРАХУНОК СУМАРНОЇ ПОВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0,5$

$$S = P_{\text{сум}} / \cos\varphi = 18,48 / 0,5 = 36,96 \text{ кВА}$$

РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО СТРУМУ

Для трифазного навантаження з напругою $U = 380$ В:

$$I = (S \times 1000) / (\sqrt{3} \times U) = (36,96 \times 1000) / (1,732 \times 380) \approx 56,15 \text{ А}$$

РОЗРАХУНОК ПУСКОВОГО СТРУМУ

Пусковий коефіцієнт: $k_p = 2,5$

$$I_{\text{пуск}} = k_p \times I = 2,5 \times 56,15 = 140,38 \text{ А}$$

ВИБІР АВТОМАТИЧНОГО ВИМИКАЧА

Робочий струм: 56,15 А

Вибираємо автоматичний вимикач на 63 А з характеристикою типу D.

ПЕРЕВІРКА ЗА ПУСКОВИМ СТРУМОМ

Автомат типу D допускає пусковий струм до 10 – 20 крат I_n .

$$I_{\text{пуск_допустимий}} = 10 \times I_n = 10 \times 63 = 630 \text{ А}$$

140,38 А < 630 А, отже автомат не спрацює хибно на пуск.

					ДП 2025 141	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для групи з шести фрезерувальних верстатів необхідно встановити автоматичний вимикач номіналом 63 А з характеристикою типу D. Це забезпечить надійний захист ланцюга при нормальному режимі роботи та під час пуску. У результаті детального розрахунку для групи з шести фрезерувальних верстатів встановлено, що сумарна активна потужність складає 18,48 кВт, а повна потужність — 36,96 кВА. При номінальній напрузі 380 В робочий струм становить приблизно 56,15 А. З урахуванням пускового коефіцієнта пусковий струм дорівнює 140,38 А. Для забезпечення надійного захисту електричного кола, а також враховуючи пускові струми обладнання, обґрунтовано вибрано автоматичний вимикач на струм 63 А з характеристикою типу D. Обраний автомат забезпечує необхідний рівень чутливості до короткого замикання та не реагує хибно на пускові струми, що гарантує безпечну і стабільну роботу всієї групи електроспоживачів.

					ДП 2025 141	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Вибір силових пунктів (СП)

Вибір силових пунктів (СП) є одним із ключових етапів проєктування системи електропостачання промислового цеху, оскільки від правильного розташування та потужності цих пунктів залежить ефективність та безперебійність роботи обладнання. Основною метою встановлення силових пунктів є забезпечення раціонального підведення електроенергії до електроприймачів із мінімальними втратами напруги та енергії, а також створення умов для зручного і безпечного обслуговування розподільної апаратури.

У рамках електропостачання ремонтно-механічного цеху з обробки корпусних деталей заводу металоконструкцій враховується конфігурація будівлі, розміщення груп технологічного обладнання, категорія надійності електроприймачів, а також вимоги до гнучкості і ремонтпридатності всієї електромережі. Згідно з вихідними даними, основне обладнання зосереджене у декількох функціональних зонах, тому доцільно передбачити встановлення декількох силових пунктів із чітко визначеною потужністю та функціональним призначенням. Кожен СП житиме певну групу електроспоживачів з урахуванням їхнього навантаження та відстані до джерела живлення.

Розміщення силових пунктів проєктується так, щоб довжина відгалужень від них до безпосередніх споживачів була мінімальною, з дотриманням нормативних відстаней у межах виробничих приміщень. Крім того, при виборі СП враховується можливість майбутнього підключення додаткового обладнання, тому встановлюються резерви по струму і потужності на рівні 10–15% від проєктного навантаження. Вибір конструкції СП ґрунтується на вимогах безпеки, пожежозахисту та відповідності умовам категорії приміщення ПП, де передбачене встановлення закритих електрощитів у металевих шафах або настінних корпусах із відповідним ступенем захисту IP.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Групування обладнання за технологічними ділянками

На підставі таблиці навантажень (Табл. 1.1) виділяємо умовні групи обладнання:

СП1: зварювальні апарати (3 од.), електротермічні установки (3 од.)

СП2: фрезерувальні верстати (6 од.), токарні (2 од.), розточувальні (3 од.)

СП3: точильно-шліфувальні (3 од.), плоскошліфувальні (3 од.), обдираючі (2 од.)

СП4: зубофрезерувальні (4 од.), продольнострогальні (6 од.)

СП5: венткамери, лабораторії, побутові приміщення

СП6: крани мостові (2 од.)

Розрахунок активної та повної потужності по групах

$$P_{\text{сум}} = \Sigma P_{\text{н}}$$

$$S = P_{\text{сум}} / \cos \varphi$$

$$I = S \times 1000 / (\sqrt{3} \times U_{\text{фаз}})$$

Для всіх розрахунків $U = 380 \text{ В}$, $\sqrt{3} \approx 1.732$.

СП1 (зварювальні + електротермічні установки)

$$P_1 = 48 + 18 = 66 \text{ кВт}$$

$$\cos \varphi = 0.9 \text{ (електротермічні домінують)}$$

$$S_1 = 66 / 0.9 = 73.33 \text{ кВА}$$

$$I_1 = 73330 / (1.732 \times 380) \approx 111.5 \text{ А}$$

СП2 (фрезерувальні, токарні, розточувальні)

$$P_2 = 14 + 22.5 + 10 = 46.5 \text{ кВт}$$

$$\cos \varphi = 0.6$$

$$S_2 = 46.5 / 0.6 = 77.5 \text{ кВА}$$

$$I_2 = 77500 / (1.732 \times 380) \approx 117.5 \text{ А}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПЗ (точильно-шліфувальні, плоскошліфувальні, обдираючі)

$$P_3 = 70 + 16.5 + 30 = 116.5 \text{ кВт}$$

$$\cos\varphi = 0.6$$

$$S_3 = 116.5 / 0.6 = 194.2 \text{ кВА}$$

$$I_3 = 194200 / (1.732 \times 380) \approx 295.5 \text{ А}$$

СП4 (зубофрезерувальні + продольнострогальні)

$$P_4 = 15 + 12.5 = 27.5 \text{ кВт}$$

$$\cos\varphi = 0.5$$

$$S_4 = 27.5 / 0.5 = 55 \text{ кВА}$$

$$I_4 = 55000 / (1.732 \times 380) \approx 83.5 \text{ А}$$

СП5 (вентиляція, лабораторія, побутові приміщення)

$$P_5 = 48 + 45 + 25 + 10 + 5 + 15 + 2 = 150 \text{ кВт}$$

$$\cos\varphi = 0.95$$

$$S_5 = 150 / 0.95 \approx 157.9 \text{ кВА}$$

$$I_5 = 157900 / (1.732 \times 380) \approx 240.1 \text{ А}$$

СП6 (мостові крани)

$$P_6 = 70 \text{ кВт}$$

$$\cos\varphi = 0.5$$

$$S_6 = 70 / 0.5 = 140 \text{ кВА}$$

$$I_6 = 140000 / (1.732 \times 380) \approx 212.5 \text{ А}$$

Всього передбачено 6 СП.

Потужності варіюються від 55 кВА до 194.2 кВА.

Струми навантаження — від 83.5 А до 295.5 А.

СП слід розміщувати з урахуванням близькості до технологічного обладнання, уникаючи перевищення допустимих втрат напруги.

					ДП 2025 141	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті виконаного розрахунку було визначено доцільність застосування шести силових пунктів для ефективного розподілу електроенергії в межах ремонтно-механічного цеху. Кожен силовий пункт обслуговує окрему технологічну ділянку, сформовану на основі характеру та потужності електроприймачів. Значення струмів навантаження варіюються в межах від 83,5 А до 295,5 А, а повна потужність — від 55 до понад 194 кВА, що свідчить про потребу в раціональному розміщенні силових пунктів максимально наближено до споживачів з метою мінімізації втрат електроенергії та підвищення надійності системи електропостачання. Усі обрані СП забезпечують відповідність вимогам щодо категорії надійності, допустимого навантаження і умов експлуатації, з урахуванням конструктивних особливостей будівлі та організації виробничого процесу.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

6. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ЖИВИЛЬНОЇ ТА РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ

6.1 Розрахунок і вибір перерізів провідників до споживачів електричної енергії

Розрахунок і вибір перерізів провідників до споживачів електричної енергії є одним із найважливіших етапів проектування системи електропостачання, оскільки правильний вибір провідника забезпечує як надійність та довговічність роботи електромережі, так і безпечну експлуатацію всього електрообладнання. Основним критерієм вибору провідника є відповідність його допустимому струму навантаження, втратам напруги в лінії, а також механічній і термічній стійкості до можливих коротких замикань. Крім того, враховується середовище, в якому прокладено кабель, та режим його роботи.

Перш за все, для кожного електроприймача визначається робочий струм на основі повної потужності навантаження і номінальної напруги, за допомогою формули $I = S / (\sqrt{3} \times U \times \cos\phi)$. Після цього обирається тип провідника, найчастіше мідний, трижильний для трифазних навантажень або дво жильний для однофазних, з урахуванням особливостей прокладки: відкритої, в трубі, у землі або в кабельному каналі. У даному випадку, для виробничого цеху з приміщеннями категорії ПП, основним способом прокладки є в коробах або по конструкціях цеху, тому необхідно враховувати відповідний коефіцієнт зниження допустимого струму при укладанні групи кабелів.

Після попереднього визначення струму навантаження виконується добір перерізу провідника за таблицями допустимих струмів згідно з ДСТУ або ПУЕ, з урахуванням допустимих струмових навантажень і тривалого режиму роботи.

					ДП 2025 141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.Розрахунок і вибір провідників живильної та розподільчої мережі цеху		
Розроб.		Ткаченко М.В.					
Перевір.		Шпак В.В					
Реценз.		Грищенко Р.В					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М			Літ.		
					Арк.		
					Аркушів		
					65		
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

Для перевірки правильності вибору виконується перевірка на допустимі втрати напруги в лінії, які не повинні перевищувати нормативних значень (3–5% в залежності від типу споживача). В разі перевищення допустимого падіння напруги обирається провідник більшого перерізу. Останнім етапом є перевірка вибраного перерізу провідника на термічну стійкість до струмів короткого замикання. Для цього визначається струм КЗ у точці підключення, а також тривалість спрацювання захисту (від автоматичного вимикача). Далі порівнюється допустима енергія, що може пройти через провідник без його пошкодження, з фактичною енергією КЗ. Якщо провідник відповідає цій вимозі, він вважається обраним правильно. У результаті поетапного розрахунку було визначено необхідний переріз провідника для живлення групи фрезерувальних верстатів.

1. Вихідні дані:

- Кількість верстатів: 6
- Потужність одного верстата: 14 кВт
- Загальна активна потужність: $P = 6 \times 14 = 84$ кВт
- Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0,5$
- Номінальна напруга мережі: $U = 380$ В (трифазна)

2. Розрахунок повної потужності:

$$S = P / \cos\varphi = 84 / 0,5 = 168 \text{ кВА}$$

3. Розрахунок робочого струму:

$$I = ((S \times 1000)) / (\sqrt{3} \times U) = ((168000)) / (1,732 \times 380) \approx 255,3 \text{ А}$$

4. Вибір перерізу провідника:

Для струму 255,3 А за ПУЕ рекомендовано мідний провідник з перерізом 95 мм² (допустимий струм до 260 А).

					ДП 2025 141	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Перевірка втрат напруги:

Припустимо довжину кабелю 50 м.

$$\text{Втрати: } \Delta U = (2 \times I \times L \times \rho) / S = (2 \times 255,3 \times 50 \times 0,018) / 95 \\ \approx 4,84 \text{ В}$$

Відносна втрата: $\Delta U\% = (4,84 / 380) \times 100\% \approx 1,27\%$ — в межах норми.

Для живлення групи фрезерувальних верстатів сумарною потужністю 84 кВт при $\cos\phi = 0,5$ та напрузі 380 В доцільно використати мідний кабель перерізом 95 мм², що забезпечує допустимі втрати напруги та термічну стійкість. На підставі проведеного розрахунку для живлення групи фрезерувальних верстатів із сумарною потужністю 84 кВт, коефіцієнтом потужності 0,5 та напругою 380 В визначено необхідність застосування мідного кабелю перерізом 95 мм². Обраний провідник здатен надійно пропускати робочий струм навантаження, забезпечує втрати напруги на рівні, який не перевищує нормативів, і відповідає всім вимогам до безпеки та термічної стійкості в умовах тривалої експлуатації. Такий вибір гарантує ефективність і безпечність електропостачання всіх споживачів даної групи у виробничому цеху.

6.2 Визначення характеристик труб для прокладки проводів до споживачів електричної енергії

Визначення характеристик труб для прокладки проводів до споживачів електричної енергії є невід'ємною частиною проєктування системи електропостачання, оскільки від правильного вибору труб залежить не лише механічний захист кабелів, а й довговічність та безпечність експлуатації всієї електромережі. Враховуючи умови експлуатації виробничого цеху, основним критерієм вибору труб є їхній внутрішній діаметр, матеріал виготовлення, клас механічної міцності та відповідність вимогам пожежної безпеки. Необхідно також урахувати кількість і переріз прокладених проводів, спосіб їх розміщення всередині труби, можливість введення додаткових кабелів у майбутньому та простоту монтажу.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

На початковому етапі розрахунку визначається сумарний зовнішній діаметр усіх проводів або кабелів, які планується прокласти в одній трубі. Згідно з нормативами, заповнення труби кабелями не повинно перевищувати 40% її внутрішнього об'єму, щоб забезпечити належне охолодження, можливість заміни або додавання кабелів у майбутньому, а також зручність протяжки. Для цього обирається тип і марка труби з урахуванням особливостей середовища: для промислових цехів доцільно використовувати металеві або товстостінні поліетиленові труби з підвищеною стійкістю до механічних і температурних впливів.

Далі здійснюється підбір внутрішнього діаметра труби згідно з табличними значеннями, що враховують кількість і тип прокладених проводів, а також їхній номінальний переріз. Наприклад, якщо прокладається кабель перерізом 95 мм², доцільно обирати трубу із внутрішнім діаметром не менше 60 мм, при цьому для кількох кабелів діаметр збільшується пропорційно. Додатково враховується мінімальний радіус вигину труби, що забезпечує збереження ізоляції кабелю під час монтажу, та наявність спеціальних фітингів і з'єднувачів для надійної герметизації стиків.

Крім механічної міцності, важливу роль відіграють показники пожежної стійкості та захисту від корозії. Для приміщень категорії ПП та можливих вологих зон оптимальним варіантом є оцинковані сталеві труби, які мають захист від корозії й витримують значні механічні навантаження. У місцях, де підвищені вимоги до гнучкості монтажу, допускається застосування пластикових труб з негорючого матеріалу з відповідним сертифікатом.

Завершальним етапом вибору труб є перевірка відповідності всіх елементів діючим стандартам та нормативним документам. Правильно підібрані труби для прокладки проводів гарантують безпеку персоналу, захист кабельних ліній від механічних пошкоджень і зовнішніх впливів, а також створюють умови для зручного та швидкого обслуговування електромережі цеху протягом усього періоду експлуатації. Обраний для групи фрезерувальних верстатів мідний кабель перерізом 95 мм² має типовий зовнішній діаметр $d = 38$ мм.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Визначення площі поперечного перерізу кабелю:

$$S_{\text{каб}} = (\pi \times d^2) / 4 = (3.14 \times 38^2) / 4 \approx 1134 \text{ мм}^2$$

Визначення мінімальної площі внутрішнього перерізу труби

(максимум 40% заповнення):

$$S_{\text{труби}} \geq S_{\text{каб}} / 0.4 = 1134 / 0.4 = 2835 \text{ мм}^2$$

Розрахунок внутрішнього діаметра труби:

$$\begin{aligned} S_{\text{труби}} &= (\pi \times D^2) / 4 \rightarrow D = \sqrt{(4 \times S_{\text{труби}}) / \pi} \\ &= \sqrt{(4 \times 2835) / 3.14} \approx \sqrt{3610} \approx 60 \text{ мм} \end{aligned}$$

Вибір стандартної труби: Найближчий типорозмір — труба з внутрішнім діаметром 63 мм (сталева або пластикова). Для одного кабелю 3×95 мм² доцільно застосовувати трубу з внутрішнім діаметром не менше 60 мм (рекомендовано 63 мм). Такий вибір забезпечує дотримання нормативних вимог до заповнення, охолодження та зручності монтажу. На основі виконаного розрахунку встановлено, що для безпечної та зручної прокладки мідного кабелю перерізом 95 мм² до групи фрезерувальних верстатів необхідно використовувати трубу з внутрішнім діаметром не менше 60 мм, при цьому оптимальним варіантом є стандартна труба діаметром 63 мм. Такий вибір гарантує дотримання нормативних вимог щодо максимально допустимого коефіцієнта заповнення, забезпечує достатнє охолодження кабелю, спрощує монтажні роботи та дозволяє у перспективі легко виконувати обслуговування або заміну електричних ліній у цеху.

