

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

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

**«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)**

(підпис) Блаженко С. І.
(прізвище та ініціали)
«___» _____ 2025 р.

**«До захисту допущено»
Завідувач кафедри**

(підпис) Балюта С. М.
(прізвище та ініціали)
«___» _____ 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: «Розробка системи електропостачання заводу ювелірних виробів.
Інформаційна система прогнозування електричного навантаження
електроенергії на підприємстві»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕЛ 4-3

Семко Кіріл Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Зінькевич Петро Олексійович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти Аліна СІРИК
(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент _____
(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

Семко Кіріл Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання заводу ювелірних виробів. Інформаційна система прогнозування електричного навантаження електроенергії на підприємстві

керівник роботи Зінкевич Петро Олексійович, доктор філософії, ст. викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 10.04.2025 року №218-кс

2. Строк подання роботи здобувачем 30 травня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Генеральний план підприємства, перелік споживачів та їх потужність, відомість електричних навантажень ремонтно-механічного цеха

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
загальні відомості про завод ювелірних виробів; розрахування електричних навантажень ремонтно-механічного цеху; розрахунок електричних навантажень підприємства та розміщення ЦРП; вибір типу та розміщення трансформаторних підстанцій; компенсація реактивної потужності та вибір місця розміщення компенсуючих пристроїв; розрахунок струмів короткого замикання; розрахунок струмів короткого замикання; релейної захисту та автоматика; облік і вимірювання параметрів системи електроспоживання; якість електричної енергії в системі електропостачання; охорона праці, індивідуальне завдання.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Генеральний план заводу ювелірних виробів;

2. Схема електропостачання РМЦ заводу ювелірних виробів;

3. Однолінійна розрахункова електросхема ремонтно-механічного цеху;

4. План освітлення ремонтно-механічного цеху.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП	Доцент Сірик А.О., доцент		

7. Дата видачі завдання 12 квітня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	05.04.2025 р	
2	Загальні відомості про завод ювелірних виробів	09.04.2025 р	
3	Розрахування електричних навантажень ремонтно-механічного цеху	13.04.2025 р	
4	Розрахунок електричних навантажень підприємства та розміщення ЦРП	13.04.2025 р	
5	Вибір типу та розміщення трансформаторних підстанцій	16.04.2025 р	
6	Компенсація реактивної потужності та вибір місця розміщення компенсуючих пристроїв	22.04.2025 р	
7	Розрахунок струмів короткого замикання	26.04.2025 р	
8	Розрахунок струмів короткого замикання	27.04.2025 р	
9	Релейної захисту та автоматика	01.05.2025 р	
10	Облік і вимірювання параметрів системи електроспоживання	04.05.2025 р	
11	Якість електричної енергії в системі електропостачання	08.05.2025 р	
12	Інформаційна система прогнозування електричного навантаження електроенергії на підприємстві	14.05.2025 р	
13	Охорона праці	17.05.2025 р	
14	Література	20.05.2025 р	
15	Оформлення пояснювальної записки проєкту	23.05.2025 р	
16	Оформлення графічної частини проєкту	24.05.2025 р	
17	Подання готової роботи для перевірки на плагіат	25.05.2025 р	

Здобувач

_____ (підпис)

Семко К.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Зінкевич П.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Семко Кіріл Миколайович. Дипломний проект на тему:
«Розробка електропостачання системи заводу ювелірних виробів.
Інформаційна система прогнозування електричного навантаження
електроенергії на підприємстві »

Національний університет харчових технологій, Київ-2025
141. «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 13 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проекту становить 131 Електроустановки, як і інші технічні пристрої в процесі їх створення проходять стадії проєктування, монтажу, налагодження та допуску в експлуатацію. Проєктування електроустановок є трудомістким процесом, що вимагає від проєктувальника не тільки гарної інженерної підготовки, але і знань ПУЕ та великої кількості нормативно-технічних документів, що використовуються в електроенергетиці.

сторінок.

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

У результаті виконання проєкту наведено загальні відомості про підприємства ювелірної галузі промисловості України; виконано розрахунок електричних навантажень підприємства та ремонтно-механічного цеху; визначено число й потужність силових трансформаторів; розраховано та вибрано високовольтне і низьковольтне електрообладнання та провідники до схеми електропостачання підприємства і перевірено їх до дії струмів короткого замикання; розглянуто питання щодо релейного захисту і автоматики, якості електричної енергії, обліку та вимірювання її режимних параметрів. В якості індивідуального завдання розглянуто питання «Інформаційна система прогнозування електричного навантаження електроенергії на підприємстві».

У розділі охорона праці розглянуті питання щодо технічних рішень з безпечної експлуатації обладнання заводу ювелірних виробів, пожежної безпеки на підприємстві, зокрема у підрозділі 1 - обґрунтуванні рішення щодо безпечного встановлення та експлуатації трансформатора масляного; у підрозділі 2 розкриті питання вимог безпеки до заміни масла на масляних трансформаторах, в яких розглянуті організаційні та технічні заходи з охорони праці; як приклад застосування практичного підрахунку наведено розрахунок заземлюючого пристрою для нульової точки трансформатора.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: генеральний план заводу ювелірних виробів з картограмою навантаження та його однолінійна схема електропостачання, план ремонтно-механічного цеху з силовою мережею та його однолінійна схема електропостачання, план ремонтно-механічного цеху з освітлювальною мережею.

Ключові слова: завод ювелірних виробів, ремонтно-механічний цех, споживачі електроенергії, електричне навантаження, освітлення, трансформатор, автоматичний вимикач, струм короткого замикання, провід, кабель, компенсація реактивної потужності, надійність електропостачання, резервне джерело живлення.

Abstract

Semko Kirill Mykolayovych. Diploma project on the topic:

"Development of the power supply system of a jewelry factory. Information system for predicting the electrical load of electricity at the enterprise"

National University of Food Technologies, Kyiv-2025

141. "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics"

The attached explanatory note consists of an introduction, 13 chapters and a list of used literature. The volume of the project is 131 pages.

Calculations and analysis were performed using the methods set out in educational, reference, regulatory and scientific and technical literature.

As a result of the project, general information about enterprises of the jewelry industry of Ukraine was provided; the calculation of the electrical loads of the enterprise and the repair and mechanical workshop was performed; the number and capacity of power transformers were determined; calculated and selected high-voltage and low-voltage electrical equipment and conductors for the power supply scheme of the enterprise and checked them for short-circuit currents; considered issues of relay protection and automation, quality of electric energy, accounting and measurement of its operating parameters. As an individual task, the issue of "Information system for predicting the electrical load of electricity at the enterprise" was considered.

In the labor protection section, issues of technical solutions for the safe operation of equipment of a jewelry factory, fire safety at the enterprise are considered, in particular in subsection 1 - justification of the decision on the safe installation and operation of an oil transformer; in subsection 2, issues of safety requirements for changing oil on oil transformers are disclosed, in which organizational and technical measures for labor protection are considered; as an example of the application of practical calculations, the calculation of a grounding device for the zero point of a transformer is given.

The description is accompanied by a graphic part consisting of four drawings: a general plan of a jewelry factory with a load map and its single-line power supply diagram, a plan of a repair and mechanical workshop with a power network and its single-line power supply diagram, a plan of a repair and mechanical workshop with a lighting network.

Keywords: jewelry factory, repair and mechanical workshop, electricity consumers, electrical load, lighting, transformer, circuit breaker, short-circuit current, wire, cable, reactive power compensation, reliability of power supply, backup power source.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВА ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ УКРАЇНИ.....	9
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ	19
3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА ТА РОЗМІЩЕННЯ ЦРП.....	28
4. ВИБІР ТИПУ ТА РОЗМІЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ.....	37
5. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА РОЗМІЩЕННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ.....	47
6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	53
7. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ЖИВИЛЬНОЇ ТА РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ	62
8. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ	71
9. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА.....	78
10. ОБЛІК І ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.....	85
11 ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПО ЖИВАННЯ РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ	96
12. ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ.....	102
12. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	120
ЛІТЕРАТУРА.....	130

					ДП 2025 141				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст	Літ.	Арк.	Аркуші	
Розроб.		Семко К.М.							
Перевір.		Зінкевич П.О.					7	127	
Реценз.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			
Н. Контр.									
Затверд.		Балюта С.М.							

ВСТУП

Сучасні системи електропостачання промислових підприємств повинні відповідати рівню розвитку технологій, обсягу споживання електричної енергії, забезпечувати показники якості електроенергії та відповідну до вимог споживача надійність за максимальної економічної ефективності. Практично на стадії проектування об'єкта в систему електропостачання повинні закладатися такі технічні вирішення, які забезпечили б виконання згаданих умов. Завдання ускладнюється тим, що з часом попередні умови можуть змінюватись як у частині значень електричних навантажень, територіальному їх розташуванні, так і з боку енергосистеми, сторонніх споживачів тощо. До того ж, деякі вихідні дані можуть бути задані з певним наближенням або просто відсутні. Основною вимогою, що висувається до проєктів систем електроспоживання, є надійність електропостачання споживачів. Надійність електропостачання забезпечується вибором найбільш досконалих, відповідних умовам навколишнього середовища, електричних апаратів, силових трансформаторів, кабельно-провідникової продукції, відповідністю електричних навантажень в нормальних і аварійних режимах номінальним навантаженням цих елементів, використанням структурного резервування, пристроїв автоматики і релейного захисту.

Проектування електроустановок є трудомістким процесом, що вимагає від проєктувальника не тільки гарної інженерної підготовки, але і знань ПУЕ та великої кількості нормативно-технічних документів, що використовуються в електроенергетиці.

У даній кваліфікаційній роботі розглядаються питання проектування системи електропостачання цеху з виробництва морозива потужністю 6,5 т готового продукту на добу та автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) в системах електропостачання.

					ДП 2025 141				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Семко К.М.			Вступ		Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Зінкевич П.О.						8	127
Реценз.							ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.									
Затверд.		Балюта С.М.							

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВА ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ УКРАЇНИ

1.1. Вихідні дані на проектування:

1. Генеральний план заводу ювелірних виробів – мал. 1.
 2. Відомості про електричні навантаження заводу ювелірних виробів - табл. 1.
 3. Відомість електричних навантажень ремонтно-механічного цеха (в. 31).
 4. Живлення можна здійснити від підстанції, з первинною напругою 35 кВ і вторинною - 10 кВ.
 5. Потужність енергосистеми 1500 МВА; реактивний опір системи на стороні 35 кВ, віднесений до потужності системи становить 0,66 Ом.
 6. Відстань від підстанції енергосистеми до комбінату становить 8 км.
- Таблиця 1 - Відомість електричних навантажень та площ будівель заводу ювелірних виробів.

№ на пл.	Найменування	Р _{вст} , кВт	Площа будівлі, м ²
1	Цех огранування	520	5133
2	Компресорна	1420	2268
3	Насосна	860	2990
4	Цех алмазних інструментів	260	5440
5	Цех штучних алмазів	450	5508
6	Адміністративно-побутові будівлі	320	4240
7	Цех виготовлення ювелірних виробів	160	1806
8	Цех ремонтно-механічний	-	2800
9	Цех плавлення дорогоцінних металів	550	3759
10	Цех механічної обробки	540	4368
	Всього		38312

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Семко К.М.				1. Загальні відомості про підприємства ювелірних виробів		
Перевір.	Зінкевич П.О.						
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.	Балюта С.М.						
					Літ.	Арк.	Аркуші
						9	127
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

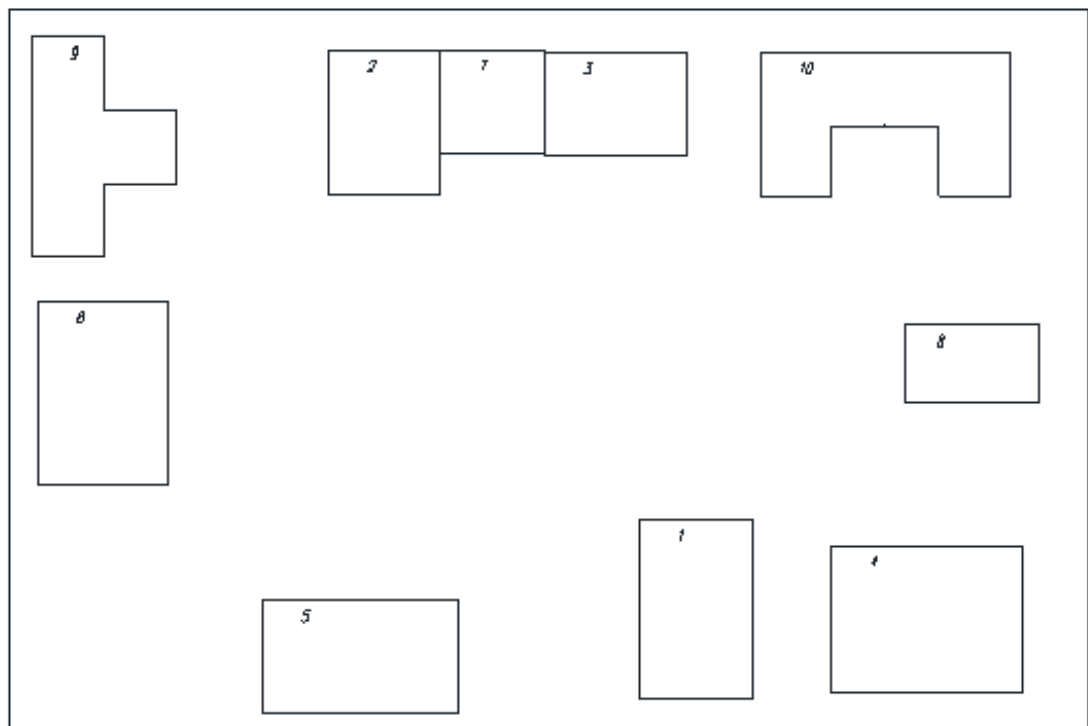


Рис.1. Генеральний план підприємства

Таблиця 2 - Електричні навантаження ремонтно-механічного цеху

Номер на плані	Найменування електроприймача	Р _н , кВт	Коефіцієнти	
			К _и	cosφ
1	2	4	5	6
1,31	Крани із ПВ-25%	30	0,1	0,5
2,17	Вертикально-фрезерний верстат	4	0,15	0,5
3,5	Заточувальний верстат	14	0,15	0,5
4,6,7,8	Плоскошліфувальний верстат	8	0,15	0,5
10,11,12,22, 25,33	Токарно-револьверні верстат	15	0,15	0,5
15,26,36,37	Токарно- гвинторізні верстати	25	0,25	0,65
16	Свердлильний верстат	9	0,15	0,5
18,19,27,28, 30	Горизонтально-фрезерний верстат	12	0,15	0,5
20,21,23,24	Прес	3	0,4	0,8
9,13,14	Зубофрезерний верстат	9	0,15	0,5
29	Внутрішньошліфувальний верстат	13	0,15	0, 5
32,35	Довжинний верстат	14	0,15	0,5
34	Поздовжньо-стругальний верстат	76	0,25	0,65
38,39	Вентилятор	20	0,65	0,8

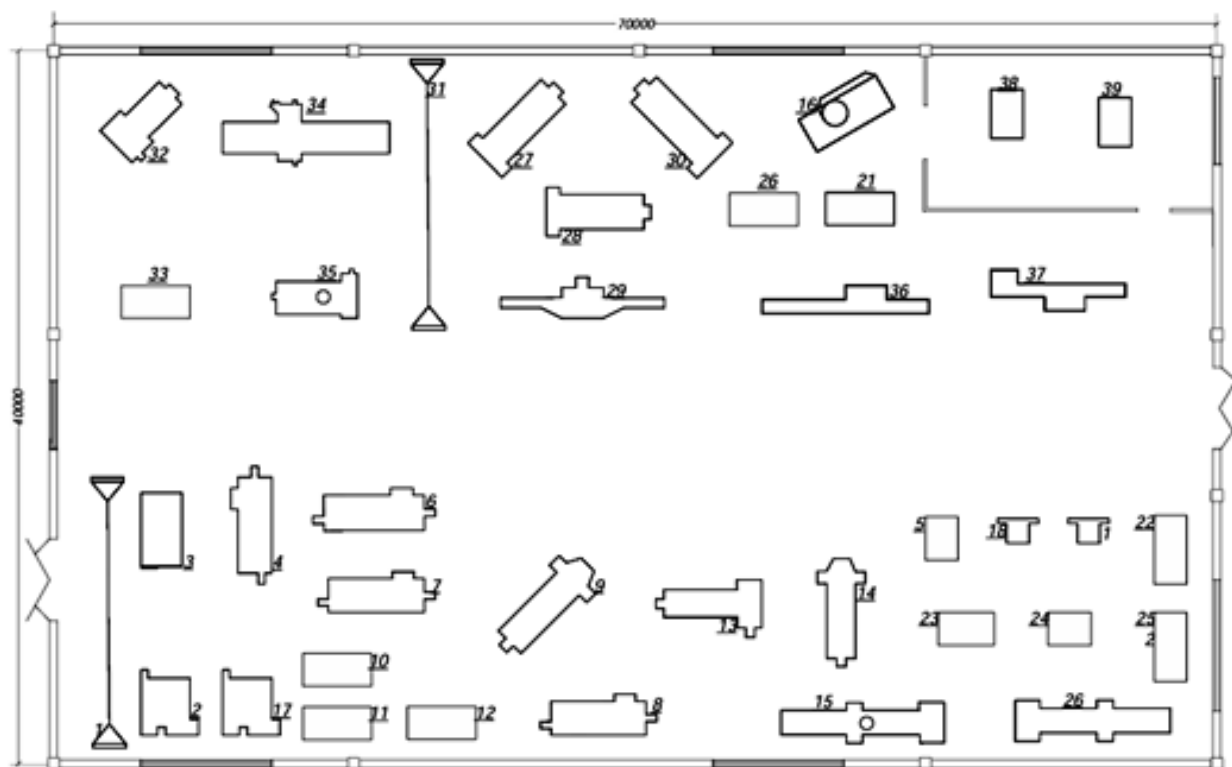


Рис.2. План розміщення обладнання ремонтно-механічного цеху

Живлення приймачів здійснюється від трансформаторної підстанції змінного струму з первинною напругою 35 кВ і вторинною - 10 кВ. Потужність енергосистеми 1500 МВА; реактивний опір системи на стороні 35 кВ, віднесений до потужності системи, становить 0,66 Ом. Відстань від підстанції енергосистеми до підприємства становить 8 км

1.2. Характеристики технологічного процесу

Завод ювелірних виробів — це спеціалізоване підприємство, яке займається виробництвом ювелірних виробів із дорогоцінних металів і каменів. Основна мета такого заводу — створення прикрас, що поєднують в собі естетичну привабливість, художню цінність і високу якість виконання..