6.3 Розрахунок і вибір перерізів провідників для живлення силових пунктів

Розрахунок і вибір перерізів провідників для живлення силових пунктів є обов'язковою процедурою при проектуванні системи електропостачання виробничого цеху, оскільки від правильності цього вибору залежить не лише енергоефективність, а й надійність та безпечність експлуатації всієї електричної мережі. На першому етапі розрахунку визначається сумарна потужність навантажень, які припадають на кожен силовий пункт. Для цього враховується

					ДП 2025 141	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

максимальне одночасне підключення обладнання у відповідних зонах, до яких підводиться живлення через СП. Після визначення повної потужності навантаження на силовий пункт за формулою $S = P / \cos\varphi$, де P — активна потужність, а $\cos\varphi$ — середній коефіцієнт потужності для групи обладнання, розраховується робочий струм відповідної лінії.

Для трифазної мережі струм визначають за формулою $I = S \times 1000 / (\sqrt{3} \times U)$, де S — повна потужність у кВА, U — лінійна напруга, а $\sqrt{3}$ — коефіцієнт для трифазної системи. Далі, відповідно до отриманого значення струму, обирається мінімально допустимий переріз провідника за табличними даними ПУЕ, ДСТУ або стандарту ІЕС. Вибір здійснюється із урахуванням матеріалу (мідь або алюміній), умов прокладки, способу монтажу, а також з поправкою на коефіцієнти навантаження для групових ліній, якщо такі мають місце. Додатково перевіряється відповідність вибраного перерізу нормам допустимого падіння напруги на ділянці кабелю, яке не повинно перевищувати, як правило, 3–5% від номіналу, а також здійснюється перевірка термічної стійкості провідника при можливих струмах короткого замикання.

Всі ці дії забезпечують не лише безпеку електропостачання, а й оптимальне співвідношення між капітальними витратами на прокладку кабелів і експлуатаційною надійністю системи. У підсумку вибраний переріз провідників для живлення силових пунктів дозволяє уникнути перевантажень і аварійних ситуацій, забезпечує стабільну роботу електрообладнання навіть у пікові моменти навантаження, а також відповідає сучасним вимогам до енергоефективності та економічної доцільності проєкту.

Вихідні дані: Сумарна активна потужність навантаження силового пункту становить 116,5 кВт, середній коефіцієнт потужності для групи обладнання дорівнює 0,6, а номінальна напруга трифазної мережі — 380 В.

На першому етапі визначаємо повну потужність:

$$S = P / \cos\varphi = 116,5 / 0,6 \approx 194,2 \text{ кВА}$$

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Далі визначаємо робочий струм лінії живлення:

$$I = (S \times 1000) / (\sqrt{3} \times U) = 194200 / (1,732 \times 380) \approx 295,1 \text{ А}$$

Вибір перерізу провідника виконується за допустимим струмом. Для такого струму при прокладці у виробничих приміщеннях згідно ПУЕ раціонально використовувати мідний кабель із перерізом 150 мм², оскільки допустимий тривалий струм для такого кабелю становить 320–340 А. Це дозволяє забезпечити надійну роботу навіть за незначного перевищення навантаження або підвищеної температури. Перевіряємо втрати напруги на кабельній лінії. Для розрахункової довжини кабелю 60 метрів і питомого опору міді

0,018

Ом×мм²/м:

$$\Delta U = (2 \times I \times L \times \rho) / S = (2 \times 295,1 \times 60 \times 0,018) / 150 \approx 42,5 \text{ В}$$

$$\text{Відносна втрата напруги: } \Delta U\% = (42,5 / 380) \times 100\% \approx 11,2\%$$

Оскільки втрати перевищують нормативне значення (максимум 5%), обираємо провідник більшого перерізу. Для мідного кабелю 240 мм² (допустимий струм — понад 400 А) падіння напруги буде:

$$\Delta U = (2 \times 295,1 \times 60 \times 0,018) / 240 \approx 26,6 \text{ В}$$

$$\Delta U\% = (26,6 / 380) \times 100\% \approx 7,0\%$$

Це також трохи перевищує норму. Якщо потрібно забезпечити норматив, слід або скоротити довжину лінії, або збільшити переріз до 300 мм², або застосувати дві паралельні лінії меншого перерізу, що технічно можливо для великих промислових навантажень. Для живлення силового пункту із сумарним струмом майже 300 А при довжині кабельної лінії 60 м найкращим рішенням буде використання двох паралельних мідних кабелів по 150 мм² або одного кабелю перерізом не менше 300 мм². Це забезпечить і допустимий струм, і обмежить втрати напруги у межах нормативів для надійного живлення потужних силових пунктів у виробничому цеху.

					ДП 2025 141	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ

7.1. Світлотехнічний розрахунок освітлювальної мережі

Світлотехнічний розрахунок освітлювальної мережі є одним із ключових етапів проектування електропостачання промислового цеху, оскільки від правильно підібраної системи освітлення залежить не лише комфорт і продуктивність праці, а й безпека персоналу та економічність експлуатації об'єкта. В основі цього розрахунку лежить визначення оптимальної кількості й типу світильників для досягнення нормативного рівня освітленості у робочих зонах. Спочатку встановлюється величина необхідної освітленості відповідно до чинних санітарних норм і стандартів, з урахуванням характеру виробничих процесів, категорії зорової роботи та висоти розміщення світильників.

Далі визначаються геометричні розміри приміщення цеху, що впливають на розрахунок коефіцієнта використання світлового потоку, а також характеристики внутрішньої обробки приміщення, які визначають коефіцієнт відбиття світла від стін, стелі та підлоги. Вибір типу джерела світла та світильників здійснюється з урахуванням енергоефективності, експлуатаційної надійності та рівня колірної температури, що відповідає умовам виробничої діяльності. Далі розраховується загальна потреба у світловому потоці за формулою, що враховує площу приміщення, нормативну освітленість, запас по зниженню світлового потоку та коефіцієнт використання світла.

Після цього визначається кількість світильників потрібної потужності й розподіляється їхнє розташування по приміщенню таким чином, щоб забезпечити рівномірний рівень освітленості без утворення тіней чи зон недостатньої освітленості.

					ДП 2025 141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ткаченко М.В.			7.Розрахунок електричного освітлення цеху		
Перевір.		Шпак В.В					
Реценз.		Грищенко Р.В					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М					
						Літ.	Арк.
							72
						Аркушів	
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3	

Важливим етапом є також підбір схеми електричного підключення, що відповідає вимогам пожежної безпеки та зручності експлуатації, а також перевірка відповідності проекту максимально допустимому навантаженню на освітлювальні лінії. Остаточна перевірка результатів розрахунку здійснюється шляхом порівняння отриманих значень з нормативними вимогами та, при необхідності, корекції кількості чи типу світильників для досягнення заданого рівня освітленості.

Розміри приміщення цеху складають $48 \times 28 \times 9$ м, норматив освітленості для механічного цеху — 300 лк.

1. Визначаємо площу приміщення:

$$S = 48 \text{ м} \times 28 \text{ м} = 1344 \text{ м}^2$$

2. Встановлюємо норматив освітленості (E):

$$E = 300 \text{ лк (згідно ДБН В. 2.5}$$

— 28: 2018 для робочих приміщень промислового призначення)

3. Приймаємо коефіцієнт запасу (K_z):

$$K_z = 1,5 \text{ (з урахуванням старіння ламп, забруднення тощо)}$$

4. Коефіцієнт використання світлового потоку (η):

$$\eta$$

= 0,5 (для люмінесцентних світильників у приміщеннях з білими стелями та світлими стінами)

5. Визначаємо необхідний загальний світловий потік:

$$F_{\text{заг}} = (E \times S \times K_z) / \eta = (300 \times 1344 \times 1,5) / 0,5 = 1\,209\,600 \text{ лм}$$

6. Вибираємо тип світильника:

Люмінесцентний світильник ЛПО46 з двома лампами ЛБ

— 80. Світловий потік однієї лампи — 5200 лм, від одного світильника — 10400 лм

7. Визначаємо необхідну кількість світильників:

$$N = F_{\text{заг}} / F_{\text{одн}} = 1\,209\,600 / 10\,400$$

$\approx 116,3$; приймаємо 119 світильників (7 рядів по 17 світильників)

					ДП 2025 141	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Визначаємо встановлену потужність освітлення:

$$P_{\text{осв}} = 119 \times 160 = 19\,040 \text{ Вт} = 19,04 \text{ кВт}$$

9. Питома потужність освітлення на 1 м^2 :

$$w = 19\,040 / 1344 \approx 14,2 \text{ Вт/м}^2$$

У цеху площею 1344 м^2 для досягнення нормативного рівня освітленості 300 лк доцільно встановити 119 люмінесцентних світильників типу ЛПО46 із двома лампами ЛБ-80, що забезпечить сумарний світловий потік понад 1,2 млн лм та встановлену потужність близько 19 кВт. Така система гарантує рівномірне та енергоефективне освітлення відповідно до вимог нормативної документації.

7.2. Розрахунок електричних навантажень освітлювальних установок

Розрахунок електричних навантажень освітлювальних установок є невід'ємною складовою проектування системи електропостачання будь-якого виробничого об'єкта, оскільки саме від правильного визначення цих навантажень залежить вибір кабельних ліній, захисної апаратури, автоматичних вимикачів і загальна енергоефективність мережі. На першому етапі розрахунку визначається загальна встановлена потужність усіх світильників, які заплановано змонтувати у виробничому приміщенні. Для цього множиться кількість світильників на потужність одного приладу, враховуючи як основне, так і аварійне або чергове освітлення, якщо це передбачено нормативами.

Важливим моментом є врахування коефіцієнта одночасності, який для освітлювальних навантажень, як правило, становить від 0,8 до 1, оскільки в робочих приміщеннях світильники зазвичай працюють одночасно. Далі визначається сумарний струм освітлювальної мережі для кожної ділянки або групи споживачів. При цьому використовується формула для розрахунку струму трифазної або однофазної мережі залежно від конфігурації освітлювальної системи. Для трифазного підключення струм розраховується як $I = P / (\sqrt{3} \times U \times \cos\phi)$, де P — активна потужність, U — лінійна напруга, $\cos\phi$ — коефіцієнт

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

потужності освітлювальної установки (для сучасних люмінесцентних і LED-систем він становить від 0,95 до 1,0).

Наступним кроком є врахування коефіцієнта запасу для освітлювальних навантажень, який покликаний компенсувати втрати на старіння ламп, можливі коливання напруги та вплив зовнішніх чинників, що можуть знизити ефективність освітлення. На підставі розрахованої потужності та струму освітлювальної мережі здійснюється підбір кабельної продукції, захисної апаратури та вибір схеми підключення, яка забезпечить належний рівень безпеки і надійності. Підсумковий розрахунок дозволяє точно визначити електричні навантаження освітлювальних установок, що є основою для подальшого проектування всієї системи електропостачання виробничого цеху. Виробничий цех обладнується 119 світильниками ЛПО46 із двома лампами ЛБ-80 потужністю 160 Вт кожен.

1. Визначення встановленої потужності:

$$P_{\text{вст}} = N \times P_{\text{одн}} = 119 \times 160 = 19\,040 \text{ Вт} = 19,04 \text{ кВт}$$

2. Врахування коефіцієнта одночасності:

Для виробничого цеху приймаємо $k_{\text{одн}} = 1$.

$$P_{\text{розр}} = P_{\text{вст}} \times k_{\text{одн}} = 19,04 \text{ кВт}$$

3. Коефіцієнт потужності:

Для люмінесцентних світильників $\cos\varphi = 0,95$.

4. Розрахунок робочого струму для трифазної мережі:

$$\begin{aligned} I &= P_{\text{розр}} / (\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi) = 19\,040 / (1,732 \times 380 \times 0,95) \\ &= 19\,040 / 624,34 \approx 30,5 \text{ А} \end{aligned}$$

5. Врахування коефіцієнта запасу:

$$k_{\text{зап}} = 1,1$$

$$P_{\text{розр,з}} = 19,04 \text{ кВт} \times 1,1 = 20,944 \text{ кВт}$$

$$I_{\text{з}} = 20\,944 / (1,732 \times 380 \times 0,95) = 20\,944 / 624,34 \approx 33,6 \text{ А}$$

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Встановлена потужність усіх світильників складає 19,04 кВт, розрахунковий струм освітлювальної мережі — близько 30,5 А, а з урахуванням коефіцієнта запасу — 33,6 А. Це дозволяє підібрати оптимальний переріз кабелю, автоматичні вимикачі та елементи мережі відповідно до навантаження, забезпечуючи надійність і безпеку експлуатації освітлювальної системи цеху.

					ДП 2025 141	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

8.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ є важливим етапом проектування системи електропостачання, оскільки ці значення визначають вибір та параметри захисної апаратури, а також впливають на вибір обладнання за стійкістю до електродинамічних і термічних впливів. Для проведення такого розрахунку спочатку визначаються всі складові опору між точкою короткого замикання та джерелом живлення, включаючи повний опір трансформатора, повітряної або кабельної лінії, шин і апаратури.

На першому етапі визначається приведений до напруги 10 кВ еквівалентний опір мережі у нормальному режимі. Це включає опір джерела (підстанції глибокого вводу), опір трансформатора та опір лінії від підстанції до трансформаторної підстанції цеху. Кожен із цих опорів переводиться до одного і того ж класу напруги, як правило, до 10 кВ, що дозволяє коректно виконати подальші розрахунки.

Розрахунок струму трифазного короткого замикання проводиться за формулою $I_{кз} = U_{ф} / (Z_1 + Z_2 + Z_{тр} + Z_{л})$, де $U_{ф}$ — фазна напруга (для 10 кВ, це $10\,000 / \sqrt{3} \approx 5773$ В), Z_1 — приведений опір джерела живлення, Z_2 — опір шин і з'єднувальної апаратури, $Z_{тр}$ — повний опір обмотки трансформатора на стороні 10 кВ, $Z_{л}$ — опір лінії живлення між підстанцією і ТП. Опори визначаються на основі паспортних або довідникових даних для конкретного типу обладнання.

Після підстановки усіх значень у формулу визначають максимальний та мінімальний струми короткого замикання, що можуть виникнути у різних точках мережі.

					ДП 2025 141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ткаченко М.В.			8.Розрахунок струмів короткого замикання		
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
						Літ.	Арк.
							77
						Аркушів	
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3	

Розрахунок мінімального струму передбачає врахування найгірших умов — максимальної довжини лінії, мінімального напруги джерела, максимального опору контактів. Результати розрахунків дозволяють вибрати відповідні трансформатори струму, автоматичні вимикачі, розрахувати параметри релейного захисту, а також оцінити електродинамічну й термічну стійкість усіх елементів мережі 10 кВ для забезпечення безаварійної експлуатації енергосистеми підприємства.

Номінальна напруга мережі $U = 10$ кВ.

Потужність трансформатора $S_{\text{тр}} = 1000$ кВА.

Відстань від підстанції глибокого вводу до цехової ТП — 7 км.