Основними матеріалами, які використовуються на ювелірному заводі, є золото, срібло, платина та інші дорогоцінні метали, а також дорогоцінні, напівдорогоцінні й синтетичні камені. Для виготовлення виробів широко застосовуються також різноманітні сплави металів, покриття та декоративні вставки.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Технологічний процес на ювелірному заводі включає кілька основних етапів: проєктування виробу, створення моделі, виготовлення форми, лиття заготовки, механічна та ручна обробка, полірування, інкрустація камінням та фінішна обробка. Значна частина процесів виконується вручну, що потребує високої кваліфікації працівників.

Враховуючи складність технологічних операцій випуск продукції неможливий без використання допоміжних підприємств. Загальний перелік цехів та будівель заводу, Згідно завдання на проєктування, площі будівель та електричні потужності встановленого обладнання надані у таблиці 1, а розміщення наведено на генплані підприємства (рис.1)

Оскільки у завданні масштаб генерального плану або розміри будівель не вказані, то за основу проектного рішення були взяті задані у завданні розміри в плані ремонтно-механічного цеху 70x80 м. (рис. 2).

Отже, згідно генерального плану заводу, на підприємстві є чотири виробничих корпуси (1, 4, 5 та 7), п'ять допоміжних цехів та одна адміністративно-побутова будівля.

1.3. Характеристика споживачів електричної енергії ремонтно-механічного цеху

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.

Виконання виробничих завдань цеху здійснюється за допомогою верстатів різних типів: вертикально-фрезерний, токарно-револьверні,

					ДП 2025 141	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

токарно-гвинторізні, свердлильні, горизонтально-фрезерний, зубофрезерний, внутрішньо-шліфувальний, заточувальний плоскошліфувальний, довжинний, поздовжньо-стругальний. Опресовувальні операції проводяться на пресах, для вантажно-розвантажувальних робіт використовуються крани із ПВ-25%. Нормальні робочі умови підтримуються за допомогою вентиляторів.

В надзвичайних ситуаціях для живлення підприємств все більше, особливо в промисловому комплексі, застосовуються відновлювані та нетрадиційні джерела енергії, які потребують певних технологічних та технічних умов погодження з енергосистемою, акумулювання енергії.

Особливістю звичайних систем електропостачання є неможливість створення запасів електроенергії. В промислових масштабах електроенергії виробляється стільки, скільки її споживається. Лише незначна її частка акумулюється в сучасних акумуляторних батареях у якості незалежних резервних джерел живлення.

Основою роботи підприємства є надійне і якісне постачання електроенергії для основного і допоміжного виробництва.

До основних споживачів належать металорізальні верстати, які становлять найбільшу частку навантаження. 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 навантаження зі значними гармонічними складовими, що може призводити до спотворення форми синусоїди напруги в мережі. Зварювальні установки потребують окремих ліній живлення, здатних витримувати часті

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

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

Загалом споживачі електричної енергії в цеху мають змішаний характер – поєднання активного, індуктивного та імпульсного навантаження

						Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з різними режимами роботи, перервністю, пусковими характеристиками та класами надійності.

Таблиця 1.2.– Загальна характеристика споживачів електричної енергії

Група споживачів	Тип навантаження	Режим роботи	Особливості
Металорізальні верстати	Індуктивне, активне	Тривалий / повторно-короткочасний	Пускові струми, низький cosφ
Мостові крани	Динамічне, імпульсне	Циклічний з піковими навантаженнями	Періодичні піки, необхідність регулювання
Системи вентиляції та освітлення	Активно-індуктивне	Згідно робочого циклу	Фонове стабільне навантаження
Побутові та допоміжні пристрої	Активно-індуктивне	Періодичний	Малі потужності, стабільна робота

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 АСКОВЕ.

1.4. Вибір роду струму та рівня напруги

Характеристика джерел живлення ремонтно-механічного цеху 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 8 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.

Залежно від конфігурації споживачів і схеми підключення, ТП може забезпечувати одностороннє або двостороннє живлення, що особливо

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

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.

Цехові електричні кола напругою до 1000 В виконуються на стандартні напруги: 127; 220; 380 та 660 В.

Використання напруг 127 та 220 В для живлення електродвигунів економічно недоцільне. Найбільш широке застосування для живлення електродвигунів в системах електропостачання промислових підприємств дістала мережа з лінійною напругою 380 В, тому що фазна напруга в такій системі буде рівна 220 В, що необхідна для живлення освітлювальних ліній.

Така система дає можливість спільного живлення освітлюваних і силових кіл; відносно низька напруга між «землею» і провідником, яка становить 220В.

З цього можна зробити висновок, що так як в даному цеху всі споживачі електроенергії живляться змінним трифазним струмом частотою 50 Гц і напругою 380/220 В, то ми і приймаємо відповідний вид струму і напруги.

Живлення освітлювальної мережі здійснюється фазною напругою 220 В від трансформаторної підстанції з глухозаземленою нейтраллю.

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. Основні вимоги до надійності та ефективності системи енергопостачання підприємства

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

При виконанні роботи були розглянуті та використані нагайні наступні вимоги до надійності та ефективності системи енергопостачання підприємства.

Основною вимогою, що висувається до проектів енергопостачання (ЕПС), є надійність електропостачання споживачів. Фактичне електропостачання забезпечується шляхом вибору найсучасніших, що відповідають умовам навколишнього середовища, медичним вимогам, трансформаторів, кабельно-провідникової продукції, відповідності електричних навантажень у нормальному та аварійному режимах з номінальним використанням структурних переривань, пристроїв автоматизації та захисту від небезпечних факторів.

Існує два підходи до оцінки надійності ЕПС: перший базується на вимогах ПУЕ, інший – теоретичний. Ці підходи взаємопов'язані, а практичні рекомендації ПУЕ базуються на висновках теоретичного аналізу.

Надійність – це властивість ЕПС виконувати задані функції зі збереженням експлуатаційних показників у межах, регламентованих нормативними документами. Для простих об'єктів вона надійно забезпечується інтуїтивно на основі доказів, а для ЕПС така суб'єктивна оцінка часто є недостатньою.

Відмова – це втрата вторинної ємності елементів деталі або всієї системи. Відмова може бути повною та частковою, частковою та нелінійною, явною та неявною, конструктивною, технологічною або експлуатаційною.

Основними причинами відмов силових трансформаторів є: пробій ізоляції обмоток через зовнішні та внутрішні перенапруги, струми витоку коротких замикань, виробничі дефекти, пробої через перевантаження; пошкодження регулювальних пристроїв; пошкодження контактних з'єднань; пошкодження введів трансформатора через пробій ізоляції; падіння рівня оливи.

Типовими причинами відмов автоматичних вимикачів є: несправність приводу; перегорання контактів; знос камери дугогасіння; заводські дефекти;

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

помилки персоналу під час виконання комутаційних операцій.

Однофазні замикання на землю в мережах 6-35 кВ супроводжуються горінням заземлювальних дуг (через недостатню компенсацію ємнісних струмів), що призводить до перенапруг, пробоїв ізоляції та руйнування ізоляторів.

Відновлення – це захід, що полягає у підвищенні рівня експлуатаційної здатності шляхом проведення ремонту або заміни обладнання.

Техніко-економічне порівняння варіантів передбачає однакові технічні показники, такі як, наприклад, надійність електропостачання. У разі розбіжностей у технічних показниках необхідно звести варіанти до однакового технічного ефекту (правило «ідентичності ефекту»).

Порівняння варіантів з різною надійністю за правилом «ідентичності ефекту» здійснюється двома методами:

а) прямий метод – передбачає визначення додаткових витрат для досягнення значення технічного показника іншого варіанта та їх включення до капітальних або питомих витрат базового варіанта;

б) непрямий метод – визначення ймовірних збитків через недостатнє значення технічного показника

Для аналізу економіки ЕПС з різними показниками надійності переважно використовується другий підхід. Збитки залежать від раптовості перерви електропостачання, її тривалості та глибини. Згідно з критеріями таблиці А. 1 додатка А до ДСТУ-Н Б В. 1.2-16:2013 "Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії відповідності об'єктів будівництва", а також наданими розрахунками, кабельна лінія 0,4 кВ та КТПГС-10/0,4 кВ для електропостачання виробничих приміщень підприємства, що розглядається в кваліфікаційній роботі, належить до класу наслідків (відповідальності) СС2 та третьої категорії відповідності будівельних об'єктів.

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

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ

2.1. Характеристика навантажень підприємства та цеху

Електричні навантаження – це вихідні дані для вирішення важкого комплексу технічних та економічних питань, які виникають при проектуванні електричного постачання підприємства. За ступенями надійності електропостачання, електроприймачі заводу відносяться до III та III категорії

При розробці проекту електропостачання цеху необхідно визначити максимальну електричну потужність, щоб забезпечити нормальну роботу об'єкта. Залежно від цього значення, що називається розрахунковим навантаженням, вибирається джерело електропостачання й все устаткування електричної мережі, що забезпечує передачу необхідної потужності: лінії, трансформатори, розподільчі пристрої.

Споживачами електроенергії є асинхронні електродвигуни технологічного та сантехнічного обладнання, а також прилади електроосвітлення. Для розрахунку використовуємо задану відомість електричних навантажень устаткування наведених у табл. 1, де вказані також значення коефіцієнта використання – K_v та коефіцієнта потужності – $\cos \varphi$.

2.2. Розрахунок електричних навантажень цехової мережі

Розрахунок електричних навантажень від силових електроспоживачів проводимо за методом коефіцієнта максимуму – $K_{\max}$ у наступному порядку

Для даного підприємства відомі кількість, паспортні дані та режим роботи обладнання.

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2. Розрахунок електричних навантажень цеху		
Розроб.		Семко К.М.					
Перевір.		Зінкевич П.О.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						19	127
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

Таблиця 2.1.- Вихідні дані для обчислення розрахункових навантажень

Номер на плані	Найменування електроприймача	P _н , кВт	Коефіцієнти		n	ΣP _н , кВт
			K _и	Cos φ		
1,31	Крани із ПВ-25%	30	0,1	0,5	2	60
2,17	Вертикально-фрезерний верстат	4	0,15	0,5	2	8
3,5	Заточувальний верстат	14	0,15	0,5	2	28
4,6,7,8	Плоскошліфувальний верстат	8	0,15	0,5	4	32
10,11,12, 22, 25,33	Токарно-револьверні верстат	15	0,15	0,5	6	90
15,26,36, 37	Токарно- гвинторізні верстати	25	0,25	0,65	4	100
16	Свердлильний верстат	9	0,15	0,5	2	18
18,19,27, 28,30	Горизонтально-фрезерний верстат	12	0,15	0,5	5	60
20,21,23, 24	Прес	3	0,4	0,8	4	12
9,13,14	Зубофрезерний верстат	9	0,15	0,5	3	27
29	Внутрішньошліфувальний верстат	13	0,15	0, 5	1	13
32,35	Довжинний верстат	14	0,15	0,5	2	28
34	Поздовжньо-стругальний верстат	76	0,25	0,65	1	76
38,39	Вентилятор	20	0,65	0,8	2	40
Всього по РМЦ					40	592

Тому розрахункові навантаження визначаємо за формулою:

$$P_p = k_M \cdot P_{CM} = k_M \cdot P_H \cdot k_B, \text{ кВт},$$

де P_{CM} - середнє навантаження за найнавантаженішу зміну групи електроприймачів однакового режиму, кВт; P_H - сумарна встановлена потужність електроприймачів (ЕП) цієї групи, кВт; k_M - коефіцієнт максимуму навантаження; k_B - коефіцієнт використання.

За цією формулою визначаємо розрахункове активне навантаження групи ЕП. Групова встановлена потужність групи (ЕП) даного цеху визначається, як сума номінальних потужностей окремих ЕП, тобто:

$$P_H = \sum_{i=1}^n P_{Hi}.$$

Середня активна та реактивна потужності за найнавантаженішу зміну для групи ЕП одного режиму роботи визначається:

$$P_{CM} = k_B \cdot P_H ;$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{CM} ,$$

де $\operatorname{tg} \varphi_{CM}$ - функція від характерного $\cos \varphi$ для даної групи ЕП.

Коефіцієнт максимуму k_M активної потужності визначається для різних коефіцієнтів використання за довідковими таблицями в залежності від ефективного числа ЕП або за залежностями $k_M = f(n_e)$, при $k_B = 0,1 \div 0,9$, в залежності від величини групового коефіцієнту використання та зведеного числа електроприймачів n_e .

У загальному виді ефективне число ЕП :

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n P_H)^2}{\sum_{i=1}^n P_H^2}$$

Для спрощення розрахунків вводиться поняття коефіцієнту максимуму:

$$m = \frac{P_{\text{ном}}^{\text{макс}}}{P_{\text{ном}}^{\text{мін}}} ,$$

Ефективне число електроприймачів приймається рівним дійсному їх числу, якщо $m < 3$. При $m > 3$ і $k_B = 0,2$:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_H}{P_H^{\text{макс}}}$$

Де $P_H^{\text{макс}}$ - потужність найбільшого ЕП групи, якщо $n_e > n$, то слід прийняти $n_e = n$.

При $m > 3$ та $n_e < 4$ – розрахункове навантаження приймається рівним:

$$P_P = \beta \cdot P_H, \text{ кВт};$$

де β - коефіцієнт завантаження, який дорівнює 0,9 - для електроприймачів тривалого режиму роботи електрообладнання та 0,75 - для електроприймачів повторно-короткочасного режиму роботи.

ЕП, сумарна потужність яких не перевищує 5 % потужності всієї групи, не враховується в виразах для m .

Методика визначення розрахункової реактивної потужності залежить від значення n_e :

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

$$n_e > 10 ; Q_P = Q_{CM} , \text{квар};$$

$$n_e \leq 10; Q_P = 1,1 \cdot Q_{CM} , \text{квар}.$$

Після визначення електричних активних та реактивних навантажень, визначаємо повну розрахункову потужність:

$$S_P = \sqrt{(P_P)^2 + (Q_P)^2} .$$

Групуємо споживачі електроенергії цеха (рис.2.1). Дальші розрахунки проводимо окремо для кожної групи.

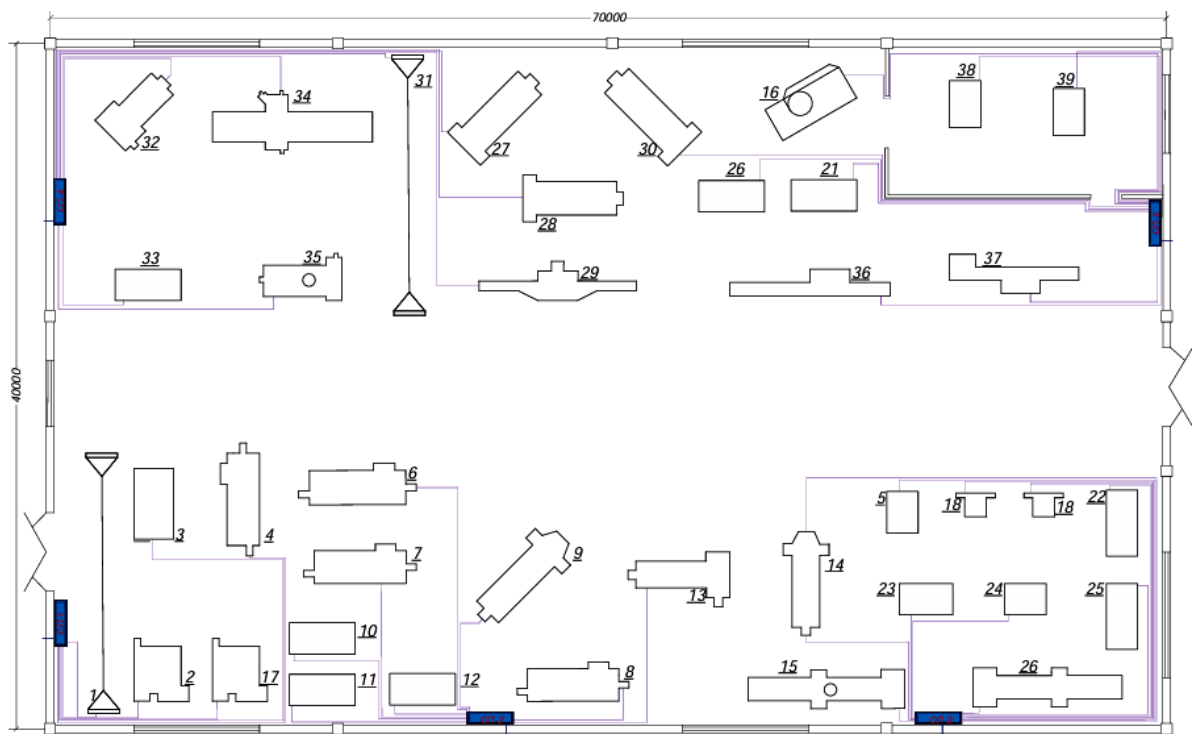


Рис. 2.1

Розглянемо розрахунок трифазних навантажень.