Опір лінії на 1 км — $Z_{\text{лін}} = 0,4$ Ом/км.

Опір джерела (підстанції глибокого вводу) $Z_{\text{дж}} = 1$ Ом.

Фазна напруга: $U_{\text{ф}} = U / \sqrt{3} = 10\,000 / 1,732 \approx 5774$ В.

1. Розрахунок повного опору трансформатора:

$$(uk \times U^2) / (100$$

$\times S_{\text{тр}})$, де uk — відносна напруга короткого замикання (6% для типової моделі).

$$Z_{\text{тр}} = (6 \times (10\,000)^2) / (100 \times 1\,000\,000) = 6 \, \Omega$$

2. Розрахунок повного опору лінії живлення:

$$Z_{\text{л}} = L \times Z_{\text{лін}} = 7 \times 0,4 = 2,8 \, \Omega$$

3. Опір джерела живлення:

$$Z_{\text{дж}} = 1 \, \Omega$$

4. Повний опір до місця КЗ:

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{дж}} + Z_{\text{л}} + Z_{\text{тр}} = 1 + 2,8 + 6 = 9,8 \, \Omega$$

5. Розрахунок струму трифазного короткого замикання:

$$I_{\text{кз}} = U_{\text{ф}} / Z_{\Sigma} = 5774 / 9,8 \approx 589 \, \text{А}$$

6. Розрахунок мінімального струму КЗ (якщо сумарний опір мережі 13 Ом):

$$I_{\text{кз}}(\text{min}) = 5774 / 13 \approx 444 \, \text{А}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний струм трифазного короткого замикання на шині 10 кВ складає приблизно 589 А, а мінімальний — 444 А. Ці розрахунки використовуються для вибору параметрів вимикачів, захисної автоматики та перевірки електродинамічної і термічної стійкості обладнання на стороні 10 кВ. Усі елементи системи повинні відповідати цим величинам для забезпечення безаварійної роботи електропостачання цеху.

8.2. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 0,4 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 0,4 кВ є обов'язковим етапом при проектуванні системи електропостачання, оскільки від отриманих значень залежать вибір захисної апаратури, параметри автоматичних вимикачів, кабельних ліній і перевірка їхньої термічної та електродинамічної стійкості. Для коректного розрахунку насамперед визначається схема приєднання, потужність та характеристики трансформатора, тип і довжина кабельної лінії, а також значення опорів усіх елементів ланцюга від точки живлення до точки можливого короткого замикання.

На першому етапі визначається еквівалентний опір трансформатора на стороні 0,4 кВ, який розраховується за паспортними даними або типовим значенням напруги короткого замикання. Далі до цього опору додається опір кабельної лінії від трансформатора до точки КЗ, що залежить від матеріалу, довжини та перерізу провідника. При потребі враховуються також опори збірних шин і додаткових елементів, проте для основних розрахунків вони часто не мають суттєвого впливу.

Після визначення суми всіх опорів розраховується струм трифазного короткого замикання за формулою $I_{кз} = U_{\phi} / Z_{\Sigma}$, де U_{ϕ} — фазна напруга мережі 0,4 кВ (це $400 / \sqrt{3} \approx 231$ В), а Z_{Σ} — загальний опір усіх елементів від джерела живлення до точки КЗ, приведених до напруги 0,4 кВ. Струм КЗ визначається для найближчої точки до трансформатора (максимальний), а також для віддалених точок лінії (мінімальний струм КЗ).

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Результати розрахунків аналізуються для перевірки відповідності кабельної продукції, апаратури, захисних пристроїв та автоматів вимогам електробезпеки та термостійкості. Одержані значення струмів короткого замикання дозволяють гарантувати вибір таких технічних рішень, які забезпечують надійний захист мережі й обладнання у разі виникнення аварійних режимів, а також підтверджують відповідність проекту сучасним нормативам у галузі електропостачання.

Номінальна напруга низької сторони трансформатора $U_{\text{л}} = 0,4 \text{ кВ}$.

Потужність трансформатора $S_{\text{тр}} = 1000 \text{ кВА}$.

Відносна напруга короткого замикання трансформатора $u_k = 6\%$.

Довжина кабелю від трансформатора до точки КЗ: $L = 50 \text{ м}$.

Матеріал кабелю — мідь, переріз $S = 95 \text{ мм}^2$.

Питомий опір міді $\rho = 0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

Фазна напруга $U_{\text{ф}} = 400 / \sqrt{3} \approx 231 \text{ В}$.

1. Розрахунок повного опору трансформатора на стороні 0,4 кВ:

$Z_{\text{тр}} = (u_k \times U^2) / (100 \times S_{\text{тр}})$, де U — лінійна напруга (В)

$$Z_{\text{тр}} = (6 \times (400)^2) / (100 \times 1000 \times 10^3)$$

$$= (6 \times 160000) / 100000000 = 0,0096 \text{ Ом}$$

Типовий опір трансформатора 1000 кВА, $u_k = 6\%$

$\approx 0,023 \text{ Ом}$ (з довідників).

Приймаємо $Z_{\text{тр}} = 0,023 \text{ Ом}$.

2. Розрахунок опору кабелю (50 м, 95 мм², мідь):

$$R_{\text{каб}} = (\rho \times L) / S = (0,018 \times 50) / 95 \approx 0,0095 \text{ Ом}$$

Опір трифазного кола:

$$Z_{\text{каб}} = 2 \times R_{\text{каб}} = 2 \times 0,0095 = 0,019 \text{ Ом}$$

3. Сумарний опір до точки КЗ:

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{тр}} + Z_{\text{каб}} = 0,023 + 0,019 = 0,042 \text{ Ом}$$

4. Розрахунок струму трифазного короткого замикання:

$$I_{\text{кз}}(0,4) = U_{\text{ф}} / Z_{\Sigma} = 231 / 0,042 \approx 5500 \text{ А}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Мінімальний струм КЗ у віддаленій точці (кабель 150 м):

$$R_{\text{каб}}(150) = (0,018 \times 150) / 95 \approx 0,0284 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{каб}}(150) = 2 \times 0,0284 = 0,0568 \text{ Ом}$$

$$Z\Sigma(\text{min}) = Z_{\text{тр}} + Z_{\text{каб}}(150) = 0,023 + 0,0568 = 0,0798 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{кз}}(\text{min}) = 231 / 0,0798 \approx 2\,895 \text{ А}$$

Струм трифазного короткого замикання на шині 0,4 кВ біля трансформатора становить близько 5 500 А, а у віддаленій точці лінії довжиною 150 м — приблизно 2 900 А. Ці результати визначають вимоги до захисту та апаратури низьковольтної мережі цеху.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

9. ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ТА ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА НАПРУГУ 10 КВ І ПЕРЕВІРКА ЇХ ДО ДІЇ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

9.1. Вибір і перевірка провідників напругою 10 кВ

Вибір і перевірка провідників напругою 10 кВ є одним із найбільш відповідальних етапів проектування системи електропостачання промислових об'єктів, оскільки саме ці кабелі чи повітряні лінії забезпечують надійність, безпеку і довговічність роботи усієї електричної мережі. Основним критерієм вибору провідника служить розрахунковий струм навантаження, який визначається на основі максимальної споживаної потужності підприємства або окремої ділянки мережі. Після визначення номінального струму обирається тип провідника — мідний або алюмінієвий, з ізоляцією для прокладки у ґрунті, кабельних лотках, блоках чи для повітряної прокладки, залежно від інженерних рішень проекту.

На першому етапі виконуються розрахунки за тривало допустимим струмом згідно з таблицями ПУЕ чи ДСТУ, де для кожного типу провідника, перерізу і способу прокладки наведені граничні значення допустимого струму. Враховуються також поправочні коефіцієнти на температуру навколишнього середовища, кількість паралельних ліній, глибину прокладки в ґрунті й тип ґрунту, оскільки вони суттєво впливають на тепловідвід провідника. Вибір ведеться так, щоб реальний струм навантаження не перевищував допустимий тривалий струм для обраного перерізу кабелю, причому завжди залишають запас не менше 10-15% для можливого збільшення потужності в майбутньому.

Крім струмового навантаження, провідник обов'язково перевіряють на допустимі втрати напруги, які не повинні перевищувати 5% від номінальної напруги на довгих ділянках.

					ДП 2025 141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ткаченко М.В.			Літ. Арк. Аркушів 82 ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					

Розрахунок падіння напруги здійснюється з урахуванням довжини траси, питомого опору матеріалу, перерізу і характеру струму, що протікає по лінії. У разі перевищення допустимого значення обирається провідник більшого перерізу або коригується схема прокладки.

Окремо виконують перевірку провідника на термічну стійкість до струмів короткого замикання. Для цього визначають максимальний можливий струм КЗ, тривалість його протікання до моменту відключення захисту і розраховують нагрів провідника за цей час. Провідник вважається обраним вірно, якщо його допустима теплова стійкість перевищує фактичне тепловиділення за час дії КЗ. Додатково враховують умови навколишнього середовища — рівень вологості, можливість механічних пошкоджень, вплив корозії або агресивних середовищ, що також впливає на вибір марки кабелю, типу ізоляції та конструктивного виконання.

Довжина лінії $L = 7$ км.

Розрахунковий струм навантаження $I = 60$ А ($S_{тр} = 1000$ кВА, $I \approx 58$ А, приймаємо з запасом).

Тип прокладки — кабель у землі.

Матеріал — алюміній.

Температура ґрунту — $+21$ °С.

Допустиме падіння напруги — не більше 5% від 10 кВ (тобто 500 В).

1. Вибір провідника за тривалим струмом

Згідно ПУЕ, для алюмінієвого кабелю марки ААШв, прокладеного у землі:

25 мм² — 86 А, 35 мм² — 105 А, 50 мм² — 125 А.

Розрахунковий струм дозволяє обрати 35 мм², однак для резерву і зменшення втрат напруги беремо 50 мм².

2. Розрахунок падіння напруги

Питомий опір алюмінію: $\rho = 0,028$ Ом · мм²/м.

Падіння напруги (трифазне коло):

$$\Delta U = (\sqrt{3} \times I \times \rho \times L) / S$$

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

де $I = 60 \text{ А}$, $L = 7\,000 \text{ м}$, $S = 50 \text{ мм}^2$, $\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

$$\Delta U = (1,732 \times 60 \times 0,028 \times 7000) / 50$$

$$\Delta U = (1,732 \times 60 \times 196) / 50$$

$$1,732 \times 60 = 103,92$$

$$103,92 \times 196 = 20368,32$$

$$20368,32 / 50 = 407,37 \text{ В}$$

$$\Delta U\% = (407,37 / 10\,000) \times 100\% \approx 4,1\%$$

Падіння напруги не перевищує норматив, тому кабель 50 мм^2 допустимий.

3. Перевірка на термічну стійкість до струмів короткого замикання

Максимальний струм короткого замикання $I_{кз} = 6000 \text{ А}$

Час спрацювання захисту $t = 1 \text{ с}$

Розрахунок:

$$S_{min} = (I_{кз} \times \sqrt{t}) / k$$

де k — коефіцієнт для алюмінію (94)

$$S_{min} = 6000 / 94 \approx 63,8 \text{ мм}^2$$

Фактичний переріз — 50 мм^2 , менший за необхідний.

Для термічної стійкості слід взяти 70 мм^2 .

4. Остаточний вибір

Кабель ААШв $3 \times 70 \text{ мм}^2$ — допустимий тривалий струм 150 А ,

Падіння напруги:

$$\Delta U = (1,732 \times 60 \times 0,028 \times 7000) / 70 = 291 \text{ В}$$

$$\Delta U\% = (291 / 10\,000) \times 100\% \approx 2,9\%$$

Для лінії 10 кВ довжиною 7 км та струму до 60 А доцільно застосувати алюмінієвий кабель перерізом не менше 70 мм^2 , що забезпечує відповідність нормативам за тривалим струмом, втратами напруги і термічною стійкістю до коротких замикань.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

9.2. Вибір і перевірка високовольтних шин

Вибір і перевірка високовольтних шин є одним із ключових етапів проєктування системи електропостачання промислового об'єкта, оскільки саме шини є основною частиною збірних пристроїв на підстанціях і в розподільних пристроях напругою 6–10 кВ. Головна вимога до шин – здатність тривалий час пропускати номінальний струм без надмірного нагрівання, а також витримувати короточасні електродинамічні й термічні впливи під час аварійних режимів. Від правильного вибору перерізу та конструкції шин залежить як надійність і безпека, так і довговічність всієї електроустановки.

Першим кроком вибору шин є визначення максимального робочого струму, який буде протікати через шини у найнавантажениший режим роботи. Зазвичай його приймають з урахуванням одночасної роботи найбільш потужних споживачів і можливих резервних потоків. На основі цього значення добирається матеріал шин (мідь чи алюміній), конструкція (трубчаста, плоска або гнучка шина), а також розміри – площа поперечного перерізу та ширина.

Згідно з нормативними документами та стандартами, обирається тип і розмір шин так, щоб допустимий тривалий струм для обраної конструкції був не менший за розрахунковий. Особлива увага приділяється умовам охолодження, розміщенню шин у закритих чи відкритих розподільних пристроях, а також можливості вентиляції чи природного охолодження. Для алюмінієвих шин, які частіше використовують на високій напрузі, значення допустимого струму визначаються за відповідними таблицями з урахуванням температури довкілля та допустимого підвищення температури.

Крім перевірки на тривалий струм, високовольтні шини обов'язково перевіряють на термічну та електродинамічну стійкість до дії струмів короткого замикання. Розраховують максимальний імпульсний струм КЗ і визначають, чи зможе вибрана шина витримати короточасне нагрівання і механічні сили, які виникають під час короткого замикання. Для цього виконують розрахунок максимально допустимої щільності струму, перевіряють розміри, механічну жорсткість, спосіб кріплення та опору шин до дії зусиль.

					ДП 2025 141	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned} \text{Максимальний робочий струм } I_n &= S_{\text{тр}} / (\sqrt{3} \times U) \\ &= 1000 \text{ кВА} / (1,732 \times 10 \text{ кВ}) \approx 57,7 \text{ А} \end{aligned}$$

Матеріал шин — алюміній

Температура довкілля + 25 °C

Довжина шини — 10 м

Струм короткого замикання $I_{\text{кз}} = 6000 \text{ А}$

Тривалість КЗ $t = 1 \text{ с}$

1. Вибір перерізу шини за допустимим тривалим струмом

Для алюмінієвої шини прямокутного перерізу 30

$$\times 4 \text{ мм}^2 (120 \text{ мм}^2) \text{ допустимий струм } \sim 105 \text{ А.}$$

Наш робочий струм 58 А,

тому шина з добрим запасом відповідає вимогам.

2. Перевірка втрати напруги вздовж шини

Питомий опір алюмінію $\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

$$R_{\text{шини}} = (\rho \times L) / S = (0,028 \times 10) / 120 = 0,00233 \text{ Ом}$$

Падіння напруги: $\Delta U = I_n \times R_{\text{шини}} = 58 \times 0,00233$

$$\approx 0,135 \text{ В}$$

Відносне падіння: $\Delta U\% = (0,135 / 10\,000) \times 100\%$

$$= 0,00135\%$$

Падіння напруги не впливає на якість електроенергії.

3. Перевірка термічної стійкості до струмів КЗ

$S_{\text{min}} = (I_{\text{кз}} \times \sqrt{t}) / k$, де k для алюмінію = 94

$$S_{\text{min}} = (6000 \times 1) / 94 \approx 63,8 \text{ мм}^2$$

Наш фактичний переріз 120 мм²

> 63,8 мм² — термічна стійкість гарантована.

1. Перевірка електродинамічної стійкості

Для струму КЗ 6000 А при прольоті між опорами

≤ 1,5 м стандартна шина 30

× 4 мм² забезпечує необхідну жорсткість і механічну стійкість,

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

якщо фіксувати її ізоляторними опорами через 1–1,5 м.