Розраховуємо середню активну і реактивну потужність для ЕП приєднаних, наприклад, до СП-1, від якого живляться наступні електроприймачі:

Таблиця 2.2 - Розрахунок електричних навантажень ремонтно-механічного цеху

Вихідні дані							Розрахункові величини				Ефективне значення ЕП, п _е	Коефіцієнт розрахункового навантаження, К _р	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм, I _р , А	
За даними технологічного проєктування				За довідниковими даними			Середня потужність		Проміжна розрахункова величина п·Рн ²	Активна, Р _{см} , кВт			Реактивна, Q _{см} , квар	Активна, Р _р , кВт	Реактивна, Q _р , квар		Повна, S _р , кВА
Характерні категорії ЕП, що приєднуються до вузла живлення	Кільсть ЕП, п, шт	Номінальна (встановлена) потужність, кВт		Коефіц. використання, К _в	Коефіцієнт потужності cos φ	Коефіцієнт реактивної потужності tg φ											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
СП-1																	
Кран із ПВ-25%	1	15	15	0,1	0,5	1,73	1,5	2,6	225								
Вертикально-фрезерний верстат	2	4	8	0,15	0,5	1,73	1,2	2,1	32								
Заточувальний верстат	1	14	14	0,15	0,5	1,73	2,1	3,63	196								
Плоскошліфувальний верстат	1	8	8	0,15	0,5	1,73	1,2	2,1	64								
Всього	5		45	0,15	0,5	1,73	6	10,43	517	4	3,11	18,66	11,47	21,9	33,3		
СП-2																	
Плоскошліфувальний верстат	3	8	24	0,15	0,5	1,73	3,6	6,23	192								
Зубофрезерний верстат	2	9	18	0,15	0,5	1,73	2,7	4,67	162								
Токарно-револьверний верстат	3	15	45	0,15	0,5	1,73	6,75	11,68	675								
Всього	8		87	0,2	0,5	1,73	13,05	22,58	1029	7	2,1	27,41	24,84	37	56,2		

З м			Продовження таблиці 2.1															
А рк			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
№ до ку м.			СП-3															
			Заточувальний верстат	1	14	14	0,15	0,5	1,73	2,1	3,63	196						
Пі дп ис			Зубофрезерний верстат	1	9	9	0,15	0,5	1,73	1,35	2,34	81						
Д а			Токарно- гвинторізний верстат	2	25	50	0,25	0,65	1,17	12,5	14,63	1250						
Д П 20 25 14 1			Горизонтально- фрезерний верстат	2	12	24	0,15	0,5	1,73	3,6	6,23	288						
			Токарно- револьверний верстат	2	15	30	0,15	0,5	1,73	4,5	7,79	450						
			Прес	2	3	6	0,4	0,8	0,75	2,4	1,8	18						
			Всього	10		133	0,2	0,59	1,38	26,45	36,42	2283	8	1,99	52,6	40,1	66,1	110, 5
			СП-4															
			Кран із ПВ-25%	1	15	15	0,1	0,5	1,73	1,5	2,6	225						
		Горизонтально- фрезерний верстат	2	12	24	0,15	0,5	1,73	3,6	6,23	288							
		Внутрішньо- шліфувальний верстат	1	13	13	0,15	0,5	1,73	1,95	3,37	169							
		Довжинний верстат	2	14	28	0,15	0,5	1,73	4,2	7,27	392							
		Токарно- револьверний верстат	1	15	15	0,15	0,5	1,73	2,25	3,89	225							
24	А рк																	

З м			Повздовжньо-стругальний верстат	1	76	76	0,25	0,65	1,17	19	22,23	5776						
А рк			Всього	8		171	0,19	0,58	1,4	32,5	45,59	7075	4	2,64	85,8	50,1	99,4	151
№ до ку м.			СП-5															
Пі дп ис			Свердлильний верстат	1	9	9	0,15	0,5	1,73	1,35	2,34	81						
			Прес	1	3	3	0,4	0,8	0,75	1,2	0,9	9						
			Токарно-гвинторізний верстат	3	25	75	0,25	0,65	1,17	18,75	21,94	1875						
			Горизонтально-фрезерний верстат	1	12	12	0,15	0,5	1,73	1,8	3,11	144						
Д а			Вентилятор	2	20	40	0,65	0,8	0,75	26	19,5	800						
Д П 20 25 14 1			Всього	8		139	0,35	0,72	0,97	49,1	47,79	2909	6	1,77	86,9	52,6	101,6	154,4
			Всього: силове навантаження												271,4	179,1	325	494
25	А рк																	

1 - Кран із ПВ-25% (поз. 1)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 15 \cdot 0,1 = 1,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1 \cdot 15 \cdot 0,1 \cdot 1,73 = 2,6 \text{ квар};$$

2 - Заточувальний верстат (поз.2)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 14 \cdot 0,15 = 2,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1 \cdot 14 \cdot 0,15 \cdot 1,73 = 3,63 \text{ квар};$$

3 - Вертикально-фрезерний верстат (поз. 3, 5)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 2 \cdot 4 \cdot 0,15 = 1,2 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \operatorname{tg} \varphi = 2 \cdot 4 \cdot 0,14 \cdot 1,73 = 2,1 \text{ квар};$$

4 - Плоскошліфувальний верстат (поз. 4)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 8 \cdot 0,15 = 1,2 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1 \cdot 8 \cdot 0,15 \cdot 1,73 = 2,1 \text{ квар};$$

Результати розрахунків електричних навантажень ремонтно-механічного цеху і від силових споживачів заносимо у табл. 2.2.

де K_B – взято з таблиці 24-3 [3].

З таблиці 1.1 [1] беремо $K_M = 1,0$ і обчислюємо розрахункові потужності для електроприймачів РП-8:

$$P_M = K_M \cdot K_B \cdot P_H = 1,0 \cdot 592 = 592 \text{ кВт},$$

$$Q_M = 1,1 \cdot K_B \cdot P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi_{CM} = 1,1 \cdot 0,18 \cdot 592 \cdot 1,73 = 202,7 \text{ квар}.$$

Визначаємо S_M електроприймачів:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{592^2 + 203^2} = 626 \text{ кВт} \cdot \text{А}$$

Решта розрахунків навантаження цеху проводяться аналогічно. Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.2.

Розрахунок освітлювального навантаження за методом питомої потужності

Активна потужність, яка витрачається на освітлення, розраховується, виходячи з питомої потужності на одиницю освітлення площі виробничих приміщень

$$P_{p.o} = P_{\text{пит}} \cdot F = 15 \cdot 70 \cdot 40 = 4200 \text{ Вт} = 4,2 \text{ кВт}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $P_{p.o}$ - розрахункове освітлювальне навантаження, кВт; F – площа приміщення, м². Приймаємо для освітлювання виробничих приміщень:

$$P_{\text{пит}} = 10 \text{ Вт/м}^2;$$

Переважна більшість освітлювальних установок підприємства – це світлодіодні лампи, які працюють з різним коефіцієнтом потужності.

Коефіцієнт потужності (PF) світлодіодних ламп показує, наскільки ефективно вони використовують електроенергію. В ідеалі, коефіцієнт потужності повинен бути якомога ближче до 1, що вказує на те, що вся споживана енергія перетворюється на світло, а не втрачається у вигляді реактивної потужності. У світлодіодних лампах, коефіцієнт потужності зазвичай знаходиться в діапазоні від 0,5 до 0,99, причому значення 0,95-0,98 вважається хорошим показником для якісних світлодіодних трубок. Приймаємо $\cos\varphi = 0,8$. При цьому $\tan\varphi = 0,75$.

Отже реактивна складова розрахункової потужності цехів дорівнює

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \tan\varphi = 4,2 \cdot 0,75 = 3.1 \text{ квар.}$$

Потужність аварійного освітлення становить 5 % від загального навантаження освітлення приміщень. Отже, дорівнюватиме 0,22 кВт.

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

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА ТА РОЗМІЩЕННЯ ЦРП

3.1. Розрахунок електричних навантажень цехів

Вихідні дані до розрахунку наведені в таблиці 3.1, де враховано навантаження ремонтно-механічного цеху, визначене у попередньому розділі 2, та обчислені площі будівель згідно проведеного масштабування генерального плану

Таблиця 3.1. – Уточнені вихідні дані

№ на пл.	Найменування	$P_{вст}, \text{кВт}$	F – площа приміщення, м^2
1	Цех огранування	520	5133
2	Компресорна	1420	2268
3	Насосна	860	2990
4	Цех алмазних інструментів	260	5440
5	Цех штучних алмазів	450	5508
6	Адміністративно-побутові будівлі	320	4240
7	Цех виготовлення ювелірних виробів	160	1806
8	Цех ремонтно-механічний	592	2800
9	Цех плавлення дорогоцінних металів	550	3759
10	Цех механічної обробки	540	4368
	Разом по ЗЮВ	5672	38312

3.2. Розрахунок загальних електричних навантажень підприємства.

Загальних електричних навантажень підприємства розраховуємо за методикою описаною у підрозділах 2.3 та 2.4. Результати розрахунку наведено в табл.3.2

					ДП 2025 141							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Семко К.М.			3. Розрахунок електричних навантажень підприємства та розміщення ЦРП				Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Зінкевич П.О.									28	127
Реценз.									ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			
Н. Контр.												
Затверд.		Балюта С.М.										

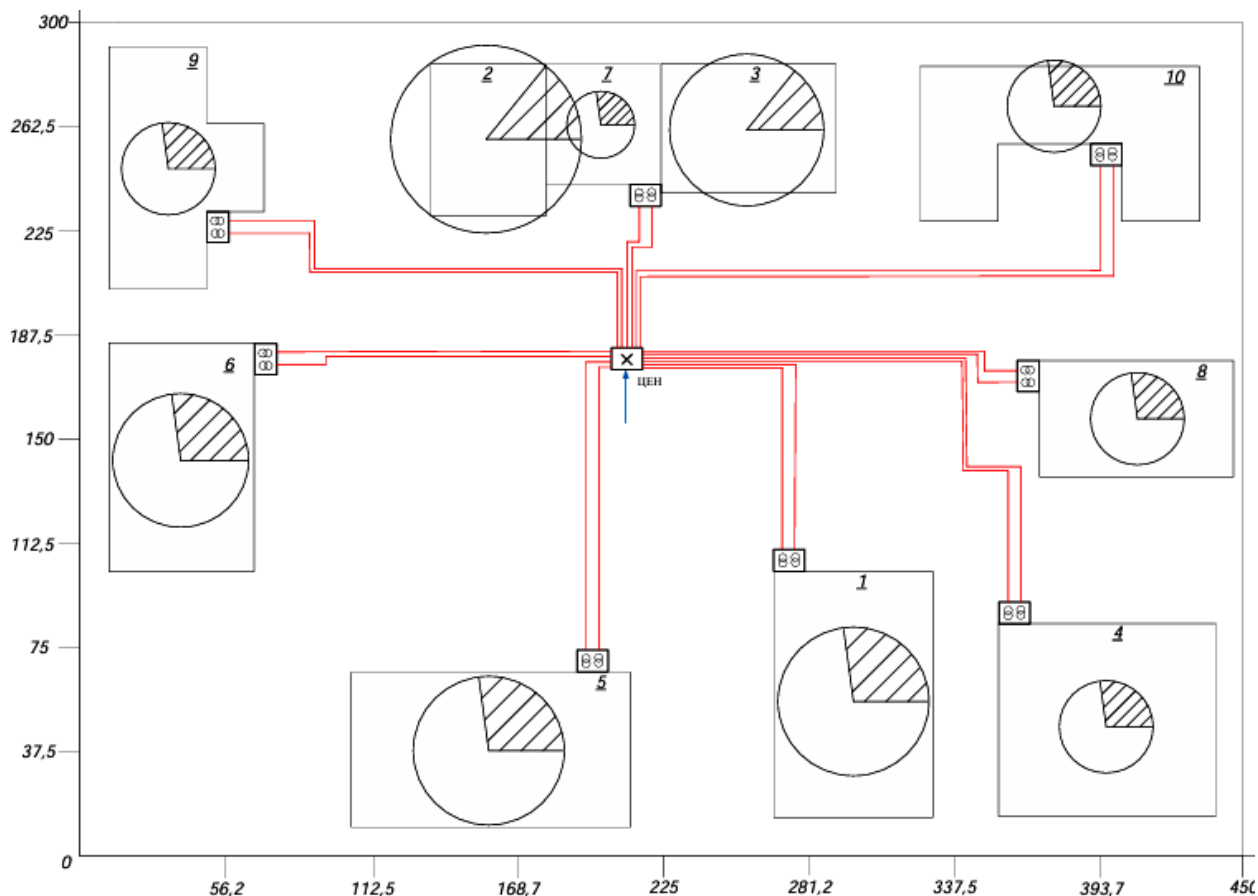


Рис.3.1

За методом коефіцієнта попиту розрахуємо величини розрахункових активної та реактивної потужностей електричних навантажень та розрахункову потужність освітлення заводу [1].

Розрахунки цих величин покажемо на прикладі розрахунків:

- величина розрахункової активної потужності силового обладнання окремого об'єкту:

$$P_C = K_P \cdot P_H, \text{кВт}; \quad (3.1)$$

де K_P – величина коефіцієнта попиту, вибирається із [1].

- величина розрахункової реактивної потужності силового обладнання окремого об'єкту:

$$Q_C = P_C \cdot \text{tg}\varphi, \text{кВар}; \quad (3.2)$$

Розрахункова активна потужність систем освітлення в залежності від площі цеху:

$$P_O = P_{\text{ПІТ.О}} \cdot K_{\text{ПО}} \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot F, \text{кВт}. \quad (3.3)$$

де $P_{\text{пит.о}}$ – питома густина навантаження освітлювальної мережі складу готової продукції;

F – площа складу готової продукції;

$K_{\text{по}}$ – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження обираємо з [2];

$K_{\text{пра}}$ – коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі освітлювальних приладів обираємо з [2].

Розрахункова реактивна потужність систем освітлення в цеху:

$$Q_O = P_O \cdot \operatorname{tg} \varphi_O, \text{кВар}. \quad (3.4)$$

Загальні розрахункові потужності складу готової продукції рівні сумі розрахункових потужностей освітлювального та силового навантажень:

- величина загальної розрахункової активної потужності:

$$P_P = P_C + P_O, \text{кВт}; \quad (3.5)$$

- величина загальної розрахункової реактивної потужності:

$$Q_P = Q_C + Q_O, \text{кВар}; \quad (3.6)$$

Величина загального повного навантаження цеху:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}, \text{кВА}; \quad (3.7)$$

Для прикладу проведемо розрахунок для будівлі (№8 на генплані):

$$P_C = K_{\text{П}} \cdot P_H = 0,5 \cdot 50 = 25, \text{кВт};$$

$$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi = 25 \cdot 0,62 = 15,5, \text{кВар};$$

$$P_O = P_{\text{пит.о}} \cdot K_{\text{по}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot F = 0,016 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 1280 = 22,12, \text{кВт};$$

$$Q_O = P_O \cdot \operatorname{tg} \varphi_O = 22,12 \cdot 0,43 = 9,51, \text{кВар};$$

Результати розрахунку навантаження підприємства зводимо у табл. 3.1

$$P_P = P_C + P_O = 25 + 22,12 = 47,12, \text{кВт};$$

$$Q_P = Q_C + Q_O = 15,5 + 9,51 = 25,01, \text{кВар};$$

$$S_P = \sqrt{47,12^2 + 25,01^2} = 53,35, \text{кВА}.$$

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

Таблиця 3.2 – Електричні навантаження підприємства

№ на генплані	Виробничі приміщення	Силове навантаження						Освітлювальне навантаження					Сумарне навантаження			I _p
		P _н ,	K _п	cos	tg	P _с , кВт	Q _с , квар	F, м²	P _{пит.}	КПО	КПРА	P _о ,	P _р ,	Q _р ,	S _р ,	
		кВт						м²	Вт/м²			кВт	кВт	квар	кВА	А
1	Цех огранування	520	0,55	0,8	0,75	286	214,5	5133	0,016	0,9	1,1	81,31	367,3	38,20	369,29	701,3
2	Компресорна	1420	0,45	0,65	1,17	639	747,6	2268	0,014	0,8	1,1	27,94	666,9	69,36	670,54	1567,4
3	Насосна	860	0,55	0,8	0,75	473	354,8	2990	0,014	0,8	1,1	36,84	509,8	53,02	512,59	973,5
4	Цех алмазних інструментів	260	0,55	0,65	1,17	143	167,3	5440	0,012	0,8	1,1	57,45	200,4	20,85	201,53	471,1
5	Цех штучних алмазів	450	0,45	0,6	1,33	202,5	269,3	5508	0,016	0,9	1,1	87,25	289,7	30,13	291,31	737,7
6	Адміністративно- побутові будівлі	320	0,55	0,65	1,17	176	205,9	4240	0,015	0,9	1,1	62,96	239,0	24,85	240,25	561,6
7	Цех виготовлення ювелірних виробів	160	0,55	0,65	1,17	88	103,0	1806	0,015	0,9	1,1	26,82	114,8	11,94	115,44	269,8
8	Цех ремонтно- механічний	592	0,5	0,75	0,88	296	260,5	2800	0,015	0,9	1,1	41,58	337,6	35,11	339,40	687,6
9	Цех плавлення дорогоцінних металів	550	0,5	0,7	1,02	275	280,5	3759	0,014	0,8	1,1	46,31	321,3	33,42	323,04	701,2
10	Цех механічної обробки	540	0,5	0,75	0,88	270	237,6	4368	0,015	0,9	1,1	64,86	334,9	34,83	336,67	682,0
	Разом по заводу	5672		0,7		2849	2841,0	38312				533,32	3381,8	694,32	3452,36	7493,3

3.3. Побудова картограми електричних навантажень

Для вибору місця встановлення центрального розподільчого пункту (ЦРП) розраховується і будується картограма навантажень і визначається центр електричних навантажень підприємства [2].