Для головної шини розподільчого пристрою 10 кВ рекомендовано алюмінієву шину 30×4 мм², яка забезпечує запас за тривалим струмом, відповідає вимогам по падінню напруги, термічній та електродинамічній стійкості, що гарантує надійну експлуатацію системи.

9.3. Вибір і перевірка опорних ізоляторів

Вибір і перевірка опорних ізоляторів є обов’язковим етапом проектування високовольтних розподільчих пристроїв, адже саме ці елементи забезпечують надійну електричну ізоляцію та механічну підтримку шин, струмопровідних частин і апаратури у мережах напругою 6–10 кВ. Основними критеріями при виборі опорного ізолятора є його номінальна напруга, електрична міцність, механічна міцність, кліматичне виконання, а також відповідність вимогам пожежної та електричної безпеки. На першому етапі аналізу визначають номінальну робочу напругу розподільчого пристрою, після чого підбирають тип ізолятора відповідно до стандарту, наприклад, ІО-10 для систем 10 кВ.

Далі здійснюється перевірка електричної міцності ізолятора. Вона має перевищувати робочу напругу системи із необхідним запасом, тобто бути стійкою до імпульсних перенапруг і короткочасних перевищень робочого режиму. Перевіряється рівень випробувальної напруги змінного струму, а також імпульсної напруги, що наведені у паспорті виробу чи в стандарті для вибраного класу ізоляції. Особливу увагу приділяють здатності ізолятора працювати при впливі атмосферних перенапруг, а також у забруднених або вологих умовах, якщо це передбачено умовами експлуатації.

Після цього обов’язково виконується перевірка механічної міцності ізолятора, тобто його здатності витримувати механічні навантаження, які виникають від маси шин, апаратури, електродинамічних сил при короткому замиканні або монтажних робіт. Нормується мінімальна розрахункова руйнівна сила на вигин чи стиск, яка для систем 10 кВ зазвичай складає від 5 до 8 кН

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

залежно від типу ізолятора. Для шин із великим прольотом або вагою застосовують ізолятори підвищеної міцності чи встановлюють додаткові опори.

Вибраний ізолятор також має відповідати кліматичному виконанню для захисту від вологи, пилу, агресивних середовищ, а у разі встановлення на відкритому повітрі — бути стійким до ультрафіолетового випромінювання та низьких температур. Всі ці показники перевіряються згідно з паспортними даними та відповідністю стандарту. Після проведення всіх перевірок вибирають оптимальну кількість опорних ізоляторів і їх розташування так, щоб забезпечити необхідну механічну жорсткість та електричну ізоляцію шинної системи і всього розподільчого пристрою. Такий підхід дозволяє гарантувати тривалу, безпечну і надійну експлуатацію електроустановки у всіх можливих умовах роботи.

Робоча напруга пристрою: 10 кВ

Робочий струм шин: 58 А

Струм короткого замикання: 6000 А

Вага шини (алюмінієва 30

× 4 мм², довжина прольоту між опорами 1,2 м): приблизно 1,3 кг/м

Кількість шин на одну фазу: 1

Кліматичне виконання: УЗ (закриті розподільчі пристрої)

1. Вибір типу опорного ізолятора

Для розподільчих пристроїв 10 кВ застосовується опорний ізолятор типу ІО
, номінальна напруга — 10 кВ.

2. Перевірка електричної міцності

Ізолятор ІО

— розрахований на номінальну напругу 10 кВ і випробовується
змінною напругою 42 кВ (1 хв), а також імпульсною напругою 75 кВ.

Це у 4,2–7,5 рази більше робочої напруги,

що забезпечує запас для роботи під дією перенапруг і імпульсів.

Перевірка механічної міцності

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

Маса однієї ділянки шини між опорами (1,2 м):

$$\text{Маса} = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}} \times 1,2 \text{ м} = 1,56 \text{ кг} \approx 16 \text{ Н} (1 \text{ кг} \approx 9,81 \text{ Н})$$

Максимальне електродинамічне зусилля при КЗ:

$F_{\text{ел}} \approx 1,5\text{--}2 \text{ кН}$ (за стандартними розрахунками для шин 10 кВ, струму КЗ 6000 А, довжини 1,2 м, відстані між фазами 0,25 м)

Механічна міцність ізолятора ІО—

не менше 8 кН на вигин, що значно перевищує фактичні навантаження.

1. Перевірка кліматичного виконання і стійкості

Ізолятор ІО – стійкий до вологості, пилу, температур від – 45 до + 40 °С, хімічної корозії та ультрафіолету.

2. Остаточний вибір і розміщення

Кількість ізоляторів обирають із розрахунку не більше 1,2 м між опорами.

Для 10

– метрової шини потрібно 9 ізоляторів на фазу для забезпечення жорсткості й надійної підтримки.

Опорний ізолятор ІО-10 повністю відповідає вимогам за електричною міцністю, механічною стійкістю, кліматичним виконанням і забезпечує надійну ізоляцію та підтримку шин у РП-10 кВ. Таке рішення гарантує довговічність і безпечну експлуатацію електроустановки.

9.4. Вибір і перевірка вимикача навантаження та запобіжника

Вибір і перевірка вимикача навантаження та запобіжника є одним із ключових етапів забезпечення електробезпеки і надійної експлуатації електроустановок середньої напруги, зокрема у системах 6–10 кВ. Головна вимога до вимикача навантаження полягає у його здатності тривало пропускати номінальний робочий струм лінії або трансформатора, забезпечувати надійне комутаційне відключення під навантаженням, а також бути пристосованим до короточасних аварійних навантажень — тобто коротких замикань. При виборі

					ДП 2025 141	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

типу та номіналу вимикача насамперед враховується розрахунковий робочий струм, який визначається за потужністю трансформатора або лінії, та максимальний можливий струм короткого замикання у точці встановлення апарата.

Важливим етапом є перевірка вибраного вимикача навантаження на здатність комутувати як номінальний струм, так і струми, близькі до струму короткого замикання (так званий струм відключення). Для цього порівнюють паспортний струм відключення апарата зі значенням максимального розрахункового струму короткого замикання у даній точці мережі. Якщо реальний струм КЗ перевищує можливості вимикача, необхідно обрати апарат більшої комутаційної здатності або передбачити координацію із запобіжником, який обмежує струм при аварії.

Вибір запобіжника для мереж 10 кВ здійснюється з урахуванням його номінального струму, який повинен бути не меншим за розрахунковий робочий струм лінії чи трансформатора, але й не набагато більшим, щоб забезпечити селективне та надійне спрацювання при перевантаженнях або коротких замиканнях. Запобіжник також перевіряють на здатність відключати максимальний струм КЗ, що може виникнути у системі. Важливо, щоб час спрацювання запобіжника відповідав вимогам до термічної та електродинамічної стійкості обладнання, розташованого після нього, та гарантував мінімальне пошкодження елементів електромережі у разі аварії.

Додатково враховується відповідність типу вимикача навантаження та запобіжника умовам експлуатації — можливість установки у приміщеннях з підвищеною вологістю, пилом, а також відповідність стандартам і наявність маркування для конкретного класу напруги. Остаточна перевірка полягає у розрахунковому аналізі струмів спрацювання, перевантаження, відключення КЗ та селективності захисту для забезпечення надійної, безпечної й довговічної роботи всієї системи електропостачання.

					ДП 2025 141	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номінальна напруга мережі $U = 10$ кВ

Потужність трансформатора $S = 1000$ кВА

Розрахунковий струм навантаження:

$$I_H = S / (\sqrt{3} \times U) = 1000 \times 1000 / (1,732 \times 10\,000) \approx 57,7 \text{ А}$$

Струм трифазного короткого замикання в точці встановлення апарата $I_{кз} = 6000$ А

Вибір вимикача навантаження за номінальним струмом
Обираємо вимикач навантаження із номінальним струмом не меншим, ніж розрахунковий робочий струм лінії. Наприклад, вакуумний вимикач ВНА-10-100/630 з номіналом 630 А (у 10 разів більше за робочий струм) забезпечить надійність у всіх режимах.

Перевірка вимикача за струмом відключення
Вимикач ВНА-10 має паспортний струм відключення до 20 кА, що у 3,3 раза перевищує максимальний струм КЗ (6 кА). Отже, він надійно спрацює при будь-якому короткому замиканні.

Вибір запобіжника за номінальним струмом
Запобіжник обирають із номінальним струмом, який не менший за робочий, але мінімально перевищує його. Для струму 58 А — стандартний запобіжник ПТ-10-63 на 63 А.

Перевірка запобіжника за струмом відключення
Паспортний струм відключення для ПТ-10-63 — до 31,5 кА. Це у 5 разів перевищує наш максимальний струм КЗ, тобто запобіжник спрацює гарантовано навіть при найгіршому аварійному режимі.

Перевірка селективності захисту
Вимикач навантаження та запобіжник мають таку селективність, що при невеликому перевантаженні спрацює вимикач, а при струмі КЗ — запобіжник. Час спрацювання запобіжника для струму 6 кА не перевищує 0,1 с, що зменшує ризик пошкодження кабелів та обладнання.

					ДП 2025 141	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка відповідності умовам експлуатації

Обрані апарати мають клас ізоляції для 10 кВ, розраховані на роботу у закритих РУ, стійкі до впливу вологи, пилу та температурних коливань.

Для лінії 10 кВ оптимально використовувати вакуумний вимикач ВНА-10 на 630 А (струм відключення 20 кА) у парі із запобіжником ПТ-10-63 (63 А, 31,5 кА). Така комбінація гарантує селективний і надійний захист лінії, трансформатора та всієї електроустановки від аварійних режимів і перевантажень.

					ДП 2025 141	Арк.
						92
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. ВИБІР РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

10.1 Розрахунок струмової відсічки

Розрахунок струмової відсічки є ключовим елементом у проектуванні релейного захисту систем електропостачання, оскільки саме ця функція дозволяє швидко й ефективно відключити аварійну ділянку мережі при виникненні струмів короткого замикання, мінімізуючи шкоду для обладнання та персоналу. Головна задача струмової відсічки — забезпечити гарантоване й селективне спрацювання захисту саме при виникненні КЗ, але не реагувати на короточасні перевантаження чи пускові струми обладнання.

На першому етапі визначається максимальний розрахунковий струм короткого замикання у контрольованій точці мережі. Це значення зазвичай отримується з попередніх розрахунків короткого замикання для розподільчих пристроїв і трансформаторів. Далі вибирається встановлюваний струм спрацювання струмової відсічки, який повинен бути не меншим, ніж найбільший можливий струм навантаження на даній ділянці, але й не меншим, ніж мінімальний струм КЗ, який може виникнути на віддалених кінцях захищуваної ділянки.

Типово струм спрацювання струмової відсічки встановлюють з урахуванням максимального робочого струму із запасом не менше ніж у 1,2–1,5 разу, щоб уникнути помилкових спрацювань на перевантаження чи пускові струми. Остаточню виставляють уставку спрацювання відсічки на рівні 0,5–0,7 мінімального струму КЗ на віддаленому кінці ділянки, щоб гарантувати спрацювання захисту у будь-якому місці пошкодження.

					ДП 2025 141						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	10.Вибір релейного захисту та автоматики елементів системи електропостачання			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Ткаченко М.В.									
Перевір.		Шпак В.В.								93	
Реценз.		Грищенко Р.В.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			
Н. Контр.											
Затверд.		Балюта С.М.									

Всі розрахунки виконуються за формулою визначення струму уставки струмової відсічки, порівнюючи її з можливими експлуатаційними режимами. Після підбору уставки проводиться перевірка селективності захисту — чи буде струмова відсічка відключати лише ту ділянку, де виникло КЗ, не зачіпаючи суміжні ділянки мережі або трансформатори, забезпечуючи таким чином надійність та безперебійність енергопостачання решти об'єкта.

Остаточню перевіряється швидкодія обраної схеми захисту, яка для струмової відсічки має становити не більше 0,1–0,15 с для мінімізації часу впливу аварійного струму. Всі ці етапи гарантують, що система струмового захисту працюватиме ефективно та надійно, оберігаючи обладнання від пошкодження, а об'єкт — від небезпечних аварійних ситуацій.

Номинальна напруга мережі $U = 10 \text{ кВ}$

Потужність трансформатора $S = 1000 \text{ кВА}$

Номинальний робочий струм трансформатора:

$$I_n = S / (\sqrt{3} \times U) = 1000 \times 1000 / (1,732 \times 10\,000) \approx 57,7 \text{ А}$$

Мінімальний струм короткого замикання на шині 10 кВ (віддалений кінець):

$$I_{K3, \min} = 444 \text{ А}$$

Максимальний струм короткого замикання (найближча точка):

$$I_{K3, \max} = 589 \text{ А}$$

Вибір уставки струмової відсічки з урахуванням робочого струму щоб захист не спрацював при пускових режимах чи короткочасних перевантаженнях, уставку приймають із запасом:

$$I_{\text{уставка}} \geq 1,2 \times I_n = 1,2 \times 57,7 = 69,2 \text{ А}$$

Вибір уставки за мінімальним струмом короткого замикання щоб захист гарантовано спрацював навіть при КЗ у найдальшій точці ділянки, уставку не можна брати більше ніж 0,7 мінімального струму КЗ:

$$I_{\text{уставка}} \leq 0,7 \times I_{K3, \min} = 0,7 \times 444 = 310,8 \text{ А}$$

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

Остаточний вибір уставки струмової відсічки

Таким чином, уставка повинна знаходитися у діапазоні:

$$69,2 \text{ A} \leq I_{\text{уставка}} \leq 310,8 \text{ A}$$

Зазвичай для такої ділянки доцільно обирати уставку у межах 200–250 А.

Це дозволить захисту спрацювувати лише при дійсному КЗ і уникати помилкових відключень при пусках чи перевантаженнях.

Перевірка селективності та швидкодії

Час спрацювання струмової відсічки приймається мінімальним — не більше 0,1 с. Такий час забезпечує швидке відключення ділянки при КЗ, мінімізуючи вплив аварійного режиму на інше обладнання і зменшуючи ймовірність ушкоджень.

Для трансформатора 1000 кВА у мережі 10 кВ рекомендується уставка струмової відсічки у межах 200–250 А із часом спрацювання 0,05–0,1 с. Це забезпечує селективний, надійний і швидкий захист від КЗ без помилкових відключень у нормальних режимах роботи.

10.2 Розрахунок максимального струмового захисту

Розрахунок максимального струмового захисту є обов'язковим етапом під час проектування релейного захисту систем електропостачання, особливо для трансформаторних підстанцій та розподільчих пристроїв середньої напруги. Основна мета максимального струмового захисту — забезпечити швидке автоматичне відключення живлення у разі виникнення аварійного режиму з перевищенням допустимого струму, а також гарантувати захист лінії або трансформатора від тривалих перевантажень чи коротких замикань.

Першим етапом є визначення розрахункового навантаження та номінального робочого струму ділянки, яку необхідно захищати. Далі, на основі потужності трансформатора або лінії, розраховують номінальний струм навантаження. Вибір уставки максимального струмового захисту здійснюється з урахуванням коефіцієнта запасу, що дозволяє уникнути помилкових спрацювань

					ДП 2025 141	Арк.
						95
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

під час пуску електродвигунів чи короточасних перевантажень, але забезпечує надійне відключення у разі аварії. Зазвичай уставку для максимального струмового захисту встановлюють на рівні 1,2–1,3 номінального робочого струму, щоб гарантувати відсутність хибних відключень при короточасних перевантаженнях або технологічних пусках.

Далі визначають мінімальний струм короткого замикання у найвіддаленішій точці захищуваної ділянки та перевіряють, чи обрана уставка захисту менша за цей струм. Це гарантує, що максимальний струмовий захист спрацює при будь-якому короткому замиканні в межах своєї зони відповідальності. Також важливо врахувати селективність — захист має спрацьовувати тільки при аваріях на своїй ділянці і не реагувати на аварії за межами своєї відповідальності. Це досягається правильним вибором уставок і часів спрацювання для кожної ділянки або апарата в системі.

Час спрацювання максимального струмового захисту встановлюється залежно від відстані до точки короткого замикання: чим ближче до джерела, тим менше встановлюється час затримки. Для трансформаторів і ліній 10 кВ типовий час затримки становить від 0,2 до 1 секунди, залежно від конфігурації мережі та вимог селективності.

Остаточна перевірка полягає у моделюванні роботи захисту при різних аварійних і робочих режимах, щоб упевнитися у його надійності, чіткості й відсутності помилкових спрацювань. Такий підхід забезпечує стабільну й безпечну роботу електроустановки, попереджує пошкодження обладнання і підвищує рівень електробезпеки об'єкта.

Номінальна напруга мережі $U = 10 \text{ кВ}$

Потужність трансформатора $S = 1000 \text{ кВА}$

Номінальний робочий струм трансформатора:

$$I_n = S / (\sqrt{3} \times U) = 1000 \times 1000 / (1,732 \times 10\,000) \approx 57,7 \text{ А}$$

Мінімальний струм короткого замикання на шині 10 кВ:

$$I_{K3, \min} = 444 \text{ А}$$

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

Максимальний струм короткого замикання на шині 10 кВ:

$$I_{K3, \max} = 589 \text{ А}$$

1. Вибір уставки максимального струмового захисту за робочим струмом
Уставку максимального струмового захисту обирають із запасом, щоб не реагувати на пускові струми чи короточасні перевантаження. Зазвичай приймають коефіцієнт запасу 1,2–1,3:

$$I_{уст} = k_{зап} \times I_n$$

$$\text{де } k_{зап} = 1,2 \div 1,3$$

$$I_{уст} = 1,3 \times 57,7 \approx 75 \text{ А}$$

2. Перевірка уставки по струму короткого замикання

Уставка повинна бути меншою за мінімальний струм КЗ у зоні захисту, тобто:

$$I_{уст} < I_{K3, \min} = 444 \text{ А}$$

Наше значення 75 А значно менше, тобто вимога дотримана.

3. Вибір часу спрацювання

Для забезпечення селективності захисту встановлюють час затримки. Для трансформатора 10 кВ можна приймати 0,5–1 секунди, залежно від конфігурації мережі й необхідної координації з іншими захистами.

4. Остаточна перевірка

Обрана уставка максимального струмового захисту 75 А більша за робочий струм трансформатора (58 А), але суттєво менша за мінімальний струм короткого замикання (444 А). Це гарантує, що захист не спрацює при штатних перевантаженнях або пусках, але ефективно відключить ділянку у разі аварійного режиму.

Для трансформатора 1000 кВА у мережі 10 кВ доцільно встановити уставку максимального струмового захисту на рівні 75 А із затримкою спрацювання 0,5–1 секунди. Такий вибір забезпечить селективний і надійний захист від перевантажень та коротких замикань, підвищить безпеку й надійність експлуатації обладнання.

					ДП 2025 141	Арк.
						97
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. ОРГАНІЗАЦІЯ ОБЛІКУ ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВАННЯ

Організація обліку та вимірювання режимних параметрів системи електроживлення є одним із найважливіших аспектів ефективного функціонування сучасних енергетичних об'єктів і промислових підприємств. Якісний облік і точне вимірювання основних параметрів електричних мереж забезпечують прозорість споживання електроенергії, підвищують енергоефективність виробництва, дають змогу оперативно виявляти відхилення у роботі обладнання, а також гарантують дотримання нормативних вимог з боку енергопостачальної компанії та державних органів контролю.

Першочергове завдання — це впровадження сучасних систем комерційного та технічного обліку електроенергії. Комерційний облік охоплює всі точки прийому та передачі електроенергії, і дозволяє точно визначати кількість спожитої або переданої електричної енергії для взаєморозрахунків між енергопостачальниками, підприємствами та іншими споживачами. Для цього використовують сучасні багатотарифні електролічильники, що ведуть реєстрацію споживання за різними періодами доби, з можливістю дистанційного зчитування даних через системи автоматизованого збору та передачі інформації. Усі вузли комерційного обліку повинні бути сертифікованими та відповідати чинним стандартам з метрології та енергетики.

Паралельно з комерційним обліком функціонує технічний облік, який дозволяє здійснювати детальний контроль за роботою окремих секцій, підрозділів чи обладнання всередині підприємства.

					ДП 2025 141						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Ткаченко М.В.						Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Шпак В.В								98	
Реценз.		Грищенко Р.В						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ 4-3			
Н. Контр.											
Затверд.		Балюта С.М									

Для цього встановлюють додаткові прилади — трансформатори струму й напруги, аналізатори якості електроенергії, багатоканальні реєстратори, контролери, а також модулі локальних АСКОЕ. Технічний облік дозволяє виявляти приховані втрати, контролювати витрати на кожній технологічній ділянці, своєчасно визначати перевищення лімітів, розбалансування фаз, погіршення якості напруги чи частоти.

Важливою складовою системи вимірювання є організація постійного моніторингу режимних параметрів — напруги, струму, потужності, коефіцієнта потужності, частоти, гармонік, енергоспоживання за певний період часу. Всі ці параметри контролюються за допомогою сучасних приладів і систем диспетчеризації, які забезпечують як локальний, так і централізований збір даних у режимі реального часу. Це дозволяє своєчасно реагувати на аварійні та нештатні ситуації, впроваджувати оптимізаційні стратегії управління навантаженням, підвищувати ефективність використання електроенергії та знижувати експлуатаційні витрати.

Особлива увага приділяється інтеграції систем обліку з інформаційними мережами підприємства, впровадженню єдиних протоколів збору та обробки інформації, застосуванню захищених каналів зв'язку для запобігання несанкціонованому доступу до даних. Регулярно здійснюється метрологічна перевірка всіх засобів вимірювальної техніки та моніторинг їх технічного стану, щоб гарантувати достовірність і точність отриманих результатів.

Сучасні системи автоматизованого збору даних з вузлів обліку дозволяють не лише отримувати інформацію про загальний обсяг спожитої електроенергії, а й здійснювати оперативний контроль динаміки споживання у реальному часі. Це відкриває можливості для впровадження енергоменеджменту на підприємстві, аналізу пікових та провальних навантажень, виявлення неефективного використання обладнання чи резервів для енергозбереження. Власні диспетчерські центри або віддалені аналітичні служби можуть отримувати повний зріз по об'єкту з деталізацією за кожною технологічною ділянкою, підрозділом чи навіть окремими видами технологічного процесу. На основі

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

отриманих даних формується звітність, що дозволяє оцінити ефективність прийнятих енергозберігаючих заходів, коригувати графіки роботи технологічного обладнання, планувати капітальні та поточні ремонти з урахуванням реального стану електрообладнання.

У системах електроживлення великого промислового підприємства впроваджується концепція багаторівневого контролю. На рівні головної підстанції відбувається фіксація основних балансів, а на внутрішньоцехових рівнях забезпечується пофазний та погодинний облік із залученням спеціалізованих програмних продуктів для зручної візуалізації й аналізу масивів інформації. Дані автоматично накопичуються у спеціалізованих базах даних, що дозволяє здійснювати довгострокове порівняння, аналіз тенденцій і прогнозування подальших змін у структурі споживання.

Важливо відзначити, що автоматизований контроль режимних параметрів і облікових даних значно підвищує оперативність виявлення позаштатних ситуацій, дає змогу швидко локалізувати причину аварії чи неякісної роботи окремого обладнання, мінімізує час простоїв та знижує загальні втрати виробництва. На практиці це дозволяє підприємству уникати штрафів від енергокомпаній за перевищення договірних лімітів чи низьку якість електроенергії, а також підтримувати стабільність та прогнозованість виробничих процесів навіть за умов зростання цін чи дефіциту енергоресурсів.

Розвиток технологій в обліку і вимірюванні параметрів електроенергії не обмежується лише впровадженням цифрових лічильників чи дистанційного збору інформації. Все ширше використовуються програмно-апаратні комплекси із функціями інтелектуального аналізу, прогнозування пікових навантажень, автоматичного керування розподілом електроенергії, що дозволяє оптимізувати споживання й підвищити ефективність роботи всієї електроенергетичної системи підприємства. Такий підхід забезпечує не лише контроль і прозорість енергоспоживання, але й стає інструментом для підвищення конкурентоспроможності підприємства у сучасних ринкових умовах.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

12. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

12.1. Показники якості електричної енергії

Показники якості електричної енергії є комплексною характеристикою, що визначає здатність електричної мережі забезпечувати споживачів напругою та струмом, параметри яких відповідають встановленим державними і міжнародними стандартами нормам. До основних показників якості електроенергії належать стабільність величини напруги, частоти, форми кривої напруги й струму, а також відсутність надлишкових відхилень, гармонічних спотворень і короточасних переривань живлення. Всі ці параметри безпосередньо впливають на ефективність і безпеку роботи електрообладнання, його довговічність, а також на рівень енергоспоживання і виробничих втрат.

Стабільність напруги в мережі є одним із ключових показників якості електроенергії, оскільки надмірні коливання, зниження або підвищення напруги можуть призвести до неправильного функціонування, зниження ресурсу або навіть аварійної зупинки обладнання. У промислових і побутових мережах допускаються відхилення напруги не більше ніж $\pm 10\%$ від номінального значення, і постійний контроль цього показника дозволяє своєчасно виявляти й усувати проблеми в системі електроживлення.

Частота електричної енергії в Україні повинна відповідати стандарту 50 Гц, а її допустимі відхилення, як правило, становлять не більше $\pm 0,2$ Гц. Зміна частоти безпосередньо пов'язана з балансом виробництва й споживання електроенергії у масштабах енергосистеми. Зниження частоти свідчить про дефіцит потужності, тоді як підвищення — про її надлишок, і обидва явища негативно впливають на роботу чутливого обладнання.

					ДП 2025 141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ткаченко М.В.			12.Якість електричної енергії в системі електроспоживання		
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
						Літ.	Арк.
							Аркушів
							101
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ 4-3	

Форма кривої напруги та струму також є важливим показником, оскільки вона має бути максимально близькою до синусоїдальної. Внесення до синусоїди гармонічних складових через роботу нелінійних споживачів, електроприводів, імпульсних джерел живлення призводить до гармонічних спотворень, які вимірюються коефіцієнтом гармонік. Якщо цей коефіцієнт перевищує норматив (зазвичай не більше 5 %), це може призвести до перегріву електродвигунів, спрацювання релейного захисту, втрат у трансформаторах та зниження ККД обладнання.

Короткочасні провали, переривання або перенапруги — ще одна група показників якості електроенергії. Вони виникають внаслідок аварій, комутаційних процесів, коротких замикань у мережі або підключення потужних навантажень. Такі явища призводять до збоїв у роботі автоматики, втрати даних, псування електроніки, а у виробничих умовах — до простоїв і фінансових втрат. Особливо небезпечними є багаторазові сплески перенапруг, які можуть суттєво скоротити термін служби обладнання або навіть викликати його миттєве пошкодження.

Крім цього, до показників якості електроенергії належать також дисбаланс фаз напруги та струму, флікер — тобто мерехтіння світла, яке виникає через періодичні зміни навантаження, і рівень імпульсних завад у мережі. Усі ці параметри підлягають постійному контролю з боку енергопостачальних організацій і споживачів, оскільки забезпечення належної якості електроенергії є запорукою надійної, безпечної й економічно вигідної експлуатації енергосистеми та її обладнання.

Належний рівень якості електроенергії не лише гарантує коректну роботу всіх електротехнічних і електронних систем, а й сприяє зменшенню витрат на ремонт та обслуговування обладнання, підвищує енергоефективність виробничих процесів і загалом забезпечує стабільність технологічного циклу на підприємстві.

Номинальна напруга мережі: 10 кВ

Фактично виміряна напруга: 9,75 кВ

Номинальна частота: 50 Гц

Фактично виміряна частота: 49,92 Гц

Виміряні гармоніки:

1-а гармоніка (основна): 9,75 кВ

3-тя гармоніка: 0,12 кВ

5-та гармоніка: 0,08 кВ

7-ма гармоніка: 0,03 кВ

Виміряні напруги по фазах:

Фаза А: 9,80 кВ

Фаза В: 9,75 кВ

Фаза С: 9,70 кВ

Короткочасний флікерний індекс (Pst): 0,7

Довгостроковий флікерний індекс (Plt): 0,4

1. Визначення відхилення напруги від номінальної

$$\Delta U = (U_{\text{фактична}} - U_{\text{номінальна}}) / U_{\text{номінальна}} \times 100\%$$

$$\Delta U = (9,75 - 10) / 10 \times 100\% = -2,5\%$$

Відхилення напруги -2,5 % знаходиться у межах допустимого ($\pm 10\%$).

2. Визначення відхилення частоти

$$\Delta f = f_{\text{фактична}} - f_{\text{номінальна}} = 49,92 - 50 = -0,08 \text{ Гц}$$

$$\Delta f\% = -0,08 / 50 \times 100\% = -0,16\%$$

Відхилення частоти також відповідає нормативу ($\pm 0,2$ Гц).

3. Розрахунок коефіцієнта гармонічних спотворень (THD)

$$\text{THD} = \sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2} / U_1 \times 100\%$$

$$\text{THD} = \sqrt{0,12^2 + 0,08^2 + 0,03^2} / 9,75 \times 100\% = \sqrt{0,0217} / 9,75 \times 100\% \approx 1,51\%$$

Коефіцієнт гармонік знаходиться у межах допустимого значення ($\leq 5\%$).

					ДП 2025 141	Арк.
						103
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Оцінка дисбалансу фаз напруги

$$U_{\text{ср}} = (9,80 + 9,75 + 9,70) / 3 = 9,75 \text{ кВ}$$

$$\Delta U_{\text{max}} = |9,80 - 9,75| = 0,05 \text{ кВ}$$

$$\Delta U_d = 0,05 / 9,75 \times 100\% \approx 0,51\%$$

Дисбаланс не перевищує нормативу ($\leq 2\%$).

5. Розрахунок рівня флікеру

Pst: 0,7; Plt: 0,4. Допустимі рівні: Pst ≤ 1 , Plt $\leq 0,8$. Флікер не перевищує нормативу.

Усі розраховані показники якості електроенергії — напруга, частота, рівень гармонік, дисбаланс фаз і флікер — відповідають встановленим нормам і свідчать про якісну роботу системи електропостачання цеху, а також відсутність негативного впливу на обладнання.

12.2. Розрахунок втрат напруги

Розрахунок втрат напруги є одним з найважливіших етапів проектування та експлуатації систем електропостачання, оскільки від цього залежить якість електроенергії, стабільність роботи обладнання і відповідність мережі нормативним вимогам. Основна мета такого розрахунку — визначити величину падіння напруги на окремих ділянках електричної мережі від джерела живлення до найбільш віддаленого споживача, а також оцінити, чи не перевищує це значення допустимі межі, встановлені стандартами для даного класу напруги.

В першу чергу визначають параметри мережі — довжину ділянки, переріз і матеріал провідника, а також значення струму, що протікає по цій ділянці. Всі ці дані беруться з проекту або за результатами вимірювань у реальній експлуатації. Далі розрахунок виконується за основною формулою втрат напруги для однофазної або трифазної лінії. Для трифазної системи використовується вираз, який враховує активний і реактивний опір провідників:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I \times (R \times \cos\varphi + X \times \sin\varphi),$$

де ΔU — втрата напруги у вольтах, I — струм навантаження на ділянці, R — активний опір провідника на всій довжині ділянки, X — реактивний опір провідника, $\cos\varphi$ та $\sin\varphi$ — коефіцієнти потужності навантаження.

Активний опір провідника обчислюють як добуток питомого опору матеріалу, довжини лінії та зворотного значення площі поперечного перерізу. Для алюмінієвого проводу довжиною 100 метрів і перерізом 25 мм² опір буде визначатися як

$$R = \rho \times l / S,$$

де ρ — питомий опір матеріалу (для алюмінію приблизно 0,028 Ом·мм²/м), l — довжина лінії в метрах, S — площа поперечного перерізу в мм². Реактивний опір для кабелів з типового проекту визначається за табличними значеннями або спеціальними формулами, оскільки залежить від конструкції кабелю й прокладки.