Картограма навантажень будується для генплану заводу, який зображено на листі 1. Картограма навантажень підприємства являє собою розміщені по генплану круги, причому площі, обмежені цими окружностями, в масштабі $m \cdot r \cdot r^2$ дорівнює навантаженню цехів підприємства.

Для кожного цеху будується свій круг, центр якого співпадає з центром електричних навантажень цеху. Для спрощення побудови картограми вважають, що навантаження цеху рівномірно розподілене по його площі.

ГПП, а також цехові підстанції необхідно намагатися розташувати як можна ближче до центрів навантажень, оскільки це дозволяє наблизити вищу напругу до центра споживання електричної енергії і значно скоротити протяжність як мереж високої, так і низької напруги, а також зменшити витрати провідникового матеріалу і зменшити втрати електроенергії в розподільних мережах.

Картограма навантажень дозволяє також безпосередньо представити розподілення електричних навантажень по території підприємства.

Картограму навантажень будемо будувати лише для активної потужності за таким алгоритмом:

- 1) будується базовий круг для найбільш завантаженого цеху таким чином щоб коло, утворене кругом, не торкалося меж інших цехів. В нашому випадку таким цехом є продуктовий. Оскільки цехів із споживачами високої напруги небагато, то їх на першому етапі доцільно не враховувати. Такий крок покращить зовнішній вигляд картограми.
- 2) знаходиться радіус базового круга. В нашому випадку радіус круга дорівнює 46,6 мм.
- 3) відповідно до радіуса базового круга обчислюється масштабом площ кругів. В нашому випадку масштаб дорівнює 1/4.

					ДП 2025 141	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Картограма навантажень являє собою кола.

Для кожного цеха креслиться коло, центр якого збігається з центром навантажень цеха. Кожне коло поділяється на сектори, які відповідають освітлювальному навантаженню та силовому. Використання картограми навантажень спрощує роботу з розміщення підстанції і дозволяє запобігти серйозним похибкам.

Центр електричних навантажень можна прийняти співпадаючим з центром ваги фігури, що зображає корпус підприємства на плані. ЦРП слід розмістити якнайближче до центра навантажень. Таке розміщення ЦРП дозволяє звести до мінімуму протяжність мереж, втрати енергії та коливання напруги.

Кола на картограмі навантажень відповідають у певному масштабі розрахунковому навантаженню. Площі кіл пропорційні навантаженням, а центри збігаються з центрами навантажень окремих цехів.

Кола поділяються на сектори, площі яких у певному масштабі відповідають певному типу навантажень:

- а) розрахункове навантаження електроприймачів;
- б) розрахункове освітлювальне навантаження.

3.4. Визначення центру електричних навантажень

На генплані підприємства довільно проводяться вісі координат і знаходяться координати центра навантажень цехів.

Інформація про розподіл навантаження між ТП підприємства а також дані про завантаження трансформаторів наведено в табл. 3.1. Розподіл навантаження здійснено таким чином, щоб зменшити перетоки потужностей, що веде до зменшення втрат в лініях живлення. Чим нижчий клас напруги і чим довші лінії живлення тим виникають більші втрати електроенергії. Тому доцільно розподілити навантаження між ТП таким чином, щоб мінімізувати довжину ліній 0,4 кВ.

3.5. Вибір і розміщення ЦРП

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

Координати умовного центру електричних навантажень підприємства визначаємо, виходячи з виразу:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi}^{\Sigma} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}^{\Sigma}}, \quad (3.1)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi}^{\Sigma} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}^{\Sigma}}, \quad (3.2)$$

де n – кількість цехів заводу;

X_i, Y_i — координати центра навантажень окремого цеху заводу.

Дані для даного розрахунку беремо з табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – До розрахунку центра навантаження

№	Будівля	X_i	Y_i	S_{pi}	$S_p \cdot X_i$	$S_p \cdot Y_i$
1	Цех огранування	271,8	53,6	454,30	123478,0	24350,3351
2	Компресорна	143,2	261,6	1240,58	177651,2	324536,011
3	Насосна	237,2	264,4	751,34	178217,3	198653,724
4	Цех алмазних інструментів	376	45,6	227,15	85407,9	10357,9784
5	Цех штучних алмазів	143,4	35,8	393,14	56376,5	14074,4797
6	Адміністративно-побутові будівлі	34,6	143,4	279,57	9673,0	40089,9892
7	Цех виготовлення ювелірних виробів	184,8	267,2	139,78	25832,0	37350,227
8	Цех ремонтно-механічний	374,2	159	517,20	193536,2	82234,8
9	Цех плавлення дороговісних металів	31,2	251,6	480,51	14991,8	120895,5
10	Цех механічної обробки	344,6	272,4	471,77	162572,0	128510,222
	Разом			4955,34	1027736,2	981053,266

Знаходимо координати ЦРП:

$$X_{цэн} = 207,4 \text{ м}; \quad Y_{цэн} = 198 \text{ м}.$$

У випадку рівномірного розподілу навантажень при розміщенні ЦРП в ЦЕН, витрати на спорудження заводської мережі будуть мінімальними.

Розміщувати трансформаторні підстанції не завжди є змога в точці з оптимальними координатами та перетоком потужності. В місці з оптимальними координатами можуть знаходитися споруди, дороги чи лінії комунікацій. Отже, встановлюємо ТП максимально близько до оптимальних координат враховуючи при цьому специфіку забудови на території даного

підприємства. Враховуючи вибір оптимальних координат розміщення ТП будуємо картограму навантажень на генплані (Лист 1).

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

Таблиця 3.3. – 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 (8 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

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.

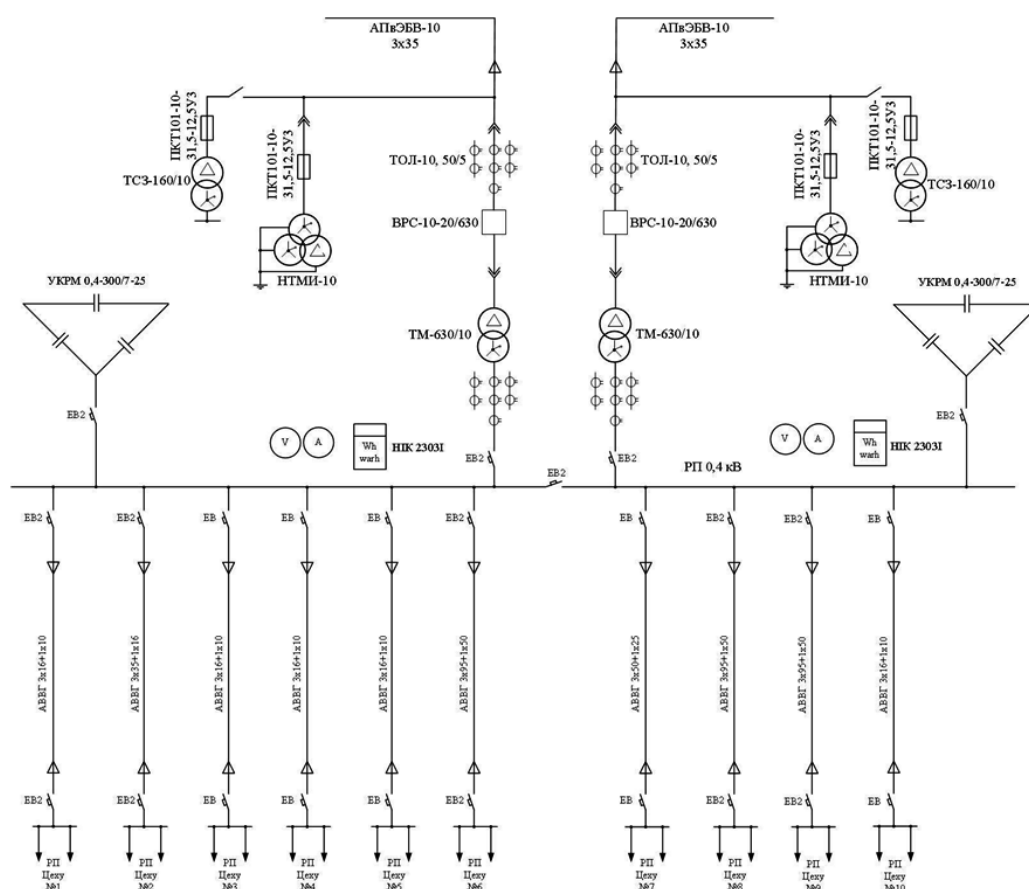


Рис. 3.3. Схема внутрішньозаводського електропостачання

4. ВИБІР ТИПУ ТА РОЗМІЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

4.1. Типи трансформаторних підстанцій

Розглянемо типи цехових підстанцій (ТП) [3-4].

1. Окремо збудована ТП (рис. 4.1)

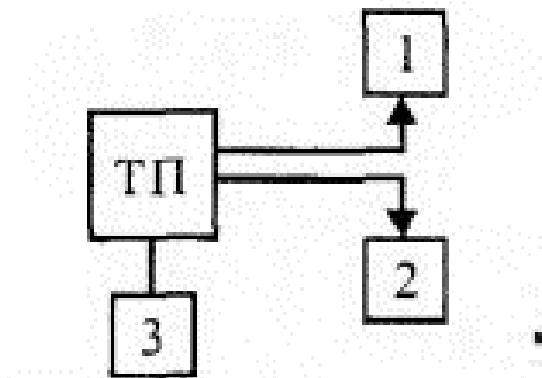


Рисунок 4.1 – Схема підключення окремо збудованої ТП 1...3 - цехи підприємства

При такій конструкції мережі напругою до 1 кВ мають значну довжину. На них витрачається багато провідникового матеріалу, зростають втрати енергії, погіршується якість напруги. Рекомендується для підприємств хімії, де не дозволяється монтувати трансформатори у виробничих корпусах.

Прибудована ТП (рис. 4.2,а). ТП має одну спільну стінку з корпусом цеху, але знаходиться за межами цеху. Ця конструкція має високі техніко-економічні показники. Але ця ж конструкція не дозволяється архітекторами корпусу, оскільки погіршується вигляд корпусу. Цей тип ТП добре компонується з низькими приміщеннями насосних, компресорних, складів.

Вбудована ТП (рис. 4.2,б). Підстанція знаходиться всередині виробничого корпусу, біля зовнішніх стінок корпусу. Двері підстанції відкриваються назовні.

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	4. Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій		
Розроб.	Семко К.М.						
Перевір.	Зінкевич П.О.						
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.	Балюта С.М.				Літ. Арк. Аркуші		
					37 127		
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

Монтаж, обслуговування з боку цеху не передбачається. Підстанція має високі техніко-економічні показники, але ускладнюється монтаж технологічного обладнання. Як правило, цей тип підстанції проектується у складських приміщеннях цеху, побутових, конторських приміщеннях.

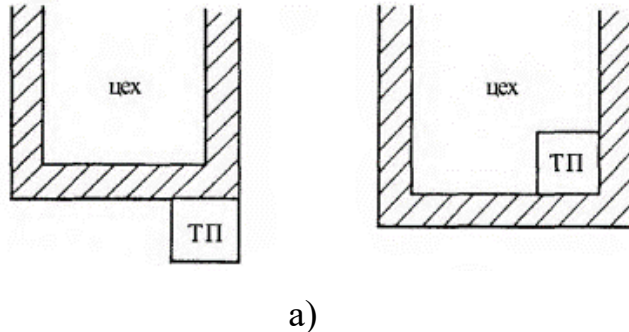


Рисунок 4.2 – Конструкція прибудованої (а) та вбудованої (б) ТП.
Підстанція може мати схему і конструкцію, яку подано на рис. 4.3.

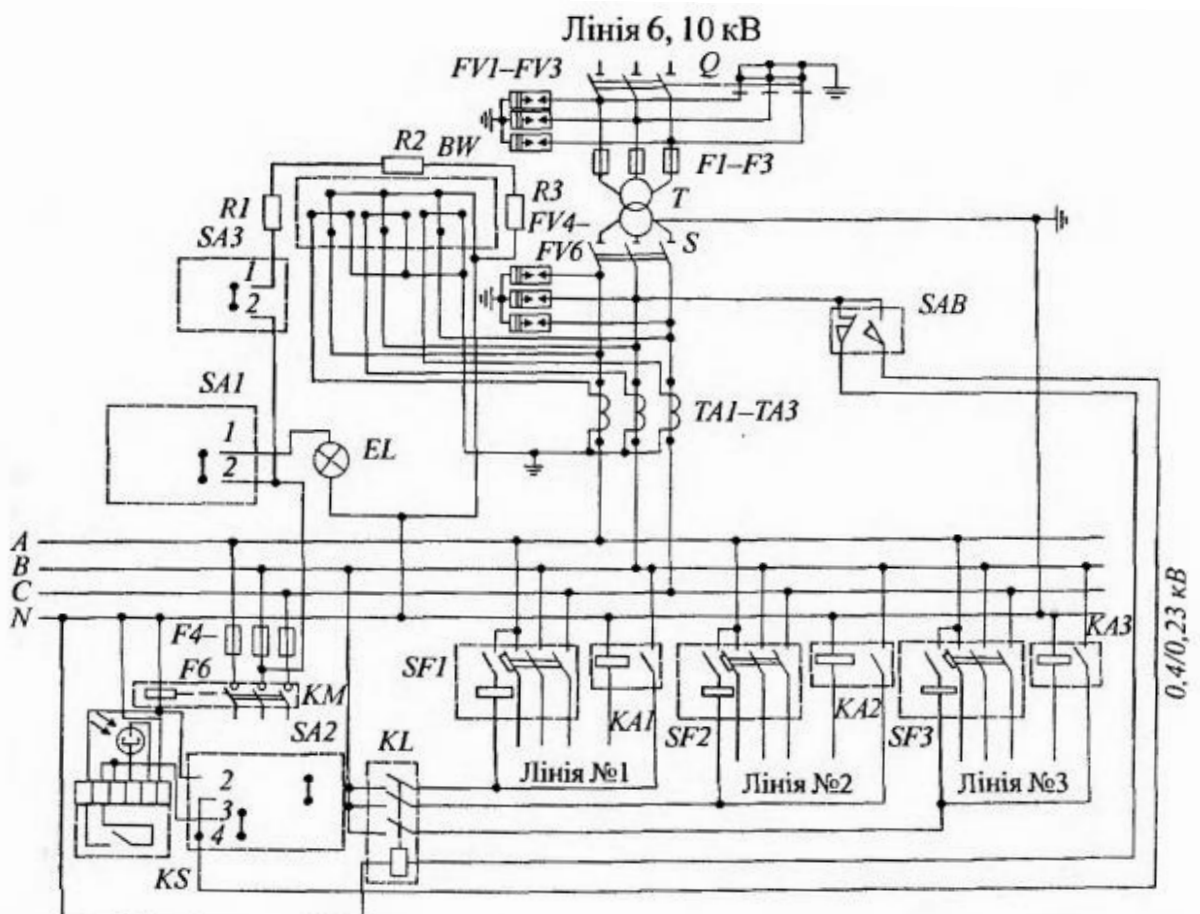


Рисунок 4.3. Принципова електрична схема комплектної трансформаторної підстанції потужністю 1000 кВА $U = 10$ кВ.

На рис. 4.3 показані: BW - лічильник, EL - лампа, F1-F6- запобіжники, FV1-

FV6 -розрядники, KA1-KA3 реле струму, KL - реле проміжне, KM - пускач магнітний, KS -фотореле, Q - роз'єднувач, R1-R3 - резистори, S - рубильник, SA1-SA3 - перемикач, SAB вимикач кінцевий, SF1-SF3 - автоматичний вимикач, Т - трансформатор силовий, ТА1-ТА3 - трансформатори струму.

Отже, обираємо внутрішньоцехову вбудовану підстанцію. Підстанція монтується в середині цеху, між колонами, в мертвій зоні мостових кранів і таким чином, щоб не заважати руху цеховому транспорту. Для монтажу в цеху дозволяється ставити тільки КТП (комплектна трансформаторна підстанція) за рис.4.4.

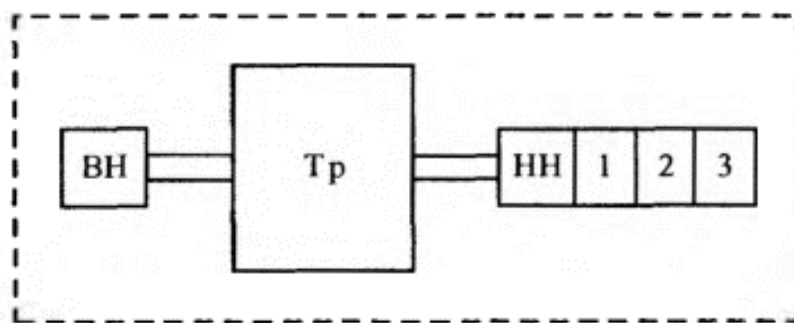


Рисунок 4.4 – Конструкція одностанційної КТП

ВН – шафа високої напруги, пристосована для кабельного вводу 6 або 10 кВ. У ній монтують запобіжники і роз'єднувач або запобіжник і вимикач навантаження (на сьогодні може бути і силовий вимикач нового типу).