Після визначення загальних втрат напруги для обраної ділянки порівнюють отримане значення з максимально допустимою величиною. Для більшості розподільчих мереж низької напруги допустиме падіння не повинно перевищувати 5 % від номінального значення напруги. У разі перевищення цієї межі проєктом передбачається збільшення перерізу провідників або скорочення довжини лінії, а також можливе встановлення додаткових пунктів живлення.

В кінцевому підсумку виконаний розрахунок дозволяє оптимізувати вибір перерізу кабелів, оцінити реальні експлуатаційні витрати та гарантувати стабільну та безпечну роботу всього електротехнічного комплексу підприємства, а також своєчасно попереджати й уникати проблем, пов'язаних з надмірним падінням напруги.

Довжина лінії: 100 м

Переріз провідника: 25 мм²

Матеріал провідника: алюміній

Питомий опір алюмінію: 0,028 Ом·мм²/м

Струм навантаження: 58 А

$\cos\varphi = 0,85$

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

$$\sin\varphi = \sqrt{(1 - \cos^2\varphi)} = \sqrt{(1 - 0,85^2)} = \sqrt{(1 - 0,7225)} = \sqrt{0,2775} \approx 0,527$$

Реактивний опір на 1 км: 0,08 Ом/км

Довжина в кілометрах: 0,1 км

Номінальна напруга мережі: 400 В

1. Розрахунок активного опору провідника:

$$R = \rho \times l / S = 0,028 \times 100 / 25 = 0,028 \times 4 = 0,112 \text{ Ом}$$

2. Розрахунок реактивного опору:

$$X = X_0 \times l_{\text{км}} = 0,08 \times 0,1 = 0,008 \text{ Ом}$$

3. Розрахунок втрат напруги для трифазної мережі:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I \times (R \times \cos\varphi + X \times \sin\varphi)$$

$$\Delta U = 1,732 \times 58 \times (0,112 \times 0,85 + 0,008 \times 0,527)$$

$$0,112 \times 0,85 = 0,0952$$

$$0,008 \times 0,527 = 0,0042$$

$$0,0952 + 0,0042 = 0,0994$$

$$\Delta U = 1,732 \times 58 \times 0,0994 \approx 100,456 \times 0,0994 \approx 9,99 \text{ В}$$

4. Відносне падіння напруги:

$$\delta U = \Delta U / U_{\text{ном}} \times 100\%$$

$$\delta U = 9,99 / 400 \times 100\% = 2,5\%$$

Падіння напруги на обраній ділянці становить 9,99 В або 2,5 % від номінальної напруги, що менше допустимого значення 5 %. Це означає, що переріз кабелю вибрано правильно, і електроживлення споживача відповідає нормативним вимогам.

					ДП 2025 141	Арк.
						106
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці у виробничому цеху з обробки корпусних деталей заводу металоконструкцій є комплексною системою організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних, соціально-економічних і правових заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності працівників під час виконання ними трудових обов'язків. Основою для впровадження ефективної системи охорони праці є чинне законодавство України, вимоги Державних будівельних норм, галузеві стандарти та інструкції з безпечної експлуатації обладнання і проведення технологічних процесів.

Перед початком роботи всі працівники проходять обов'язковий вступний інструктаж з питань охорони праці, де їм роз'яснюють основні правила безпеки, ознайомлюють із потенційними виробничими ризиками, розповідають про порядок дій у надзвичайних ситуаціях, порядок користування засобами індивідуального захисту, евакуаційними шляхами та протипожежними системами. Після цього працівники отримують первинний, повторний і позаплановий інструктаж безпосередньо на робочому місці з урахуванням особливостей технологічного обладнання та умов виробництва.

Технічна безпека забезпечується впровадженням захисного заземлення всіх електроустановок, використанням якісних ізоляційних матеріалів, автоматичних вимикачів, запобіжників і пристроїв захисного відключення. Особлива увага приділяється належному стану вентиляції, аспіраційних систем і загального мікроклімату, оскільки під час роботи з металевими деталями, зварюванням і шліфуванням утворюється пил, дим, а також виділяються шкідливі гази, які можуть негативно вплинути на здоров'я персоналу. Обов'язковим є проведення регулярних перевірок і технічного обслуговування всіх систем життєзабезпечення виробництва, зокрема електромереж, вентиляції, пожежної сигналізації та первинних засобів пожежогасіння.

					ДП 2025 141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	13.Охорона праці		
Розроб.		Ткаченко М.В					
Перевір.		Шпак В.В					
Реценз.		Грищенко Р.В					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ 4-3		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						107	

Організація безпечної праці вимагає раціонального розміщення обладнання, належного освітлення робочих місць, чіткого зонування території цеху для розмежування руху персоналу і транспорту, зберігання матеріалів, відходів та легкозаймистих речовин. Робітники забезпечуються сертифікованими засобами індивідуального захисту — спеціальним одягом, взуттям, респіраторами, захисними окулярами, рукавицями тощо. Окреме місце відведено дотриманню ергономіки робочого місця та режиму праці й відпочинку для профілактики професійних захворювань і зменшення рівня травматизму.

Кожен співробітник повинен мати доступ до інструкцій з охорони праці, а керівництво несе відповідальність за організацію та проведення навчання, розробку та оновлення документації, розслідування нещасних випадків, аналіз виробничого травматизму, а також впровадження коригуючих заходів. На підприємстві постійно здійснюється контроль за дотриманням вимог охорони праці, ведеться журнал реєстрації інструктажів, оформлюються акти технічного огляду обладнання, проводяться тематичні заходи та навчання з пожежної та електробезпеки.

13.1. Обґрунтування безпечного розміщення електрообладнання

Безпечне розміщення електрообладнання у цеху з обробки корпусних деталей заводу металоконструкцій визначає не лише загальний рівень промислової безпеки, а й стабільність та ефективність функціонування всієї системи електропостачання. Умови розміщення електросилового обладнання безпосередньо залежать від конструктивних особливостей приміщення, рівня його пожежо- та вибухонебезпечності, технологічного процесу, а також від навколишнього середовища, мікроклімату, наявності пилу, вологи, агресивних середовищ та ймовірності механічних ушкоджень.

В основі прийняття рішень щодо встановлення електрообладнання лежать державні будівельні норми, правила улаштування електроустановок, вимоги охорони праці та промислової санітарії, які регламентують розміри безпечних проходів, мінімальні відстані між електротехнічними пристроями,

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

легкодоступність для обслуговування, огляду і ремонту. Встановлення щитового, трансформаторного чи кабельного обладнання повинно виконуватися таким чином, щоб забезпечувати безперешкодний доступ до органів керування та аварійного відключення, при цьому уникати перехрещень з трубопроводами, вентиляційними каналами, зонами переміщення вантажів і транспорту. Електрощитові і розподільчі пристрої розміщують в окремих спеціалізованих приміщеннях або нішах із захистом від пилу, вологи та прямих сонячних променів, на стінах з негорючих матеріалів, із застосуванням протипожежних перегородок.

Кабельні лінії прокладають з урахуванням категорії приміщення, ступеня механічного захисту й електричної ізоляції, обираючи оптимальний спосіб монтажу — у коробах, лотках, по стінах, під підлогою чи у підземних каналах.

Для запобігання виникненню перегріву кабелі не повинні стикатися між собою щільно, а всі точки їх входу та виходу із захисних каналів герметизують, щоб виключити потрапляння вологи та пилу. Особлива увага приділяється місцям входу кабельних трас до електрощитів та обладнання: тут обов'язково встановлюються гумові чи пластикові втулки, а самі кабелі закріплюють спеціальними кріпленнями для зняття напруги, спричиненої їх власною вагою чи випадковими механічними впливами.

У процесі монтажу електрообладнання повинно враховуватися дотримання зон безпечного обслуговування, які визначаються радіусом дії електричних полів, наявністю джерел підвищеної небезпеки та індивідуальними особливостями технологічного процесу. Усі ділянки електромережі, до яких можливий випадковий доступ сторонніх осіб, огорожують, маркують і обладнують попереджувальними табличками, а на потенційно небезпечних вузлах встановлюють засоби аварійного відключення електроживлення. Для підключення всіх стаціонарних споживачів електроенергії використовуються якісні клемні з'єднання, що дозволяє мінімізувати ймовірність виникнення дугових розрядів, коротких замикань чи локального нагріву контактів.

Критичним є питання організації системи захисного заземлення та занулення, що виконується згідно вимог ПУЕ для кожної одиниці обладнання відповідної категорії напруги, особливо для обладнання з металевими корпусами. Усі корпуси електрообладнання, металеві лотки й конструкції повинні бути надійно заземлені із забезпеченням неперервності електричного кола заземлення по всій довжині кабельних трас.

13.2. Організаційні та технічні заходи, питання маркування, огляд та техобслуговування кабельних ліній

Організаційні та технічні заходи з охорони праці при експлуатації кабельних ліній у виробничих цехах спрямовані на створення безпечних умов роботи для персоналу, запобігання нещасним випадкам, збереження цілісності обладнання та забезпечення надійності електропостачання. Особливе значення надається комплексному підходу, який поєднує регламентовані організаційні процедури з впровадженням технічних засобів безпеки і систематичним контролем стану електричних мереж.

Усі роботи, пов'язані з монтажем, оглядом, технічним обслуговуванням та ремонтом кабельних ліній, виконуються тільки працівниками, які мають відповідний рівень електротехнічної підготовки, підтверджений атестацією та допуском до роботи в електроустановках певної категорії напруги. Керівник підрозділу зобов'язаний призначити відповідальних осіб за електрогосподарство, організувати періодичне навчання та інструктажі з охорони праці, а також впровадити систему внутрішнього контролю за дотриманням вимог безпеки під час усіх видів робіт з кабельними трасами.

Кожен працівник повинен бути забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту — діелектричними рукавичками, взуттям, інструментом з ізолюючими ручками, переносними заземленнями та іншими пристроями, що відповідають чинним стандартам.

					ДП 2025 141	Арк.
						110
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маркування кабельних ліній є обов'язковою вимогою для ідентифікації призначення, напруги та умов експлуатації кожного окремого кабелю. Кожна лінія повинна бути чітко позначена за допомогою табличок або бирок, на яких зазначаються тип кабелю, його призначення, точка початку і завершення, номінальна напруга, рік прокладки і допустимі навантаження. Маркування розміщується на обох кінцях кабелю, у місцях проходження через стіни, перекриття, а також у місцях розгалужень, що дозволяє швидко ідентифікувати лінію при обслуговуванні або ліквідації аварій. Особливу увагу приділяють маркуванню ліній, що проходять у важкодоступних місцях, підземних каналах або разом з іншими кабелями, щоб виключити можливість переплутування при виконанні монтажних чи ремонтних робіт.

Регламентований періодичний огляд кабельних ліній дозволяє вчасно виявляти дефекти ізоляції, сліди механічних ушкоджень, наявність перегріву, сторонніх підключень або корозії на металевих елементах. В процесі експлуатації кабелі піддаються впливу агресивних середовищ, вологи, механічних навантажень і вібрацій, тому регулярний контроль їх стану є необхідною умовою безпеки всієї електромережі. Огляд включає перевірку наявності та цілісності маркування, стану ізоляції, правильності укладання у лотках чи коробах, герметичності введів у щитове обладнання та відсутності зовнішніх пошкоджень. При виявленні дефектів або невідповідності технічним вимогам кабель негайно виводиться з експлуатації, проводиться його локальний або повний ремонт із оформленням відповідних актів.

Технічне обслуговування кабельних ліній передбачає проведення профілактичних заходів, що включають вимірювання опору ізоляції, перевірку цілісності металевих оболонок, випробування підвищеною напругою, а також моніторинг температурного режиму в зонах із підвищеним навантаженням. За результатами технічного обслуговування складається журнал реєстрації, в якому фіксуються всі проведені роботи, зауваження та рекомендації щодо подальшої експлуатації або модернізації ліній. Використання сучасних систем

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

автоматизованого моніторингу дозволяє оперативно реагувати на будь-які зміни у стані кабельних трас, зменшуючи ризики виникнення аварійних ситуацій.

Комплексний підхід до організаційних та технічних заходів, чітке маркування, регулярний огляд та своєчасне технічне обслуговування є запорукою безаварійної роботи електричних мереж, збереження життя і здоров'я працівників, а також ефективного використання енергетичних ресурсів підприємства.

13.3. Індивідуальне завдання

ЗАВДАННЯ 16. Визначення струму через тіло людини при дотику до струмопровідної частини

Вихідні дані (*варіант 16.8*):

$U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ — лінійна напруга мережі.

$R_{\text{л}} = 1,5 \text{ Ом}$ — опір петлі «фаза-нуль».

$R_{\text{тіл}} = 1000 \text{ Ом}$ — опір тіла людини.

Розрахунок:

Загальний опір у колі становить:

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{л}} + R_{\text{тіл}} = 1,5 + 1000 = 1001,5 \text{ Ом}$$

Струм через тіло людини при однофазному дотику до струмопровідної частини:

$$I = U_{\text{л}} / R_{\text{заг}} = 380 / 1001,5 \approx 0,3795 \text{ А}$$

Такий струм є смертельно небезпечним для людини, оскільки перевищує порогові значення навіть для короткочасного контакту.

ЗАВДАННЯ 17. Визначення допустимого опору заземлення при наявності повторного заземлення PEN-провідника

Вихідні дані (*варіант 17.8*):

$U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$ — фазна напруга.

$R_{\text{л}} = 1,5 \text{ Ом}$ — опір лінії.

$R_{\text{повт}} = 10 \text{ Ом}$ — опір повторного заземлення PEN-провідника.

$R_{\text{зах}} = ?$ — шуканий опір заземлення.

					ДП 2025 141	Арк.
						112
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок:

Для забезпечення безпечної напруги дотику $U_{\text{доп}} = 50 \text{ В}$
застосовують умову:

$$U_{\text{доп}} = I * R_{\text{зах}}$$

де I — струм замикання на корпус:

$$I = U_{\text{л}} / (R_{\text{л}} + R_{\text{повт}} + R_{\text{зах}})$$

Підставимо в рівняння:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{л}} / (R_{\text{л}} + R_{\text{повт}} + R_{\text{зах}}) * R_{\text{зах}}$$

Звідси:

$$R_{\text{зах}} = (U_{\text{доп}} * (R_{\text{л}} + R_{\text{повт}})) / (U_{\text{л}} - U_{\text{доп}})$$

Підставимо числові значення:

$$R_{\text{зах}} = (50 * (1,5 + 10)) / (220 - 50) = (50 * 11,5) / 170 \approx 3,38 \text{ Ом}$$

Отже, допустимий опір заземлення не повинен перевищувати 3,38 Ом.

У *варіанті 16.8* встановлено, що при дотику до струмопровідної частини можливий струм через тіло людини понад 0,37 А, що вимагає використання надійних засобів захисту, таких як ПЗВ (пристрій захисного вимкнення). У *варіанті 17.8* розраховано, що для безпечного функціонування системи заземлення опір заземлювального пристрою повинен бути не більше 3,38 Ом. Це дозволяє забезпечити безпечну напругу дотику не більше 50 В згідно з нормативами.

14. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ АСКОЕ.

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) є ключовим інструментом у сучасній енергетиці, що дозволяє ефективно обліковувати витрати електричної енергії, забезпечуючи прозорість, контроль витрат та оперативне виявлення відхилень у споживанні. У виробничих умовах, таких як ремонтно-механічний цех, де функціонує велика кількість енергетично навантаженого обладнання, впровадження АСКОЕ забезпечує можливість моніторингу споживання як у реальному часі, так і в розрізі окремих агрегатів, виробничих зон або приміщень.

Проект передбачає впровадження АСКОЕ у цеху, який отримує живлення від трансформаторної підстанції, розташованої на відстані 150 метрів. Підстанція, у свою чергу, живиться від підстанції глибокого вводу напругою 10 кВ, що забезпечує живлення цеху та інших об'єктів підприємства. З огляду на наявність обладнання 2-ї та 3-ї категорії надійності електропостачання, система АСКОЕ повинна враховувати функціональне резервування джерел живлення або автоматичне перемикавання на резервне живлення у разі втрати основного.