Тр – трансформатор. Застосовують трансформатори герметично закриті, типу ТМЗ, ТМВМЗ.

Ізолятори трансформатора знаходяться на бокових стінках. Ізолятор і шини закриваються стальним кожухом.

НН – шафа вводу нижчої напруги. В ній розміщується автоматичний вимикач вводу.1,2,3 - шафи лінії до споживачів. Пунктир – огорожа підстанції з металевої сітки.

4.2 Вибір схеми електропостачання живлячої та розподільчої мережі

Вимоги до схем електропостачання (СЕ) залежать від багатьох факторів, сутність основних з них зводиться до наступного [8]: джерела живлення

необхідно максимально наближати до електроустановок споживачів; СЕ повинна забезпечувати необхідну надійність живлення підприємства й окремих споживачів відповідно до їхньої категорії за ступенем надійності; СЕ повинні будуватися таким чином, щоб усі їхні елементи постійно знаходилися під напругою; робота всіх елементів схеми повинна передбачатися, як правило, роздільна, тому що при паралельній роботі збільшуються струми короткого замикання й ускладнюються пристрої релейного захисту; при побудові СЕ необхідно застосовувати глибоке секціонування шин у всіх ланках системи розподілу енергії, починаючи від вузлової підстанції і закінчуючи шинами підстанцій нижчої напруги; повинні передбачатися заходи щодо забезпечення необхідних показників якості електроенергії; система електропостачання як у схемній, так і в конструктивній частині повинна передбачати і забезпечувати можливість зростання електричних навантажень; СЕ повинна задовольняти економічності, що відповідає мінімуму розрахункових витрат, простоті, зручності і безпеці експлуатації. Такі найголовніші вимоги до систем електропостачання на всіх її ступенях.

Схеми електропостачання підприємств мають ступеневу побудову. Число ступеней залежить від потужності підприємства і характеру розміщення електричних навантажень на його території. В нашому випадку маємо підприємство малої потужності (2,5 Мвт). Застосовується дві ступені. На першій ступіні розподілу електроенергії (зовнішнє електропостачання) застосовується система повітряної лінії напругою 110 кВ. При цьому під першою ступінню розподілу енергії мається на увазі мережна ланка між джерелом живлення підприємства і підстанціями глибоких вводу (ПГВ), якщо розподіл виробляється при напрузі 110 кВ, або між головною

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

знижувальною підстанцією (ГЗП) і високовольтним розподільним пунктом (ВРП), якщо розподіл виробляється при напрузі 10 кВ. Під другою ступінню розподілу енергії (внутрішнє високовольтне електропостачання) мається на увазі мережна ланка між ВРП чи розподільним пристроєм (РП) вторинної напруги ПГВ і трансформаторними підстанціями (ТП) чи ж окремими електроприймачами напругою 10 кВ: електродвигунами, перетворювачами тощо. Під третьою ступінню розподілу енергії (внутрішнє низьковольтне електропостачання) мається на увазі мережна ланка між ТП і споживачами електроенергії напругою до 1000 В.

Джерелами живлення для першої ланки схеми електропостачання є приймальні пункти, на які електроенергія надходить від енергосистеми, а приймачами — споживачі електроенергії (знижувальні підстанції, двигуни, які працюють на напрузі, що підводиться від енергосистеми).

Схеми в окремих ланках системи електропостачання можуть бути радіальними, магістральними (з однобічним живленням, із двостороннім живленням і кільцевими) і змішаними.

Радіальними називають схеми, у яких відсутні відгалуження за довжиною живильної лінії. Радіальна система доцільна головним чином там, де маються великі зосереджені навантаження, розташовані в різних напрямках від джерела живлення. При різкозмінних навантаженнях, що викликають значні коливання напруги, застосування радіального живлення дозволяє зменшити їхній вплив на роботу інших електроприймачів. Радіальна система живлення має велику гнучкість і зручності в експлуатації, тому що ушкодження чи ремонт однієї лінії відбивається на роботі тільки одного споживача.

Зовнішнє електропостачання енергоємних підприємств рекомендується виконувати за системою глибокого вводу з мінімальною кількістю ступенів трансформації, тобто за умови максимального наближення високої напруги до споживачів.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Глибоким вводом називається система електропостачання з наближенням вищої напруги до електроустановок споживачів з найменшою кількістю ступіней проміжної трансформації й апаратів. Глибокий ввід живильних ліній на території підприємств і відпайки від ліній системи, що проходять, стають основними способами живлення підприємств, при яких відбувається органічне злиття живильних мереж з розподільними мережами першого ступеню розподілу енергії.

Перевагою радіальних схем є простота, що підвищує надійність їхньої роботи, а також те, що аварії на живильній лінії або в трансформаторі не відбиваються на роботі інших підстанцій. Але застосування радіальних глибоких вводів може викликати подорожчання живильних ліній та апаратів на живильних підстанціях.

Центральний розподільний пристрій (РПр) 10 кВ виконується, як правило, закритого типу, має в більшості випадків одинарну секційну систему шин. У разі використання двох обмоткових трансформаторів з розщепленою неперемкненою вторинною обмоткою може мати подвійну секційну систему шин. Він складається з комплектних розподільних пристроїв (КРПр). До складу КРПр входять ввідні КРПр, які розташовуються посередині секції шин, трансформатора власних потреб, шино-з'єднуючого КРПр, КРПр для відгалужень до окремих споживачів (РП, трансформаторів і т.п), вимірювальних трансформаторів, конденсаторних батарей. Передбачається встановлення розрядників на стороні 10 кВ, а також резервних КРПр для відгалужень. Можлива електрична схема розподільного пристрою 10 кВ наведена на рисунку 4.5.

Вибираємо схему розподілу електроенергії на рівнях зовнішнього і внутрішнього електропостачання на сучасному підприємстві східчастий принцип побудови з однократною трансформацією напруги (ЦРП і ТП відповідно).

Радіальні і магістральні схеми з однобічним живленням можуть виконуватися одноступеневими та двоступеневими. В двоступеневій схемі на

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

першій ступені електроенергія підводиться від джерела живлення до розподільних пунктів, а на другій – від розподільних пунктів безпосередньо до споживачів. При цьому в ряді випадків може виявитися доцільним сполучення радіальної схеми на першій ступені з магістральною на другій ступені чи навпаки. На будь-якій ступені можливо також живлення однієї частини споживачів за радіальною схемою, а іншої — за магістральною.

Одноступеневі схеми застосовують, як правило, на малих підприємствах, а також для живлення великих зосереджених навантажень на середніх і великих підприємствах.

Отже обираємо одноступеневу радіальну схему розподільної мережі.

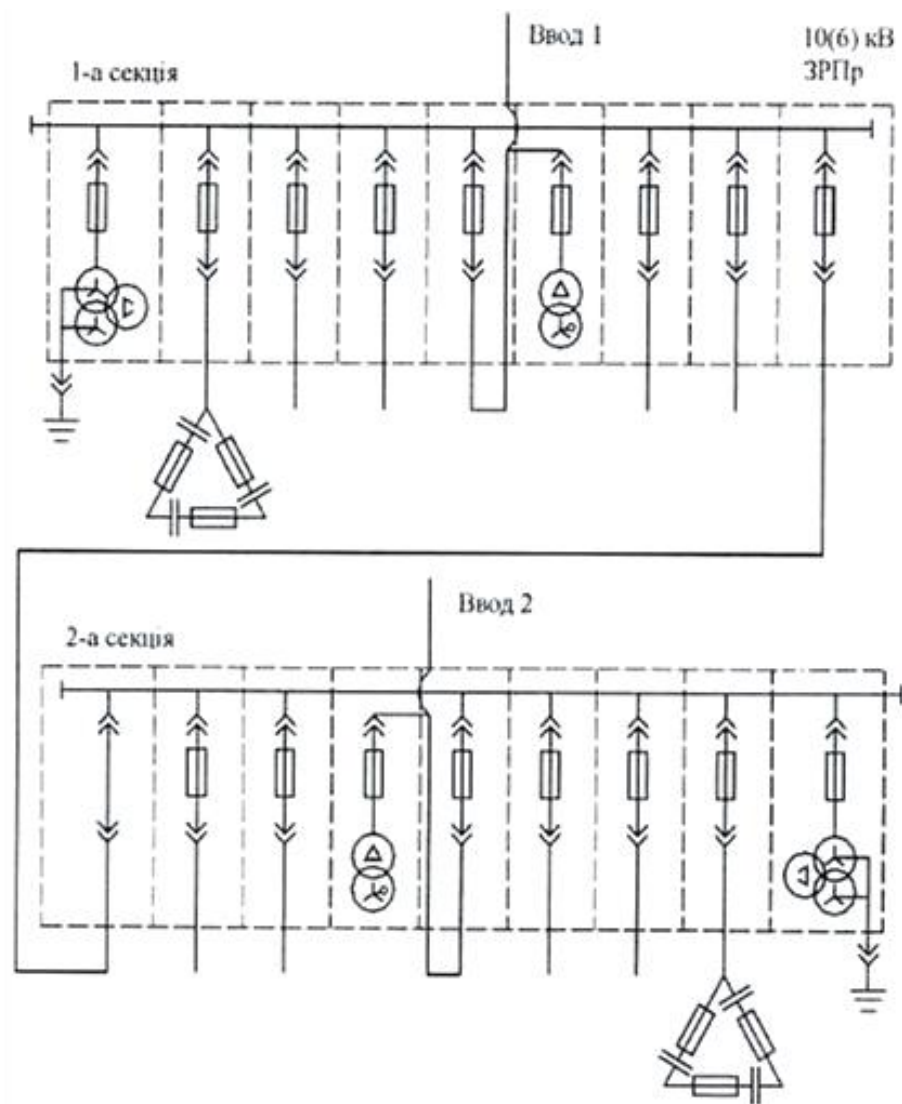


Рисунок 4.5 – Електрична частина розподільного пристрою 10 кВ ЦРП

4.3. Розрахунок розподільчих мереж

Згідно з Правилами улаштування електроустановок [9], електрообладнання необхідно підбирати за типом установки, величиною номінального струму і номінальною напругою та перевірити його на термічну і динамічну стійкість при аварійних режимах роботи.

Для живлення ЦРП (напруга 6...35 кВ) в більшості випадків використовується кабельні лінії (КЛ).

Визначаємо струми нормального та максимального режимів навантаження:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{пл}} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{2685,4}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 77,52 \text{ А.} \quad (4.1)$$

$$I_{\text{макс}} = 2 \cdot I_{\text{норм}} = 2 \cdot 77,52 = 155 \text{ А.} \quad (4.2)$$

Економічно вигідну густину струму приймаємо $j_{\text{ек}} = 1,1 \text{ А/мм}^2$ (для алюмінієвих проводів, при $T_{\text{макс}} = 3000 \text{ год}$).

Знаходимо економічно вигідний переріз повітряної лінії:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{макс}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{155}{1,1} = 140,9 \text{ мм}^2. \quad (4.3)$$

За табл. 3.36 [5] вибираємо провід типу АПвЭгаПу-10 3*150.

$$S_{\text{ст}} = 150 \text{ мм}^2 > S_{\text{ек}} = 140,9 \text{ мм}^2 \quad (4.4)$$

$$I_{\text{доп}} = 320 > I_{\text{макс}} = 155 \text{ А.}$$

Погонні параметри лінії: $r_0 = 0,206 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,079 \text{ Ом/км}$.

Перевіряємо переріз проводу з падіння напруги в лінії в нормальному і після-аварійному режимах:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P_3 \cdot R + Q_3 \cdot X}{U_{\text{н}}^2} \cdot 100\% < 5\%; \quad (4.5)$$

$$R = r_0 \cdot l = 0,206 \cdot 5,0 = 1,03 \text{ Ом}; \quad (4.6)$$

$$X = x_0 \cdot l = 0,079 \cdot 5 = 0,395 \text{ Ом}; \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{\%} &= \frac{P_3 \cdot R + Q_3 \cdot X}{U_{\text{н}}^2} \cdot 100\% = \\ &= \frac{2249,6 \cdot 1,03 + 1453,8 \cdot 0,395}{10^2} \cdot 100\% = 2,9\% < 5\%. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Отже, за умовою нагріву провод такого перерізу можна використовувати.

Визначимо для живлення ТП1 і ТП2 (напруга 10 кВ) кабельні лінії.

Визначаємо струми нормального та максимального режимів навантаження ТП1:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{рТП1}}}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{пл}} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{1382,8}{\sqrt{3} \cdot 1 \cdot 10} = 79,83 \text{ А},$$

$$I_{\text{макс}} = 2 \cdot I_{\text{норм}} = 2 \cdot 79,83 = 159,66 \text{ А}.$$

Економічно вигідну густину струму приймаємо $j_{\text{ек}} = 1,1 \text{ А/мм}^2$ (для алюмінієвих проводів, при $T_{\text{макс}} = 3000 \text{ год}$).

Знаходимо економічно вигідний переріз лінії:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{макс}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{159,66}{1,1} = 145,15 \text{ мм}^2.$$

За табл. 3.36 [5] вибираємо провод типу АПвЭгаПу-10 3*150.

$$S_{\text{ст}} = 150 \text{ мм}^2 > S_{\text{ек}} = 145,15 \text{ мм}^2,$$

$$I_{\text{доп}} = 320 > I_{\text{макс}} = 159,66 \text{ А}.$$

Аналогічно визначаємо струми нормального та максимального режимів навантаження ТП2.

Високовольтний вимикач вибирається відповідно до номінальної напругою і струмом з урахуванням можливості протидії величинам струму короткого замикання.:

$$U_{\text{номВ}} \geq U_{\text{ном мер}} \quad (4.9)$$

$$I_{\text{номВ}} \geq I_{\text{мах}} \quad (4.10)$$

Для встановлення на стороні 10 кВ вибираємо вакуумний вимикач ВВ/TEL 10-20/1000. Номінальний струм даних вимикачів

$$I_{\text{ном.ВМ.ав}} = 1000 > I_{\text{мах}} = 155 \text{ А}.$$

Час відключення вимикача складає 0,075 с.

У табл. 4.1 представлена інформація про типи вимикачів і ліній електропередачі в залежності від типу підключення.

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

Таблиця 4.1 – Захисні апарати та лінії живлення СЕП

Лінія	Sp.кВА	Ip.А	Вимикач	I _{ном.вм.ав} А	Провод	S. мм*	L. м	I _{доп} , А
С-ЦРП	2631,9	77,52	ВВ/TEL 10- 20/1000	1000	АПвЭгаПу-10 3*150	3х150	5000	320
ЦРП-ТП1	1460,78	79,83	ВВ/TEL 10- 20/1000	1000	АПвЭгаПу-10 3*150	3х150	150	320
ЦРП-ТП2	1268,66	75,2	ВВ/TEL 10- 20/1000	1000	АПвЭгаПу-10 3*150	3х150	250	320

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

5. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА РОЗМІЩЕННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

5.1 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		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	5. Компенсація реактивної потужності та розміщення компенсуючих пристроїв		
Розроб.		Семко К.М.					
Перевір.		Зінкевич П.О.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					Літ.	Арк.	Аркуші
						47	127
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

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 $P = 651,48 \text{ кВт}$

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

Розрахунок повної потужності

Формула: $S = P / \cos\varphi$

Розрахунок: $S = 651,48 / 0,92 = 708,13 \text{ кВА}$

Крок 2: Розрахунок реактивної потужності

Формула: $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

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

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

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						47

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

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.

5.2. Розрахунок балансу реактивної потужності

Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв у низьковольтних мережах є критично важливим етапом при проєктуванні 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 конденсаторів. Для їх підбору визначається

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	48

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 і є необхідною компенсуючою реактивною потужністю.

5.3. Вибір компенсуючих пристроїв в низьковольтних мережах

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.

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

Середній коефіцієнт потужності $\cos\varphi_1 = 0,85$

Цільовий коефіцієнт потужності $\cos\varphi_2 = 0,98$

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

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):

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

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

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

					ДП 2025 141	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

5.4 Вибір кількості, потужності та місця розміщення 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 електрощитовій поблизу трансформаторної підстанції, що дозволяє забезпечити зручний доступ для обслуговування та автоматизоване

						Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулювання ступенів компенсації за допомогою пристрою типу АКРП (автоматичного керування реактивною потужністю).

Централізоване розташування компенсаторів 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:

$$Q^2 = P_{\text{заг}} * \tan(\varphi^2) = 651.48 * \tan(18.2^\circ) \approx 214.1 \text{ квар}$$

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:

$$N = \left\lceil \frac{374.3}{50} \right\rceil = 8 \text{ модулів}$$

Фактична компенсуюча потужність:

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

					ДП 2025 141	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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:

$$\begin{aligned} \tan(\varphi_{\text{нов}}) &= 188.4 / 651.48 \approx 0.289 \quad \varphi_{\text{нов}} = \arctan(0.289) \approx 16.1^\circ \\ \Rightarrow \cos \varphi_{\text{нов}} &\approx 0.96 \end{aligned}$$

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-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.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

6.1. Розрахунок струмів короткого замикання на високій стороні

В електричних установках можуть виникати різні види коротких замикань, що супроводжуються різким збільшенням сили струму. Тому електроустаткування, встановлюване в системах електропостачання та електроспоживання, повинне бути стійким до струмів короткого замикання.

Розрахунки струмів короткого замикання (КЗ) здійснюються для вибору або перевірки параметрів електрообладнання, а також для вибору або перевірки уставок релейного захисту та автоматики.

Основна мета розрахунку полягає у визначенні періодичної складової струму КЗ для найбільш складного режиму роботи мережі. Врахування аперіодичної складової здійснюють наближено, допускаючи при цьому, що вона має максимальне значення в фазі, яка розглядається.

При розв'язанні більшості задач, що зустрічаються на практиці, можна ввести припущення, які спрощують розрахунки і не вносять суттєвих похибок. До таких припущень відносяться:

- вважається, що фази ЕРС всіх генераторів не змінюються протягом всього процесу КЗ;
- не враховується насиченість магнітних систем, що дозволяє вважати постійними і не залежними від струму індуктивні опори всіх елементів короткозамкнутого кола;
- нехтують намагнічувальними струмами силових трансформаторів;
- не враховують, крім спеціальних випадків, ємнісні провідності елементів короткозамкнутого кола на землю;
- вважають, що трифазна система є симетричною;
- вплив навантаження на струм КЗ враховують наближено;

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6. Розрахунок струмів короткого замикання		
Розроб.		Семко К.М.					
Перевір.		.Зінкевич П.О.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					Літ.	Арк.	Аркуші
						53	127
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

- при обчисленні струму КЗ зазвичай нехтують активним опором кола.

Вказані припущення разом зі спрощенням розрахунків призводять до деякого перебільшення струмів КЗ (похибка практичних методів розрахунку не перевищує 10 %, що прийнято вважати допустимим).

Розрахунок струмів КЗ виконується в такому порядку:

- для ділянки, яка розглядається, складається розрахункова схема;
- відповідно до розрахункової схеми складається електрична заступна схема;
- шляхом поступового перетворення заступну схему приводять до найбільш простого вигляду таким чином, щоб кожне джерело живлення або група джерел, яка характеризується певним значенням результуючої ЕРС, були пов'язані з точкою КЗ одним результуючим опором;
- знаючи результуючу ЕРС джерела та результуючий опір, за законом Ома визначають початкове значення періодичної складової струму КЗ, потім визначають ударний струм і при необхідності – періодичну і аперіодичну складові струму КЗ для заданого моменту часу.

На розрахунковій схемі електроустановки назначають точки, в яких передбачається КЗ. Потім для вибраної точки КЗ складають еквівалентну електричну заступну схему, яка за вихідними даними відповідає розрахунковій схемі, але в якій всі магнітні (трансформаторні) зв'язки замінені електричними.

Для визначення струмів КЗ складемо розрахункову схему (рис. 6.1, а) і електричну заступну схему (рис. 6.1, б).

Вихідними параметрами для розрахунку струмів КЗ є потужність системи $S_c = 500$ МВА, номінальна потужність трансформатора $S_{н.т} = 250$ кВ·А, напруга короткого замикання трансформатора $u_k = 4,5$ % та опір системи $x_c = 0$.

Визначимо струми короткого замикання у точці K_1 – на шинах напруги 10 кВ.

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

Параметри розрахункової схеми можуть бути задані в іменованих або відносних одиницях. При розрахунках в іменованих одиницях всі опори схеми повинні бути виражені в омах і приведені до однієї базової напруги (до середньої напруги одного електричного ступеня). Таке приведення необхідне, якщо між джерелом і точкою КЗ є один або декілька ступенів трансформації.

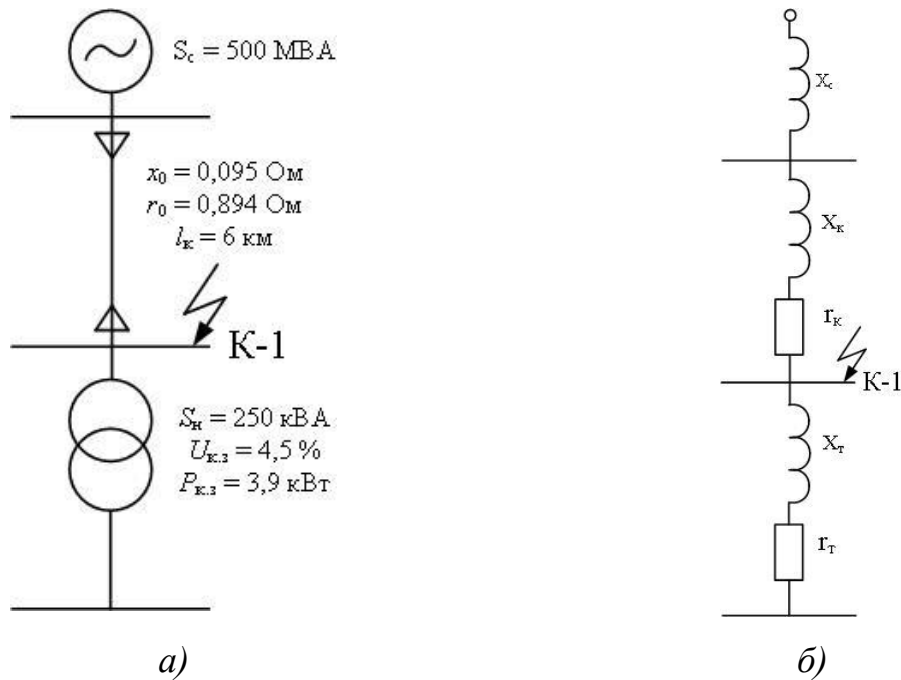


Рис. 6.1. Схеми розрахунку струмів короткого замикання на високій стороні

Якщо розрахунок виконується у відносних одиницях, то необхідно попередньо привести всі опори елементів заступної схеми до одних і тих самих базисних умов.

Розрахунок виконаємо у відносних базисних одиницях для цього задаємось для точки К₁ $U_{бк1} = 10,5$ кВ, $S_б = 100$ МВА.

Обчислюємо опір системи:

$$x_{с*б} = \frac{S_б}{S_c} = \frac{100}{500} = 0,2.$$

Визначаємо реактивний опір кабеля на високій стороні підстанції І1:

$$x_{1*б} = x_{01} \cdot l_1 \frac{S_б}{U_{бк1}^2} = 0,095 \cdot 6 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,52.$$

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

Обчислюємо активний опір кабеля l_1 :

$$r_{1*\bar{6}} = r_{01} \cdot l_1 \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}K1}^2} = 0,894 \cdot 6 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 4,87,$$

де $r_{01} = 0,894$ Ом/км – активний опір.

Сумарний реактивний опір для точки K1:

$$x_{\Sigma*\bar{6}K1} = x_{c*\bar{6}} + x_{1*\bar{6}} = 0,2 + 0,52 = 0,72.$$

Повний опір для точки K1:

$$z_{\Sigma*\bar{6}K1} = \sqrt{x_{\Sigma*\bar{6}K1}^2 + r_{1*\bar{6}}^2} = \sqrt{0,72^2 + 4,87^2} = 4,92.$$

Обчислюємо базисний струм для точки K1:

$$I_{\bar{6}K1} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{6}K1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}.$$

Визначимо струм короткого замикання у точці K1:

$$I_{K.3.K1} = \frac{I_{\bar{6}K1}}{z_{\Sigma*\bar{6}K1}} = \frac{5,5}{4,92} = 1,12 \text{ кА}.$$

Обчислюємо ударний струм короткого замикання у точці K1:

$$i_{уд.K1} = I_{K.3.K1} \cdot K_{уд} \cdot \sqrt{2} = 1,12 \cdot 1,4 \cdot 1,4 = 2,2 \text{ кА},$$

де $K_{уд}$ – ударний коефіцієнт, який можна прийняти 1,4 – для високої сторони.

Визначаємо повну потужність короткого замикання у точці K1:

$$S_{K.3.K1} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{K.3.K1} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1,12 = 19,4 \text{ МВА}.$$

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

Особливості розрахунку струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ:

1. Всі розрахунки виконуються у іменованих одиницях, опори елементів схеми заміщення враховують у МОм.
2. Беруться до уваги не тільки індуктивні, але й активні опори елементів.
3. Враховують опір живлячої системи, індуктивні, активні опори обмоток понижуючого трансформатора, опір відповідних елементів кіл, приєднаних до його вторинної обмотки (кабелі, проводи, шини, обмотки

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

трансформаторів струму та котушки автоматичних вимикачів), перехідні опори контактів комутаційної апаратури (рубильники, автоматичні вимикачі, контактори), контакти в місцях приєднання шин та кабелів. опори контактних з'єднань – болтових з'єднань шин, перехідний опір контакту в місці КЗ, також зажимних контактів апаратів тощо.

4. При обчисленні мінімального значення струму короткого замикання слід також враховувати опір дуги в місці короткого замикання.

Для обчислення струмів короткого замикання слід скласти розрахункову схему електроспоживальної ділянки й заступну схему до неї (рис 6.2-6-5).

Для обчислення струмів КЗ використаємо такі співвідношення:

а) трифазного, кА

$$I_K^{(3)} = \frac{U_\lambda}{\sqrt{3} \cdot Z_K},$$

де U_λ – лінійна напруга у точці короткого замикання, кВ;

Z_K – повний опір до точки КЗ, Ом.

б) двофазного, кА

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I^{(3)} = 0,87 \cdot I^{(3)},$$

в) однофазного, кА

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_n + \frac{Z_T^{(1)}}{3}}, \text{ кА},$$

де $U^{(1)}$ – фазна напруга у точці короткого замикання, кВ;

Z_n – повний опір петлі фаза-нуль до точки КЗ, Ом;

$Z_T^{(1)}$ – повний опір трансформатора однофазному КЗ, Ом.

г) K_y – ударний коефіцієнт, який вибирається за графіком із довідникових джерел і є функцією:

$$K_y = F \left(\frac{R_k}{X_k} \right),$$

де R_k , X_k – сумарний активний і реактивний опір до точки КЗ.

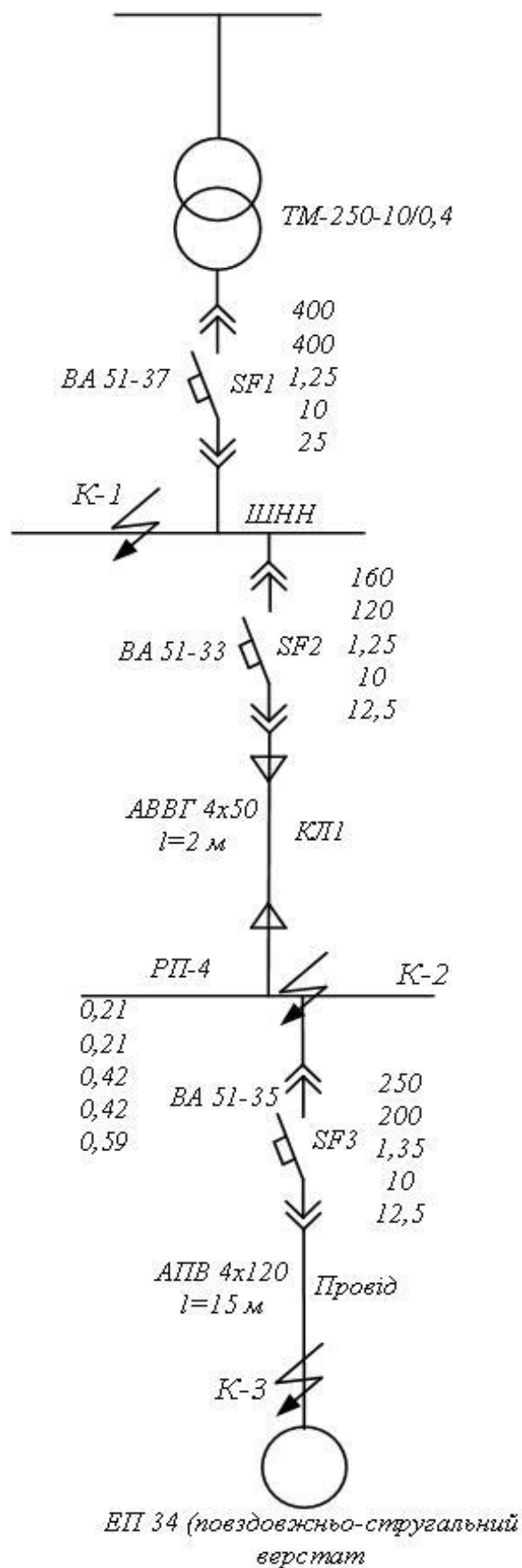
д) діюче значення ударного струму, кА:

$$I_y = q \cdot I_K^{(3)},$$

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

де q – коефіцієнт діючого значення ударного струму.

$$Q = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}$$



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 2025 141

Арк.

58

Рис. 6.2. Розрахункова схема для визначення трифазного струму короткого замикання на низькій стороні

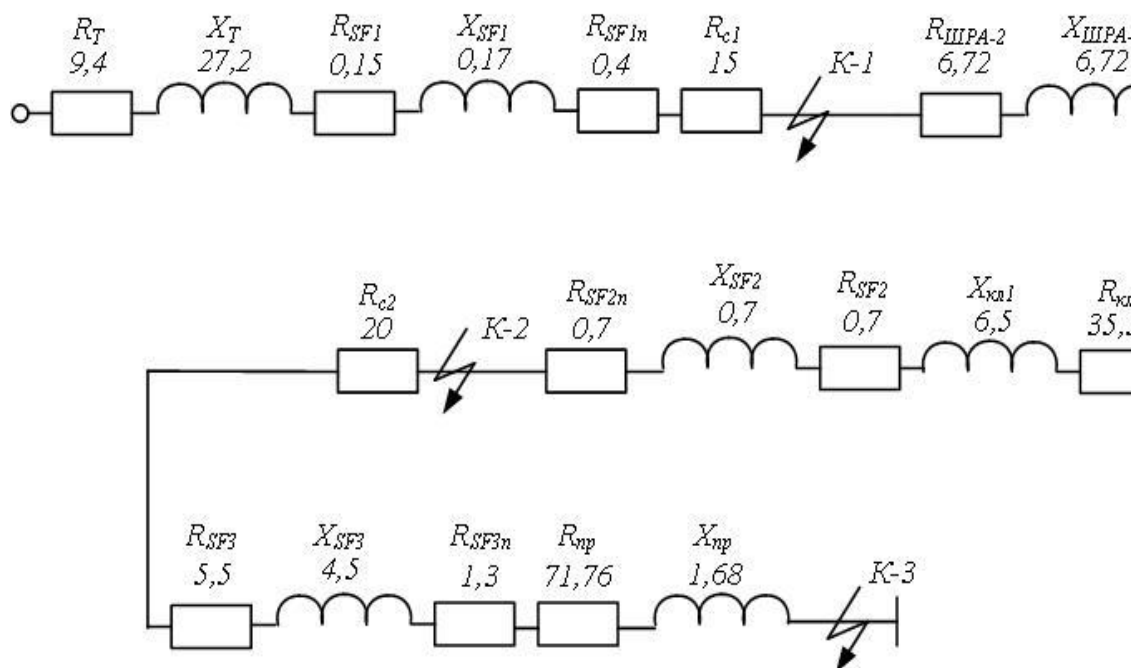


Рис. 6.3. Заступна схема для обчислення трифазного струму короткого замикання на низькій стороні

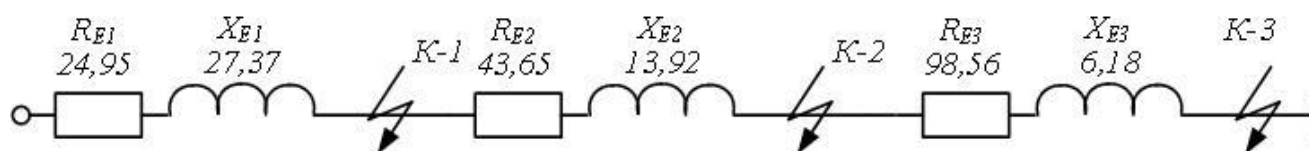


Рис. 6.4. Спрощена заступна схема

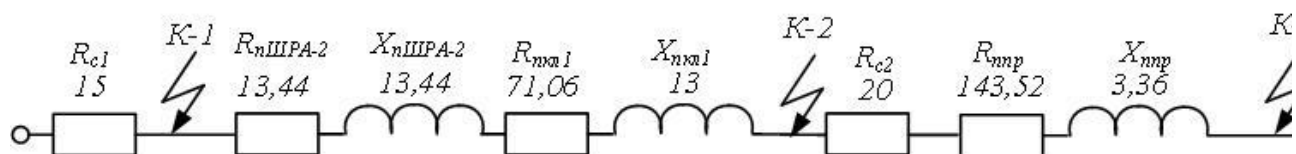


Рис. 6.5. Заступна схема для обчислення однофазного струму короткого замикання на низькій стороні

Активний R_L і реактивний X_L опори, обчислюються за формулами:

$$R_L = r_0 \cdot L; \quad X_L = x_0 \cdot L,$$

де r_0 , x_0 – питомі активний і реактивний опори лінії, мОм;

L – довжина лінії, м.

Обчислимо струм КЗ у лінії найбільш електрично віддаленого електроспоживача, що під'єднаний до СП-2 (№ 34 за планом – повздовжньо-стругальний верстат).

Точка К1

Опір до точки К1.

Із довідникових матеріалів виписуємо опори трансформатора ТМ-250

$$R_T = 9,4 \text{ мОм};$$

$$X_T = 27,2 \text{ мОм};$$

$$Z_T^{(1)} = 312 \text{ мОм}.$$

Перехідний опір першого ступеню розподілу приймаємо $R_{c1} = 15 \text{ мОм}$.

Для автоматичного вимикача ВА 51-37 з номінальним струмом $I_{ном} = 400 \text{ А}$.

$$R_{SF1} = 0,15 \text{ мОм};$$

$$X_{SF1} = 0,17 \text{ мОм};$$

$$R_{SF1П} = 0,4 \text{ мОм}.$$

Для першого ступеня розподілу приймаємо коефіцієнт ударного струму $K_{y1} = 1,1$.