Генеральний план цеху дозволяє провести зонування обліку відповідно до розташування основних споживачів. Основні електроспоживачі, згідно з таблицями, включають зварювальні апарати, токарні та фрезерувальні верстати, електротермічні установки, крани та допоміжне устаткування в окремих приміщеннях (вентиляційна, лабораторія, пакувальне відділення тощо). Важливим є також облік електроспоживання побутових приміщень, вентиляції та лабораторій, адже їхні режими роботи суттєво відрізняються від основного виробничого навантаження.

					ДП 2025 141			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ткаченко М.В.			14.Індивідуальне завдання.Впровадження та обслуговування систем АСКОЕ		Літ.	Арк.
Перевір.		Шпак В.В						Аркушів
Реценз.		Грищенко Р.В						114
Н. Контр.							ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ 4-3	
Затверд.		Балюта С.М						

Необхідно передбачити встановлення лічильника з модулем передачі даних. Найбільш доцільним у даних умовах є використання лічильників, що підтримують протокол передачі даних по каналу Huawei або GSM/GPRS, із забезпеченням інтеграції в єдину мережу. Лічильники встановлюються в щитах силових пунктів або безпосередньо біля силових шаф з урахуванням електробезпеки та температурного режиму. Система АСКОЕ повинна забезпечити збір, накопичення, обробку та передачу інформації про споживання електроенергії з інтервалом обліку щонайменше 30 хвилин, що дає змогу оцінювати навантаження по змінах і оперативно коригувати роботу.

Особливу увагу слід приділити точності лічильників та їхньому класу, що має відповідати класу 0,5S або вищому для забезпечення точності комерційного обліку. Також система має бути захищена від зовнішніх електромагнітних перешкод, перепадів напруги та збоїв у зв'язку. Передбачено впровадження централізованого серверу збору та зберігання даних із забезпеченням захисту пароллями та криптографічними засобами.

Доцільним буде запровадження автономної роботи системи АСКОЕ у період нестабільних ситуацій в країні. Пропоную встановлення малої потужності фото модулів сонячної станції, під'єднання двох основних та двох резервних інвенторів, смарт лічильника та розумного контролера для обробки даних. При такій конфігурації, оператор зможе дистанцій керувати, спостерігати за датчиками на станках, обладнанні і вести дистанційний моніторинг всіх систем. Також це передбачає аварійну запинку, захист від аварійних ситуацій.

На етапі впровадження АСКОЕ передбачається розроблення схеми обліку, яка включає вибір точок обліку, вибір типів лічильників, розроблення кабельних трас для обміну даними, встановлення комунікаційних пристроїв, впровадження програмного забезпечення для збору та обробки даних. Важливо також забезпечити навчання персоналу, який буде обслуговувати систему, а також розробити регламент регулярного технічного обслуговування, перевірки лічильників та заміни у разі виявлення відхилень.

З урахуванням двозмінного режиму роботи підприємства, система повинна дозволяти побудову добових графіків споживання електроенергії, аналіз пікових навантажень і нерівномірності споживання. Це дозволить оптимізувати використання електроенергії, зменшити навантаження в пікові періоди, а також знизити витрати за рахунок уникнення штрафних санкцій за перевищення договірних навантажень.

Загалом впровадження АСКОВЕ у даному цеху дозволить забезпечити контроль над витратами електроенергії, виявляти нераціональне споживання, підвищити енергоефективність виробництва та забезпечити відповідність нормативним вимогам до комерційного обліку електроенергії на підприємствах промислового типу.

1. Розрахунок електричних навантажень ремонтно-механічного цеху

1. Вихідні дані:

Розміри цеху: 48 м × 28 м × 9 м

Кількість змін роботи: 2

Температура ґрунту: +21°C

Тип приміщення: ПП

Відстань до ТП: 150 м

Напруга живлення: 10 кВ

2. Розрахунок розрахункової активної потужності кожної групи електроспоживачів:

Формула для активної потужності з урахуванням коефіцієнта попиту:

$$P_{\text{розр}} = \sum P_{\text{номінальна}} \times k_{\text{попиту}}$$

Приклад для зварювальних апаратів:

$$P_{\text{ном}} = 48 \text{ кВт}, k = 0.25$$

$$P_{\text{розр}} = 48 \times 0.25 = 12 \text{ кВт}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						116
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Повна потужність:

Формула: $S = P / \cos\varphi$

Для зварювальних апаратів:

$$S = 12 / 0.4 = 30 \text{ кВА}$$

4. Реактивна потужність:

Формула:

$$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}$$

$$Q = \sqrt{(30^2 - 12^2)} = \sqrt{(900 - 144)} = \sqrt{756} \approx 27.5 \text{ кВАр}$$

5. Навантаження окремих приміщень:

Сума:

$$P_{\text{доп}} = 48 + 5 + 45 + 15 + 2 + 25 + 10 = 150 \text{ кВт}$$

$$\cos\varphi = 0.85$$

$$S = 150 / 0.85 \approx 176.5 \text{ кВА}$$

$$Q = \sqrt{(176.5^2 - 150^2)} \approx 93 \text{ кВАр}$$

6. Загальне повне навантаження цеху:

$$P_{\text{заг}} = 125.7 + 150 = 275.7 \text{ кВт}$$

$$S_{\text{заг}} = 202.9 + 176.5 = 379.4 \text{ кВА}$$

$$Q_{\text{заг}} = 163.3 + 93 = 256.3 \text{ кВАр}$$

7. Розрахунок струму при напрузі 0.4 кВ:

Формула:

$$I = S \times 10^3 / (\sqrt{3} \times U)$$

$$I = 379400 / (\sqrt{3} \times 400) \approx 547.6 \text{ А}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						117
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 14.1

Відомість електричних навантажень ремонтно-механічного цеху

Номери на плані цеху	Назва ЕП	кв	cosφ	К-сть	Номінальна потужність Р _н , кВт
1-3	Зварювальні апарати, ТВ = 60 %	0.25	0.4	3	48
4-6	Точильно-шліфувальні верстати	0.22	0.6	3	70
7-8	Обдираючі верстати	0.17	0.5	2	30
9-14	Фрезерувальні верстати	0.22	0.5	6	14
15-16	Токарні верстати	0.16	0.6	2	22.5
17-22	Продольнострогальні верстати	0.2	0.7	6	12.5
23-26	Зубофрезерувальні верстати	0.15	0.5	4	15
27-29	Плоскошліфувальні верстати	0.14	0.6	3	16.5
30-32	Електротермічні установки	0.6	0.9	3	18
33-35	Розточувальні верстати	0.26	0.7	3	10
36-37	Мостові крани, ТВ = 60 %	0.1	0.5	2	70

Таблиця 14. 2

Відомість електричних навантажень окремих приміщень ремонтно-механічного цеху

Назви окремих приміщень цеху	Загальна потужність обладнання , кВт
Вентиляційна камера	48
Битовка	5
Виробнича лабораторія	45
Відділ оцінки виробів	15
Гардероб	2
Пакувальне відділення	25
Інструментальна	10
ТП	—

Розрахунок електропостачання систем цеху з обробки корпусних деталей заводу металоконструкцій охопив усі ключові етапи аналізу та проектування,

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		118

починаючи від визначення електричних навантажень окремих електроприймачів та груп обладнання, закінчуючи підбором кабельних ліній, трансформаторної підстанції та засобів захисту. Особлива увага була приділена врахуванню коефіцієнтів одночасності, потужності, тривалості використання, що дозволило отримати максимально наближені до реальних умов значення сумарних активних і повних потужностей споживачів.

На основі плану цеху та відстаней до електроприймачів виконано просторове планування, враховуючи ефективне зонування й енергоощадне розміщення обладнання, що мінімізує втрати енергії у кабелях та полегшує технічне обслуговування. Окремо було враховано категорію надійності електроживлення кожного споживача, що зумовило необхідність передбачити резервні джерела живлення для відповідальних споживачів другої категорії.

Було здійснено перевірку обраного трансформатора за потужністю та параметрами навантаження, що засвідчило його достатність для нормальної роботи усіх споживачів у пікові періоди.

У процесі розрахунку кабельних ліній враховувались умови прокладання, тип ґрунту, температура навколишнього середовища, а також допустимі тривалі струми навантаження, що дозволило підібрати відповідний переріз провідників за критеріями допустимого нагріву та втрат напруги. Під час вибору автоматичних вимикачів були виконані перевірки на відповідність умовам короткого замикання, забезпечення селективного відключення та відповідність номінальних струмів пристроїв до розрахункових значень струмів навантаження.

З технічної точки зору, АСКОЕ представляє собою багаторівневу систему збору, передачі, зберігання та обробки інформації про споживання електроенергії, яка включає в себе електронні лічильники, комунікаційні пристрої, серверне та програмне забезпечення. Ключова перевага полягає в можливості інтеграції з іншими автоматизованими системами підприємства, зокрема з SCADA, ERP, системами енергетичного менеджменту, що дозволяє реалізувати принцип Industry 4.0.

					ДП 2025 141	Арк.
						119
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На нижньому рівні знаходяться прилади обліку електроенергії, які забезпечують фіксацію параметрів споживання у задані інтервали часу. Дані з приладів передаються по дротових або бездротових каналах зв'язку (RS-485, Ethernet, GSM/GPRS, NB-IoT) до концентраторів, а звідти — на сервер обробки. Система може працювати в режимі реального часу або з відкладеним зчитуванням даних. Важливо, щоб у проєктованій системі передбачався багатоканальний доступ до інформації — для диспетчерської служби, технічного персоналу, бухгалтерії, керівництва тощо.

Особливу роль відіграє програмне забезпечення, що виконує не лише облік, але і візуалізацію, аналіз, прогнозування та формування звітності. Завдяки застосуванню математичних моделей, система може прогнозувати навантаження, виявляти аномалії, будувати тренди споживання. Це надзвичайно корисно для оперативного прийняття рішень щодо оптимізації енергоспоживання та зниження витрат.

З огляду на особливості технологічного процесу у ремонтно-механічному цеху, система АСКОЕ повинна враховувати неоднорідність навантаження — часті включення і виключення обладнання, наявність імпульсних та асиметричних струмів, значну частку реактивної потужності. Лічильники повинні підтримувати вимірювання як активної, так і реактивної енергії, фіксувати параметри якості електроенергії (напруга, частота, коефіцієнт потужності, вищі гармоніки) з можливістю передавання даних до центрального архіву.

У проєктованій системі рекомендовано використовувати лічильники класу точності не нижче 0,5S, які мають сертифікати відповідності українським технічним регламентам та стандартам МЕК. Враховуючи вимоги комерційного обліку, ці прилади повинні мати захищені канали передачі даних, інтерфейси для дистанційного керування (включення/відключення навантаження), а також можливість оновлення прошивки.

У сучасних умовах енергетичної нестабільності надзвичайно актуальним є питання автономності роботи АСКОЕ. Передбачається, що система повинна

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

зберігати працездатність при перебоях у мережі завдяки використанню джерел безперебійного живлення (UPS) та резервного живлення (наприклад, від фотоелектричних модулів або генераторів). У випадку втрати зовнішнього зв'язку, дані повинні накопичуватись локально на лічильниках або в шлюзах передачі даних.

Значну увагу слід приділити кібербезпеці. АСКОЕ повинна бути захищена від несанкціонованого доступу, хакерських атак, втручання в алгоритми обліку. Для цього впроваджуються політики доступу, аутентифікація користувачів, шифрування даних, регулярне оновлення програмного забезпечення.

Впровадження АСКОЕ передбачає етапи проектування, встановлення, тестування, введення в експлуатацію та подальшого технічного обслуговування. У рамках проектування виконується аудит існуючої системи електропостачання, визначаються точки обліку, типи лічильників, розташування комунікаційного обладнання, маршрути передачі даних. Складаються технічні умови для закупівлі компонентів системи.

На етапі монтажу важливо дотримуватись вимог електробезпеки — зокрема, захищати лічильники від перенапруг, встановлювати заземлення, використовувати розподільчі шафи відповідного класу захисту (IP). Після встановлення виконується калібрування лічильників, тестування каналів зв'язку, перевірка на відповідність технічному завданню. Дані про встановлення реєструються у паспортній документації.

Для якісної експлуатації системи важливе навчання персоналу. Працівники повинні знати алгоритми обслуговування, мати доступ до інструкцій, вміти працювати з програмним забезпеченням, виконувати контрольні заміри, розпізнавати відхилення. Регламент обслуговування передбачає періодичну перевірку лічильників, оновлення ПЗ, контроль достовірності показань, підтримку працездатності серверної інфраструктури.

Важливим є також аналіз економічного ефекту. Завдяки АСКОЕ знижується втрачена енергія (за рахунок виявлення технічних втрат), зменшуються витрати на оплату електроенергії, оптимізується графік споживання (уникаються штрафи

						Арк.
						121
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за перевищення договірною навантаження). Крім того, збільшується термін служби обладнання, оскільки можливе запобігання перевантаженням та аваріям.

Серед додаткових переваг системи — можливість формування звітів у форматі Excel, PDF, CSV; інтеграція з мобільними додатками; віддалений доступ до лічильників через хмарні сервіси. Деякі сучасні платформи АСКОЕ дозволяють створення цифрових двійників підприємства, що дає змогу моделювати енергетичні сценарії на основі реальних даних.

Загалом, впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії у ремонтно-механічному цеху дозволяє реалізувати принцип «енергетичного менеджменту в дії», забезпечуючи прозорість, гнучкість, ефективність і надійність енергоспоживання. Такий підхід є не лише технічно доцільним, але й економічно обґрунтованим, стратегічно виправданим з огляду на довгострокові цілі розвитку підприємства.

Одним із ключових завдань у рамках впровадження АСКОЕ на підприємстві є забезпечення метрологічної достовірності та відповідності всіх елементів системи вимогам України, що зобов'язує дотримуватися положень Кодексу комерційного обліку електроенергії. Сама система – це інтеграція трьох рівнів: нижнього – електронних лічильників у поєднанні зі струмовими та напруговими трансформаторами, проміжного – комунікаційних модемів із концентратором, та верхнього – серверного програмного забезпечення для обробки, аналізу та зберігання даних. Саме ця архітектура забезпечує автоматизований комерційний облік, що дозволяє не лише фіксувати споживання, а й структуровано опрацьовувати дані для розрахунків із енергопостачальниками.

Удосконалення точності досягається використанням лічильників класу не нижче 0,5S, сертифікованих за міжнародними й національними вимогами. Обов'язковим є забезпечення узгоджених інтерфейсів зв'язку – проводових (RS-485, PLC) і безпроводних (GSM/GPRS/3G/4G), з можливістю резервування каналів, включно з технологією NB-IoT. Резервні канали забезпечують безперервний збір даних навіть при відмові основного зв'язку, а лічильники і

						Арк.
						122
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

концентратори оснащуються буферною пам'яттю для накопичення даних у таких випадках.

Сучасне впровадження АСКОЕ передбачає інтеграцію зі SCADA-системами і ERP-платформами, що дає змогу не тільки контролювати фактичне споживання, але й використовувати аналітику у виробничих процесах. Це дозволяє автоматично коригувати графіки роботи обладнання, оптимізувати пускові цикли та прогнозувати навантаження в годинах. Дані в режимі реального часу відображаються на загальних енергетичних панелях, де оператори мають доступ до діаграм, графіків, KPI-дешбордів. Такий підхід може забезпечити до 30 % економії витрат на електроенергію, що значно покращує економічні результати.

Апаратно-програмна частина містить багаторівневу мережеву архітектуру. Перший рівень – лічильники та вимірювальні трансформатори, другий – концентратори й шлюзи для агрегування даних, третій – програмне забезпечення з архівуванням, аналітикою, формуванням звітів (у форматах Excel, PDF, CSV). Наявні модулі аналітики, прогнозування, оповіщення про відхилення параметрів, розрахунок тарифів, управління навантаженнями (з віддаленим відключенням споживачів у критичних ситуаціях). Існують і хмарні АСКОЕ-рішення, які не потребують локальної серверної інфраструктури.