Обчислюємо значення повного опору заступної схеми для точки К1

$$R_{E1} = R_T + R_{SF1} + R_{SF1П} + R_{C1} = 9,4 + 0,15 + 0,4 + 15 = 24,95 \text{ мОм}.$$

$$X_{E1} = X_T + X_{SF1} = 27,2 + 0,17 = 27,37 \text{ мОм}.$$

$$Z_{E1} = \sqrt{24,95^2 + 27,37^2} = 37 \text{ мОм}.$$

$$K_{y1} = F \left(\frac{\sum R_i}{\sum X_i} \right) = F(1,1) = 1,1.$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2 \cdot (K_{y1} - 1)^2} = 1$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot Z} = 380 / (1,73 \cdot 37) = 5,94 \text{ кА};$$

$$I_{yK1} = I_{K1}^{(3)} \cdot K_{y1} = 5,94 \cdot 1,1 = 6,53 \text{ кА}$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1}^{(3)} = 0,86 \cdot 5,94 = 5,11 \text{ кА};$$

Знаходимо значення повного опору заступної схеми однофазних струмів КЗ для точки К1

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

$$Z_{п1} = R_{C1} = 15 \text{ мОм};$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{п1} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = 220 / (15 + 312/3) = 1,85 \text{ кА}.$$

Для точки К2 розрахунок аналогічний з додаванням відповідних опорів наступних елементів заступної схеми.

Для кабеля марки АВВГ 4х95 активний і реактивний опір $r_0 = 0,329 \text{ мОм/м}$, $x_0 = 0,0602 \text{ мОм/м}$ і довжиною 108 м:

$$R_{кл} = 0,329 \cdot 108 = 35,53 \text{ мОм};$$

$$X_{кл} = 0,0602 \cdot 108 = 6,5 \text{ мОм}.$$

Результати розрахунку струмів КЗ наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Зведена таблиця розрахунку струмів короткого замикання на низькій стороні

№ п/п	R_K , мОм	X_K , мОм	Z_K , мОм	$Z_{КП}$, мОм	$I^{(3)}$, кА	$I^{(2)}$, кА	$I^{(1)}$, кА
К1	24,95	27,37	37	15	5,94	5,11	1,85
К2	68,6	41,49	80,2	103	2,74	2,36	1,06
К2	167,16	47,67	173,8	265	1,26	1,1	0,6

7. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ЖИВИЛЬНОЇ ТА РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ

7.1 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,

$$I = S / (\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi).$$

Після цього обирається тип провідника, найчастіше мідний, трижильний для трифазних навантажень або двожильний для однофазних, з урахуванням особливостей прокладки: відкритої, в трубі, у землі або в кабельному каналі. У даному випадку, для виробничого цеху з приміщеннями категорії ПШ, 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		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	7. Розрахунок і вибір провідників живильної та розподільчої мережі цеху		
Розроб.		Семко К.М.					
Перевір.		Зінкевич П.О.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Балута С.М.			Літ. Арк. Аркуші		
						62	127
					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.

Вихідні дані:

- кількість верстатів: 6
- потужність одного верстата: 14 кВт
- загальна активна потужність:

$$P = 6 \times 14 = 84 \text{ кВт}$$

- коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0,5$
- номінальна напруга мережі: $U = 380 \text{ В}$ (трифазна)

2. Розрахунок повної потужності:

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

3. Розрахунок робочого струму:

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

4. Вибір перерізу провідника:

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

5. Перевірка втрат напруги:

Припустимо довжину кабелю 50 м. Втрати:

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

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

Відносна втрата:

$$\Delta U\% = (4,84 / 380) \times 100\% \approx 1,27\% \text{ — в межах норми.}$$

Для живлення групи фрезерувальних верстатів сумарною потужністю 84 кВт при $\cos\varphi = 0,5$ 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.

7.2 Визначення характеристик труб для прокладки проводів до споживачів електричної енергії

Визначення характеристик труб для прокладки проводів до споживачів електричної енергії є невід'ємною частиною проектування 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.

						Арк.А
Зм.Зм	Арк.А	№ докум.	ПідписПі	Дата		64

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 фітінгів 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

					ДП 2025 141	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

групи фрезерувальних верстатів мідний кабель перерізом 95 мм² має типовий зовнішній діаметр $d = 38$ мм.

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.

7.3 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

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужність навантажень, які припадають на кожен силовий пункт. Для цього враховується 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

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						66

обладнання дорівнює 0,6, а номінальна напруга трифазної мережі — 380 В.

На першому етапі визначаємо повну потужність:

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

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:

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

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:

$$\Delta U = (2 \times 295,1 \times 60 \times 0,018) / 240 \approx 26,6 \text{ В} \quad \Delta U\% = (26,6 / 380) \times 100\% \approx 7,0\%$$

Це також дещо 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

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

допустимий струм, і обмежить втрати напруги у межах нормативів для надійного живлення потужних силових пунктів у виробничому цеху.

Для ремонтно-механічного цеху електричні мережі напругою до 1 кВ цеху виконаємо провідниками з алюмінієвими струмопровідними жилами, які з міркувань економічності під час проєктування СЕП використовуються найчастіше.

При виборі перерізів провідників для відгалужень до окремих електроприймачів за розрахункові струми I_p приймаються їх номінальні струми $I_{ном}$. Вибрані за нагріванням перерізи провідників повинні відповідати струмам захисних апаратів.

Для прикладу, вибираємо провід для фризера Hoyer Frigus 1200M.

Вибираємо провід марки АПВ4 (1×25) з $I_{доп} = 70$ А. Провід прокладається в полівінілхлоридній трубі під бетоном. Оскільки, $I_{доп} = 70$ А > 63 А, то провідник вибрано правильно. Провідники вибираємо за довідниковою літературою. Для всіх інших споживачів електричної енергії вибираємо провідники аналогічно наведеному вище розрахунку і результати вибору зводимо до табл. 7.1. Проводи закладають у повністю змонтовані труби з протяжними коробками, заздалегідь надівши на кінці труб пластмасові втулки для захисту ізоляції проводів при протягненні проводів.

Таблиця 7.1- Вибір перерізу проводів до споживачів електричної енергії цеху

№ ЕП за планом	I_p , А	I_z , А	$K_z \cdot I_z$	Марка і переріз провідника	$I_{доп}$, А
1	3	6,3	6,3	АПВ4 (1х2,5)	19
2	11	12	12	АПВ4 (1х2,5)	19
3	4	6,3	6,3	АПВ4 (1х2,5)	19
4	10	12	12	АПВ4 (1х2,5)	19
5	60,8	63	63	АПВ4 (1х25)	70
6	32	40	40	АПВ4 (1х16)	55
7	5,2	6,3	6,3	АПВ4 (1х2,5)	19
8	66,5	80	80	АПВ4 (1х35)	85

Повний перелік вибраних проводів наведено на Лист3 графічної частини.

Загальний вигляд проводу, що використовується в розподільчій мережі цеху показано на рис. 7.1.

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



Рис. 7.1. Загальний вигляд проводу марки АПВ та кабелю

Для збереження ізоляції від пошкоджень необхідно правильно вибрати діаметр труби, який залежить від діаметра та якості проводів, конфігурації трубопроводу, його довжини і наявності на ньому вигинів. Вибираємо труби за монограмою (с. 64 [1]), а потім за табл. 3.1 [1].

Підключення силових пунктів здійснюється за допомогою кабелів з алюмінієвми жилами полівінілхлоридною ізоляцією, марки АBBГ. Переріз кабелів за нагрівання визначається за таблицями допустимих струмів складених для нормальних умов прокладання, залежно від розрахункових значень тривалих допустимих струмових навантажень. Вибираємо кабель для підключення СП-1.

Для вибору перерізу кабелів використовуємо умови (6.1) та (6.2).

Вибираємо кабель марки АBBГ_{НГ-LS} 4×50, $I_{\text{доп}} = 105 \text{ А} > I_{\text{с}} = 100 \text{ А}$. Оскільки умова вибору виконується, відповідно кабель вибрано вірно. Для всіх інших груп споживачів вибір наведено в табл. 7.3. Загальний вигляд живильного кабелю марки АBBГ_{НГ-LS} показано на рис. 7.2.

Таблиця 7.3 - Вибір живильних кабелів

№ групи	I_3 , А	$K_3 \cdot I_3$	Марка і переріз провід силових пунктівника	$I_{\text{доп.}}, \text{ А}$
СП-1	100	100	АBBГ _{НГ-LS} 4x50	105
СП-2	200	200	2xАBBГ _{НГ-LS} 4x50	210
СП-3	100	100	АBBГ _{НГ-LS} 4x50	105
СП-4	320	320	2xАBBГ _{НГ-LS} 4x95	330
СП-5	320	320	2xАBBГ _{НГ-LS} 4x95	390

8. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ

8.1. 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						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Семко К.М.			8. Розрахунок електричного освітлення цеху			Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Зінкевич П.О.								71	127
Реценз.								ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			
Н. Контр.											
Затверд.		Балюта С.М.									

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 $70 \times 40 \times 6$ 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 ($Kз$): $Kз$

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

4. Коефіцієнт використання світлового потоку (η): η

$$= 0,5 \text{ (для світильників у приміщеннях з білими стелями та світлими стінами)}$$

5. Визначаємо необхідний загальний світловий потік: $F_{заг}$

$$= \frac{(E \times S \times Kз)}{\eta} = \frac{(300 \times 480 \times 1,5)}{0,5} = 422000 \text{ лм}$$

Для світлотехнічного розрахунку використовуємо програмний продукт DiaLux.

Індекс приміщення для верстатного відділення цеху згідно плану:

$$i = \frac{40 \cdot 70}{6,19 \cdot (40 + 70)} = 4,11$$

Окрім індексу приміщення, для знаходження коефіцієнта використання світлового потоку необхідно знати коефіцієнти відбиття стелі, стін і робочої

					ДП 2025 141	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхні: $p_{\text{п}} = 70 \%$, $p_{\text{с}} = 50 \%$, $p_{\text{р}} = 30 \%$ [3, табл. 5-1].

За [3, табл. 5-9] визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку для токарно-автоматного цеху - $\eta = 90 \%$.

Результати утворення загального освітлення надані на Лист 4 графічної частини проекту. Розміщення світильників показано на рис. 8.1.

Всього необхідно встановити у верстатному відділенні 77 світильників TRILUX E-Line7651LDAN55-1440ML840ETL225 01 IP64, технічна характеристика яких представлена на рис.8.2. Ізолюкси освітленості показані на рис. 8.3. освітленості .

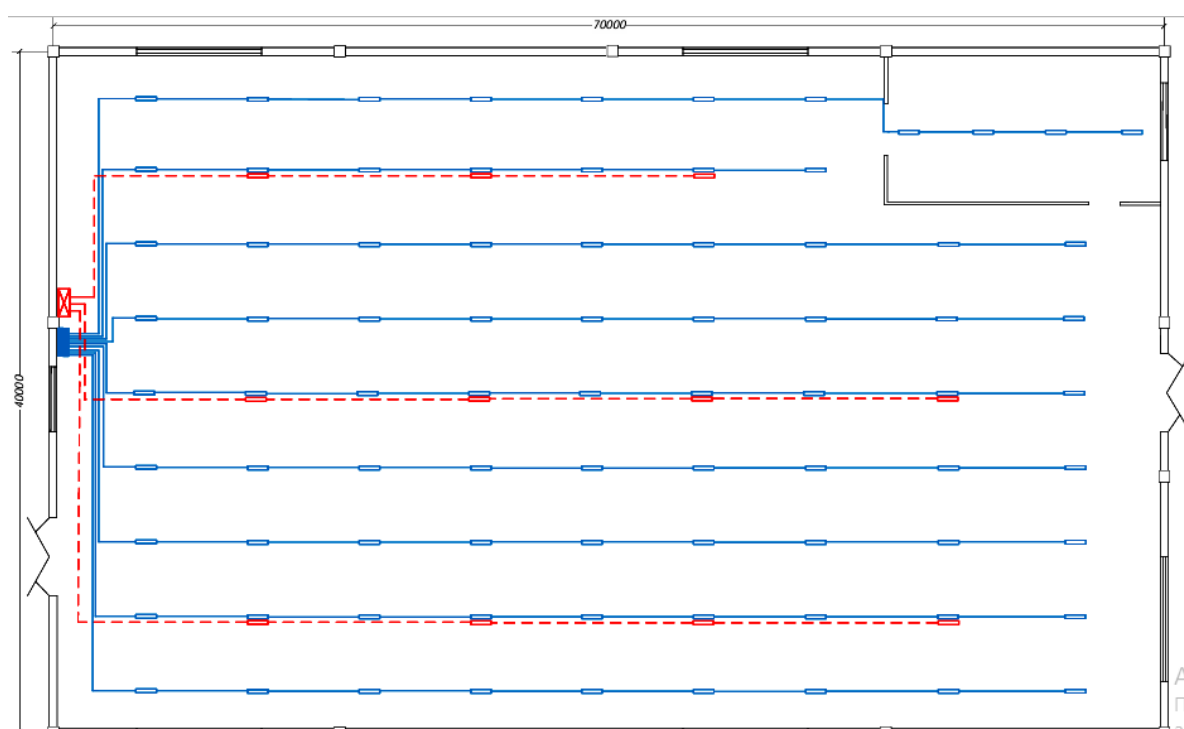


Рис.8.1. План розміщення світлодіодних світильників

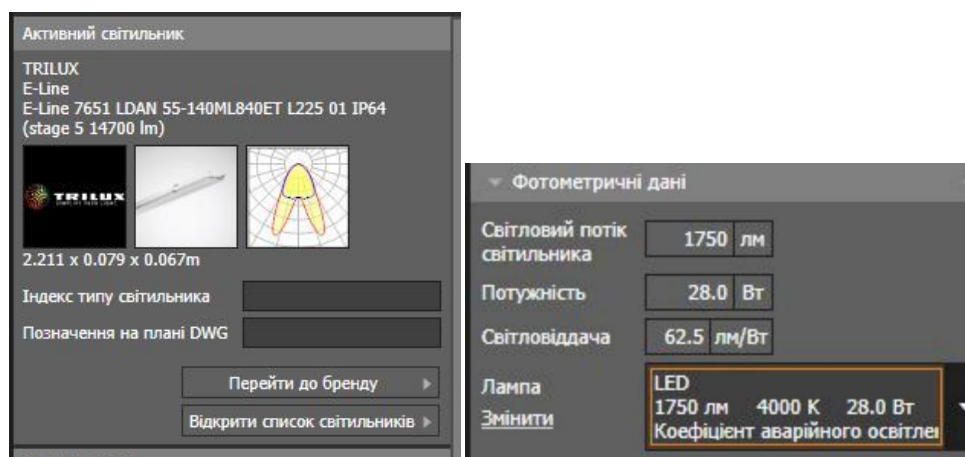


Рис.8.2. Фотометричні дані TRILUX E-Line7651LDAN55-1440ML840ETL225

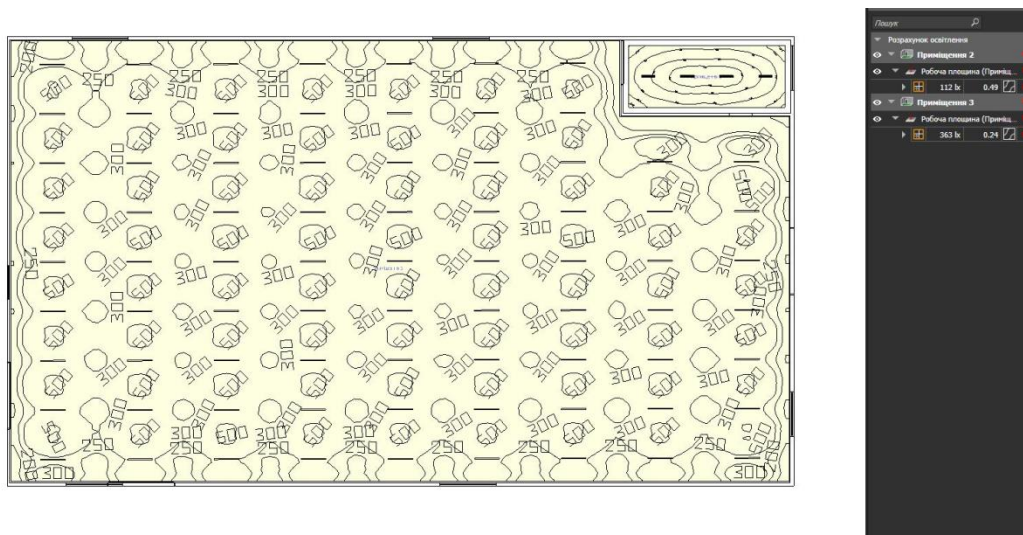


Рис 8.3. Ізолюкси освітленості верстатного відділення.

Для освітлення приміщення вентиляторної рекомендується встановити 4 світильника марки Філіпс (рис. 8.4), які забезпечать нормовану освітленість для даного приміщення $E_n = 100$ лк.(рис.