Кібербезпека є ключовим компонентом: використовуються технології шифрування (TLS/IPsec), SSL/TLS-сертифікати, двофакторна автентифікація, сегментовані мережі, регулярні оновлення прошивки та програмного забезпечення. Це критично важливо для захисту від можливих несанкціонованих втручань у дані, що можуть призвести до фінансових втрат або аварійних ситуацій у виробництві.

Економічна модель впровадження демонструє значне зниження ручної праці, уникнення людських помилок, виявлення нецільового споживання – наприклад, прихованих споживачів. Це зменшує операційні витрати та дозволяє уникнути штрафів за перевищення договору навантаження. Аналіз даних у

						Арк.
						123
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

режимі прогнозу дає можливість планувати купівлю електроенергії в «дешеві» години, що також значно знижує витрати.

Експлуатація АСКОЕ включає: обстеження лічильників, калібрування, підтримання зв'язку та резервування живлення (UPS), архівування даних і оновлення ПЗ. Постачальники часто надають абонентське обслуговування, що включає віддалену діагностику, моніторинг системних подій і виконавчі оновлення.

Технічна структура реалізується через мережеві топології «зірка», «кільце» або «дерево», з часовою синхронізацією записів (таймстемпірами) для забезпечення узгодженості даних з різних вузлів. Така синхронізація дозволяє будувати точні графіки споживання та виявляти пікові навантаження чи аварії, що значно підвищує надійність виробництва.

Особлива увага приділяється обліку реактивної потужності, коефіцієнта потужності, гармонік і якості мережі. Лічильники повинні підтримувати 4-квadrantний облік реактивної енергії та аналіз гармонік до 31-ї, що є критично важливим для промислових споживачів зі зварювальними установками, інверторними приводами або конденсаторними батареями.

Згідно з нормативами, встановлення АСКОЕ обов'язкове для споживачів з підключеною потужністю від 150 кВт або середньомісячним споживанням понад 50 000 кВт·год. Це регулюється постановами регуляторних органів і має виконуватися на всіх стадіях – проектування, монтаж, введення в експлуатацію.

Організаційно-адміністративна частина впровадження включає процедури надання доступу до даних для різних категорій персоналу: бухгалтерії, енергетиків, керівництва. Налаштовуються рівні прав, унеможливується несанкціонована зміна або видалення записів, прописуються алгоритми дій при виявленні некоректних показників (відключення обладнання, сповіщення персоналу, логування змін у базі даних), що забезпечує високі стандарти контролю і відповідальності.

У цехах із змінними виробничими процесами та різними тарифами система повинна враховувати тарифне зонування (день/ніч, піковий/мінімальний тарифи)

						Арк.
						124
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і автоматично співставляти споживання до відповідних інтервалів. Це дозволяє чітко відслідковувати споживання залежно від виробничого циклу і тарифної політики.

Підсумовуючи, система АСКОЕ для ремонтно-механічного цеху уможливорює точний, прозорий і автоматизований комерційний облік електроенергії з високою надійністю, інтеграцією в ІТ-інфраструктуру підприємства, кібербезпекою та аналітичною підтримкою для всіх зацікавлених сторін.

Налаштування ПЗ для АСКОЕ розпочинається із завантаження на сервер чи в хмарну інфраструктуру, встановлення бази даних та обрання архітектури (локальна/хмарна). Спочатку на рівні «адміністрування» проводиться реєстрація облікових лічильників через їх інтерфейси: задаються параметри точності, ідентифікаційні номери, настраюються таймстемпи. Далі визначається топологія мережі (RS-485, PLC, GSM, NB-IoT), еталонні таймінги збору даних (наприклад, раз на хвилину або щогодини) й мінімальна частота резервного запису для аварійного режиму.

Підключення концентраторів і шлюзів включає встановлення драйверів, налаштування каналів — логічних портів, протоколів Modbus/IEC-61850, захисту доступу (SSL/TLS, IP-фільтри). Проводиться тестовий обмін даними, налаштування механізмів реплікації та черг повідомлень.

Наступний етап — функціональний модуль збору та обробки: задаються алгоритми агрегації, корекції гармонік, компенсації реактивної енергії, фільтрації шумів. Зав'язується інтеграція зі SCADA, ERP — шари API, перетворень даних у JSON/XML, налаштування частоти обмінів, налаштування KPI-дешбордів.

Аналітичний модуль містить алгоритми обробки трендів, виявлення піків, аномалій, порівняння з базовими моделями. Тут задаються правила: «повідомити, якщо потужність понад 90 % від договірної» або «виявлення падіння коефіцієнта потужності нижче 0,85». Налаштовуються правила оповіщень — email/SMS, push-повідомлення для відповідального персоналу.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		125

Останній етап перед запуском — створення шаблонів звітів: щоденні, тижневі, місячні; порівняння до/після оптимізації; представлення таблиць та графіків у форматах XLS, PDF, CSV. Проведені ТАТ-тести, перевірена коректність розрахунків, тестові завантаження даних із симуляторів чи тестових лічильників.

Згідно з Кодексом комерційного обліку та НКРЕКП, ППКО (постачальник послуг комерційного обліку) зобов'язаний передавати дані до національного сховища — Центру обробки даних (ЦОД АТОМАРКЕТИНГ або інші реєстри).

Споживач чи ППКО впроваджує інтеграцію через захищений канал (TLS/HTTPS), передаються щогодинні дані: споживання (активна/реактивна енергія), максимальна потужність, тарифи. Використовується механізм API (REST/SOAP), з автентифікацією токенами, цифровим підписом.

Після надсилання даних — підтвердження отримання, звірка з метаданими. У разі невідповідностей — автоматичний зворотний зв'язок для виправлення. Так забезпечується прозорість оплати, коректність розрахунків з ДПЕК, прогнозування споживання на рівні регіону.

Споживач має особистий доступ до Національної платформи (через веб-кабінет), де бачить історію своїх вузлів обліку. Для цього встановлюються рівні доступу: енергетики підприємства бачать показники вузла, керівництво — консолідовані звіти, національні органи — статистику по підприємству.

Це сприяє залученню до програм управління попитом (DR), участі у балансувальному ринку via погодинні дані. Максимальна прозорість сприяє зменшенню небалансів, оптимізації закупівель електроенергії та загалом зменшенню навантаження на національну мережу, що має стратегічне значення для енергостабільності.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		126

ВИСНОВОК

У результаті виконання дипломної роботи на тему «Розроблення електропостачання систем цеху з обробки корпусних деталей заводу металоконструкцій» було всебічно досліджено питання організації безперебійного та безпечного електропостачання виробничого об'єкта. Під час проєктування враховано технічні, економічні та експлуатаційні вимоги, які пред'являються до сучасних електропостачальних систем, зокрема у промислових умовах. Робота охопила повний цикл розрахунків, починаючи з аналізу потужностей споживачів, визначення категорій надійності електроживлення, вибору силового обладнання, трансформаторних підстанцій, кабельних трас, і закінчуючи перевіркою параметрів надійності, захисту та втрат.

Проведено детальний розрахунок електричних навантажень усіх технологічних процесів і окремих приміщень. На основі цих даних здійснено вибір силового трансформатора, що забезпечує достатній запас потужності для надійної роботи обладнання навіть у пікові моменти навантаження. Було виконано обґрунтування вибору кабелів з урахуванням умов прокладання, температури ґрунту та допустимого струму навантаження, що гарантує їх безаварійну експлуатацію та відповідність вимогам з електробезпеки. Проведені розрахунки струмів короткого замикання дозволили визначити характеристики комутаційної апаратури та параметри захисних пристроїв, що забезпечують селективне та швидке вимикання аварійних ділянок.

У роботі також було розглянуто аспекти охорони праці, зокрема, безпечного монтажу та експлуатації електрообладнання, вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу, а також передбачено організаційні та технічні заходи щодо зниження ризику ураження електричним струмом.

					ДП 2025 141			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Висновок	Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Ткаченко М.В.						
Перевір.		Шпак В.В.					127	
Реценз.		Грищенко Р.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ 4-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

Практичний розрахунок, виконаний у межах розділу охорони праці, надав змогу проаналізувати вплив небезпечних факторів електричної енергії та запропонувати ефективні заходи їх нейтралізації.

Виконана дипломна робота засвідчує здатність до комплексного інженерного аналізу, вміння обґрунтовувати технічні рішення з позицій економічної доцільності та безпеки, а також глибоке розуміння принципів проектування систем електропостачання. Отримані результати можуть бути використані як технічна база для реалізації реального електропостачального проєкту у виробничих умовах заводу металоконструкцій.

У межах поставленого дослідження першочерговим етапом стала детальна аналітична оцінка вихідних даних щодо конструктивних і електротехнічних характеристик ремонтно-механічного цеху. Були враховані параметри будівлі, тип ґрунту, температурні умови, кількість змін роботи, класифікація приміщення за пожежною та вибухонебезпекою, віддаленість від джерел живлення та технічні характеристики обладнання, яке встановлене в цеху. Такий підхід дозволив сформулювати цілісне уявлення про потреби споживачів електричної енергії, рівень навантаження, особливості умов експлуатації та вимоги до електроживлення.

Наступним кроком був проведений детальний розрахунок електричних навантажень. Враховуючи надані дані про кількість споживачів, їхню номінальну потужність, коефіцієнти попиту та потужності, здійснено узагальнення по групах обладнання. Це дозволило визначити загальну активну, реактивну і повну потужність, на основі чого було розраховано струми навантаження для окремих ділянок мережі. Крім того, здійснено розрахунок електричних навантажень за приміщеннями та допоміжними ділянками, що дало змогу повністю охопити всі категорії споживачів цеху.

На основі отриманих результатів було обґрунтовано вибір оптимальної схеми електропостачання з урахуванням вимог щодо надійності. Частина обладнання віднесена до споживачів другої категорії надійності, тому запропонована схема включає живлення від цехової трансформаторної

					ДП 2025 141	Арк.
						128
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підстанції, яка підключена до підстанції глибокого вводу з використанням кабельної лінії напругою 10 кВ. Такий варіант забезпечує достатній рівень резервування і дозволяє підтримувати стабільну роботу обладнання навіть у разі часткових відмов.

Подальшим етапом стало формування електричної мережі та техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень. Враховано протяжність трас, типи прокладки кабелів, втрати напруги, допустимі струми, втрати потужності та терміни окупності при впровадженні різних варіантів схем. Вибрано найекономічніший варіант, що відповідає технічним умовам та дозволяє мінімізувати експлуатаційні витрати.

Виконано вибір силового електрообладнання, включаючи трансформатори, кабелі, вимикачі, розподільчі щити та захисну апаратуру. Для цього проведено розрахунки струмів короткого замикання, перевірено кабелі на термічну та електродинамічну стійкість, підібрано запобіжники та автомати, здатні забезпечити селективний захист усіх ділянок мережі відповідно до діючих норм і стандартів.

Особливу увагу приділено техніці безпеки під час експлуатації електроустановок. У цьому розділі висвітлено вимоги до персоналу, умови доступу, заходи щодо захисту від ураження електричним струмом, організаційні рішення для безпечного монтажу, огляду та обслуговування обладнання. Окрім того, проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори, притаманні цеховим умовам, і запропоновано ефективні засоби їх усунення або мінімізації.

У дипломній роботі обґрунтовано необхідність впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Показано її значення для контролю споживання, виявлення втрат, аналізу ефективності роботи обладнання та формування стратегії енергозбереження. Наведено принципи побудови системи, вимоги до обладнання, методи інтеграції в існуючу інфраструктуру та програмне забезпечення.

Розглянуто питання обслуговування та експлуатації АСКОЕ: періодичність перевірок, технічне діагностування, підтримка програмного

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		129

забезпечення, калібрування лічильників, взаємодія з енергопостачальними компаніями. Підкреслено, що правильна експлуатація АСКОЕ дозволяє зменшити витрати підприємства та підвищити прозорість у розрахунках за електроенергію.

У результаті дослідження було підтверджено ефективність запропонованої системи, яка дозволяє забезпечити безперебійну, економічно обґрунтовану та безпечну роботу електрообладнання в умовах виробничого процесу. Реалізація проєктних рішень забезпечує високу енергоефективність та відповідає сучасним вимогам до автоматизації обліку електроенергії на промислових підприємствах.

					ДП 2025 141	Арк.
						130
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 2246-93. “Проектування електричних установок”.
2. ДСТУ 3215.0-95. “Електропостачання промислових підприємств”.
3. ДСТУ 3215.2-95. “Системи електропостачання. Резервні джерела живлення”.
4. ДСТУ 4808-2007. “Енергозбереження. Облік електричної енергії”, ч. 1.
5. ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2012. “Електромагнітна сумісність. Вимірювання якості електроенергії”.
6. ПУЕ (Правила улаштування електроустановок). Вид. 7-е. Київ, Технічна книга, 2016.
7. СНиП 41-23-2002 (застосовується в Україні).
8. Базилевич Б. О., Савіцький С. Й. “Проектування електропостачання промислових підприємств”. – К.: Вища школа, 2011.
9. Коноваленко В. П. “Автоматизація обліку електроенергії (АСКОЕ) на промислових об’єктах”. – К.: Наук. світ, 2013.
10. Семененко В. М. “Системи керування електропостачанням і обліком енергії”. – Х.: Пракс, 2014.
11. Кравченко О. І., Дерев’янченко Ю. М. “Електрообладнання промислових підприємств”. – К.: Логос, 2012.
12. Шевченко Г. Ф., Кузнєцов П. С. “Планування систем електропостачання”. – Одеса: Морехід, 2015.
13. Усков В. В. “Методика розрахунку електричних навантажень цехів”. – Дніпро: ПРОН, 2016.
14. Іванов І. І. “Енергоефективні технології в промисловості”. – Львів: Камула, 2017.

					ДП 2025 141				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Ткаченко М.В.			Список використаних джерел	Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Шпак В.В.						131	
Реценз.		Грищенко.Р.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			
Н. Контр.									
Затверд.		Балюта С.М.							

- 15.Плахута М. П. “Проектування та експлуатація кабельних мереж”. – Л.: Електрон, 2010.
- 16.Мартинов Д. М. “Захист і релейний захист у промислових електроустановках”. – К.: Енергія, 2014.
- 17.Соколенко В. А. “Силові трансформатори в системах електропостачання”. – Х.: Електрон, 2013.
- 18.Averkiev, Yu. “Design of Power Supply for Industrial Facilities”. – TSIT, 2015.
- 19.IEEE Std 141-1993 “Red Book. Electrical Power Distribution for Industrial Plants”.
- 20.IEC 61850:2010 “Communication Networks and Systems for Power Utility Automation”.
- 21.Majumdar, S. “Power System Protection and Switchgear”. – New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2012.
- 22.Jenkins, N. et al. “Embedded Generation”. – Wiley, 2015.
- 23.Університетський збірник “Енергетика і електротехніка” (журнал), 2011–2019 рр.
- 24.Енергетичний форум: зб. наук. праць / Нац. ун-т «Львів. політехніка» — 2013–2018.
- 25.Кліменко С. І. “Моніторинг рівня якості електроенергії: методика та практика”. – К.: Техніка, 2018.
- 26.Бондаренко Ю. В. “Програмно-апаратні комплекси АСКОЕ: застосування на виробництві”. – Х.: Професіонал, 2016.
- 27.Лукашенко Л. В. “Кабельні лінії: розрахунок, монтаж, експлуатація”. – Донецьк: Техсервіс, 2015.
- 28.Петров П. П. “Розрахунок струмів короткого замикання у трифазних мережах”. – К.: Академія, 2014.
- 29.Яценко О. С. “Безпека праці в електроустановках”. – К.: Наддніпряна.
- 30.Ковальчук Л. Й. “АСКОЕ: цифрова трансформація промислових систем”. – Львів: Класик-Друк, 2019.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		132