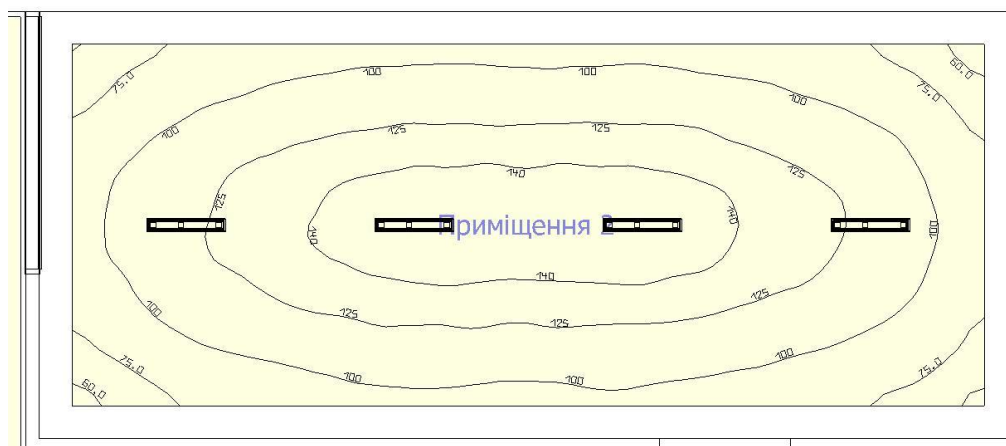
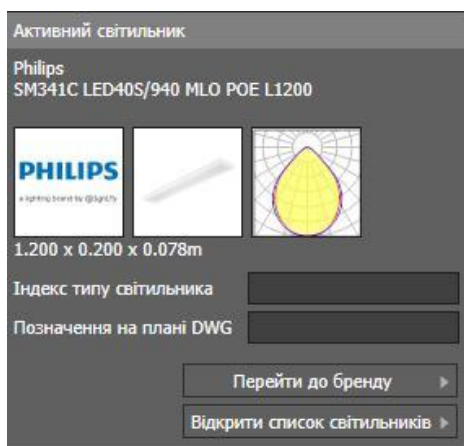


Рис.8.4.Параметри світильника для вентиляторної.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 2025 141

Арк.

74

8.2. 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

$$I = P / (\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi),$$

де P — активна потужність, U — лінійна напруга, $\cos\varphi$ — коефіцієнт потужності освітлювальної установки (для 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.

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

Встановлена потужність усіх світильників складає 2,04 кВт, розрахунковий струм освітлювальної мережі — близько 3,5 А, а з урахуванням коефіцієнта запасу — 4,3 А. Це дозволяє підібрати оптимальний переріз кабелю, автоматичні вимикачі та елементи мережі відповідно до навантаження, забезпечуючи надійність і безпеку експлуатації освітлювальної системи цеху.

Дана система монтується в шафі власних потреб, розташованому в блоці РП 0,4 кВ і включає: - контрольне фотореле ФР-7Е; - ряд живильних та захисних автоматичних вимикачів ВА47-29; - контактор КМІ-34012; - стаціонарний понижувальний трансформатор напруги змінного струму ОСМ1-0,1 220/5-22-220/36; - штепсельна розетка на 220 В, для підключення додаткового електроустаткування РАр10-3-ОП; - штепсельна розетка на 36 В для живлення переносних ремонтних світильників РШ-п-2; - ручка перемикачів режиму роботи панелі зовнішнього освітлення двох положень (ручне увімкнення, автоматичне увімкнення).

8.3. Вибір щитків освітлення, апаратів захисту та провідників

Щитки освітлення серії ЩО призначені для прийому і розподілу електричної енергії в освітлювальних установках виробничих, громадських, адміністративних та інших подібних будівлях, а також нечастого включення і відключення ліній групових кіл і їх захисту при перевантаженнях і коротких замиканнях.

Щитки освітлення приєднуються до трифазних мереж електроживлення напругою 380/220 В змінного струму частотою 50 Гц з і забезпечують можливість приєднання до чотирьох- і п'ятипровідних мереж живлення з типами заземлення системи відповідно TN-C, TN-S, TN-C-S.

Комплектується автоматичними вимикачами в залежності від числа вихідних групових ліній. Номінальні струми розчеплювачів на автоматах обумовлюються при замовленні.

Конструктивно ЩО – металева шафа з дверцятами, усередині якої, в залежності від виконання, встановлюється певна кількість модульних

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

автоматичних вимикачів. Для захисту від струмів витоку на землю встановлюються модульні автомати з уставкою спрацьовування 30, 100, 300 мА. Введення і виведення провідників передбачене як у верхній, так і в нижній частинах шафи.

За способом встановлення щитки поділяються на:
навісні, для встановлення на стінах, колонах і інших подібних конструкціях;
вмонтовувані, для встановлення в нішах стін.

Отже, за отриманими розрахунками вибираємо вводний триполюсний автоматичний вимикач серії серії ВА 51-31

$$I_p = 8 \text{ А}; I_z = 100 \text{ А}; I_{\text{ел.магн.}} = 24 \text{ А.}$$

Для вихідної групової лінії вибираємо однополюсний автоматичний вимикач серії серії ВА 51-25

$$I_p = 3,15 \text{ А}; I_z = 25 \text{ А}; I_{\text{ел.магн.}} = 44,1 \text{ А.}$$

Для захисту освітлювальних мереж слід застосовувати автоматичні вимикачі з розчеплювачами, що мають зворотно-залежну від струму характеристику, а саме тепловими нерегульованими або комбінованими (тепловими та електромагнітними), як нерегульованими, так і регульованими. Для живлення щитків освітлення вибираємо мідний кабель ВВГ 4×2,5 мм² з $I_{\text{доп}} = 25 \text{ А}$, а для живлення ліній освітлення трижильний провідник ВВГ 3×1,5 мм² з $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$.

Щиток робочого освітлення – ЩО08505-0306 на 6 приєднань.

Для аварійного освітлення в ремонтно-механічному цеху вибираються чотири світильники з LED лампою VIDEX A145 100W E40, а в коридорі чотири світильники з LED лампою VIDEX A65e 15W E27.

Потужність аварійного освітлення у відсотках від робочого приймається:

Для продовження роботи – 20 %; Для евакуації – 5 %.

Щиток аварійного освітлення – ЩО08505-0302 на 2 приєднання.

Щиток аварійного освітлення заживлюємо від сусідньої підстанції.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

9. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА

Експлуатуючи будь-яку електроенергетичну систему потрібно зважати на можливість виникнення у ній пошкоджень та ненормальних режимів роботи.

Для запобігання небезпечних наслідків пошкоджень та ненормальних режимів використовується комплекс спеціальних автоматичних пристроїв, що отримав назву релейний захист.

Реле – автоматично-діючий апарат, призначений виробляти стрибкоподібну зміну стану контрольованої мережі при заданих значеннях вхідної величини, що характеризує певне відхилення режиму контрольованого об'єкту.

Основним призначенням релейного захисту є:

- При виникненні пошкоджень виявляти і відключати пошкоджену ділянку, впливаючи на спеціальні силові вимикачі, що призначені для розімкнення струмів пошкодження;
- Виявляти ненормальні режими і, в залежності від характеру порушення, виробляти операції, необхідні для відновлення нормального режиму, або подавати сигнал черговому персоналу.

Основні вимоги до захисту від КЗ:

- Швидкодія

Швидке відключення пошкодженого обладнання або ділянки електроустановки зменшує розміри пошкоджень та зберігає нормальну роботу споживачів непошкодженої частини установки і запобігає порушенню паралельної роботи генераторів, електростанцій і енергосистеми в цілому.

Ця вимога пред'являється, коли в мережі виникає пробій напруги нижче $0,6 \cdot U_{\text{ном}}$.

		• Селективність			ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	9. Релейний захист та автоматика			
Розроб.		Семко К.М.						
Перевір.		Зінкевич П.О.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						
					Літ.	Арк.	Аркуші	
							78	127
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			

Селективністю називається здатність захисту вимикати при короткому замиканні лише пошкоджену ділянку мережі найближчими до місця КЗ вимикачами.

У відповідності зі способами забезпечення селективності при зовнішніх КЗ розрізняють дві групи захистів: з абсолютною селективністю і з відносною селективністю.

Абсолютну селективність мають захисти, селективність яких при зовнішніх КЗ забезпечується їх принципом дії, тобто захист здатний працювати тільки при КЗ на захисному об'єкті. Тому захисти з абсолютною селективністю виконуються без витримки часу.

Відносну селективність мають захисти, на які за принципом дії можна покласти функції резервних захистів при КЗ на суміжних елементах мережі. З урахуванням цього, такі запобіжні заходи в загальному випадку повинні виконуватися з витримками часу.

- Чутливість

Захист має володіти такою чутливістю в межах встановленої для нього зони, щоб забезпечувалася його дія на самому початку появи пошкодження.

Чутливість захисту має також забезпечити дію при пошкодженнях на суміжних ділянках мережі. Чутливість захисту повинна бути такою, щоб вона діяла при КЗ в кінці встановленої для неї зони в мінімальному режимі роботи системи і при замиканнях через електричну дугу.

- Надійність

Надійність полягає у тому, що захист має правильно і без відмови діяти у межах встановленої для нього зони і не має працювати неправильно у режимах, при яких його робота не передбачалася.

Надійність забезпечується досконалими принципами захисту та конструкцією апаратури, простим виконанням, а також рівнем експлуатації.

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

Основним захистом системи електроспоживання ремонтно-механічного цеху є автоматичні вимикачі.

9.1. Релейний захист трансформатора

Основними видами пошкодження у трансформаторі є: замикання між фазами всередині кожуха трансформатора та на зовнішніх висновках обмоток; замикання в обмотках між витками однієї фази (виткові замикання); замикання на землю обмоток або їх зовнішніх виводів, пошкодження магнітопроводу трансформатора, що призводять до появи місцевого нагріву та пожежі сталі.

Для трансформаторів з вищою напругою 10 кВ повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від наступних видів пошкоджень та ненормальних режимів роботи:

- 1) міжфазних коротких замикань в обмотках та на виводах (струмова відсікання без витримки часу);
- 2) струмів в обмотках, обумовлених зовнішніми КЗ (максимальний струмовий захист);
- 3) струмів в обмотках, обумовлених перевантаженням (максимальний струмовий захист від навантаження).

Максимальний захист трансформатора та струмова відсічка виконано із застосуванням пристрою мікропроцесорного захисту «SEPAМ Т-20».

SEPAМ серії 20 є терміналом для використання в простих захистах одного приєднання, заснованих на вимірюванні струмів або напруг. Наприклад: захист повітряних ліній із вбудованим АПВ; захист вводів та фідерів підстанції від міжфазних КЗ та замикань на землю; захист трансформаторів 10 кВ малої потужності від перевантажень (у тому числі тепловий захист з урахуванням температури навколишнього середовища та двома групами уставок для різних режимів обдування); захист двигунів від внутрішніх пошкоджень та пошкоджень, що залежать від

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

навантаження з контролем режиму пуску, включаючи захист від перевантажень (у тому числі термічний захист з урахуванням температури навколишнього середовища та кривої холодного стану, яку можна відрегулювати відповідно до характеристик двигуна).

Для цифрових терміналів SEPAM уставки розраховуються та задаються у первинних величинах або у відсотках від номінальних значень.

Максимальний струмовий захист трансформатора встановлюється з боку введів 10 кВ і одночасно є захистом вводу робочого живлення 0,4 кВ. На реакційних лініях 10 кВ МСЗ є єдиним захистом від міжфазних КЗ, оскільки при захисті цих ліній швидкодіючі захисти не застосовуються. МСЗ виконує функцію резервного захисту струмових захистів трансформатора при їх відмові або виведенні з дії. Вибір уставок спрацьовування МСЗ здійснюється за умови неспрацьовування захисту при самозапуску електродвигунів. Причому значення струмів самозапуску можуть значно перевищувати номінальні значення струмів трансформатора. При використанні як захисту цифрових терміналів SEPAM захист виконується із застосуванням трансформаторів струму у трьох фазах.

Захист повинен бути відбудований від максимально можливого струму навантаження, з урахуванням струмів самозапуску електродвигунів:

$$I_{\text{іаâ.іàêñ.}}^{\text{max}} = \frac{S_{\text{іаâ.іàêñ.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м.âí}}} ; \quad (9.1)$$

$$I_{\text{ñ.ç.}} = \frac{k_{\text{í}} \cdot k_{\text{ñçí}}}{k_{\text{â}}} \cdot I_{\text{іаâ.іàêñ.}} , \quad (9.2)$$

де $k_{\text{сзп}}$ – коефіцієнт самозапуску електродвигунів, приймається равним 1,3÷1,5;

$I_{\text{наг.макс.}}$ – максимальний струм навантаження, А.

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

Для цифрових терміналів SEPAM значення k_n приймають рівним 1,1, а k_v приймають 0,935. Максимальне навантаження приймаємо рівним сумарному розрахунковому навантаженню цеху з урахуванням компенсації реактивної потужності, тобто $\Sigma S_{\text{розр}} = 460 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

$$I_{\text{іа.а.Аі}}^{\text{max}} = \frac{460}{\sqrt{3} \cdot 10} = 26,6 \text{ А};$$

$$I_{\text{н.с.}} = \frac{1,1 \cdot 1,3}{0,935} \cdot 26,6 = 40,6 \text{ А}.$$

Чутливість МСЗ перевіряється за коефіцієнтом чутливості зі сторони 0,4 кВ:

$$k_{\pm} = \frac{I_{\text{іі}}^{(2)}}{I_{\text{н.с.}}} \geq 1,5, \quad (9.3)$$

де $I_{\text{іі}}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ на виводах трансформатора зі сторони 0,4 кВ.

$$k_{\pm} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right) \cdot 10^3}{40,6} = 5,97.$$

Захист чутливий.

Час спрацювання МСЗ визначимо за формулою:

$$t_{\text{іНс}} = t_{\text{п.іа.а.}} + \Delta t, \quad (9.4)$$

де $t_{\text{сп.попер.}}$ – час спрацювання попереднього захисту, с, у нашому випадку автоматичний вимикач встановлений на стороні 0,4 кВ. За рекомендаціями на термінали SEPAM застосовується тимчасова ступінь селективності $\Delta t = 0,3 \text{ с}$.

$$t_{\text{іНс}} = 0,03 + 0,3 = 0,33 \text{ с}.$$

Витримка часу МСЗ трансформатора приймається $t_{\text{н.а.}} = 0,33 \text{ с}$.

Розрахунок захисту від симетричних навантажень.

Захист від симетричних перевантажень на стороні 10 кВ призначений для виявлення режиму симетричних перевантажень трансформатора, що захищається. Захист від симетричних навантажень діє на сигнал. Цей захист, як правило, виконується за допомогою одного з ступенів МСЗ SEPAM. Захист від симетричних навантажень не

встановлюється на реакційних лініях напругою 10,5 кВ. Струм спрацювання захисту від навантаження визначається з виразу:

$$I_{\tilde{n}\tilde{\zeta}\tilde{i}} = \frac{k_{i\tilde{o}\tilde{n}}}{k_{\tilde{a}}} \cdot I_{\tilde{m} \cdot \tilde{o}} ; \quad (9.5)$$

$$I_{\tilde{n}\tilde{\zeta}\tilde{i}} = \frac{1,1}{0,935} \cdot 23,1 = 27,2 \text{ А.}$$

Час спрацювання захисту від симетричних перевантажень має перевищувати час спрацювання основних захистів трансформатора.

$$t_{i\tilde{A}\tilde{D}} = t_{i\tilde{n}\tilde{\zeta}} + \Delta t;$$

$t_{i\tilde{A}\tilde{D}} = 0,33 + 0,3 = 0,63$ с. Оскільки, захист від перевантаження діє на сигнал, то перевіряти чутливість нема необхідності. Витримка часу приймається $t_{\tilde{n},\tilde{a}} = 0,63$.

9.2. Перевірка спрацювання автоматичних вимикачів до струмів короткого замикання

Автоматичні вимикачі перевіряють за двох умов:

1. Надійність спрацювання:

$$I_k^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.р}, \quad (9.6)$$

де $I_k^{(1)}$ – однофазний струм короткого замикання на ділянці що розглядається, кА;

$I_{н.р}$ – номінальний струм теплового розщеплювача автоматичного вимикача на даній ділянці.

2. Відмикаюча здатність:

$$I_{відкл} > \sqrt{2} \cdot I_k^{(3)} \cdot K_c, \quad (9.7)$$

де $I_{відкл}$ – струм відключення автоматичного вимикача на даній ділянці електричної мережі, кА

$I_k^{(3)}$ – трифазний струм короткого замикання, кА;

K_c – коефіцієнт, що враховує вплив електричної дуги на коротке замикання, приймається рівним 1,4.

Зробимо перевірку раніше вибраних автоматичних вимикачів, на ділянці електричної мережі цеху.

Автоматичний вимикач SF1

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

Для вимикача SF1 ВА 51-39 (приєднання КТП-ШНН2):

$$I_{н.р} = 630 \text{ А}; I_{відкл} = 35 \text{ кА.}$$

Умова (9.6)

$$3 \cdot I_{н.р} = 3 \cdot 630 = 1890 \text{ А} = 1,89 \text{ кА};$$

$$I_{к1}^{(1)} = 2,95 \text{ кА}$$

Оскільки, $2,95 \text{ кА} \geq 1,89 \text{ кА}$ то умова виконується.

Умова (9.7)

$$\sqrt{2} \cdot I_{к1}^{(3)} \cdot K_c = 1,41 \cdot 8,14 \cdot 1,4 = 16,1 \text{ кА.}$$

Оскільки, $35 \text{ кА} > 16,1 \text{ кА}$ то умова виконується.

Автоматичні вимикачі SF2 та SF3

Для вимикача SF2 ВА 51-35 (ШНН2-СП-1):

$$I_{н.р} = 100 \text{ А}; I_{відкл} = 15 \text{ кА.}$$

Умова (9.6)

$$3 \cdot I_{н.р} = 3 \cdot 100 = 300 \text{ А} = 0,3 \text{ кА}; I_{к2}^{(1)} = 0,99 \text{ кА}$$

Оскільки, $0,99 \text{ кА} > 0,3 \text{ кА}$, то умова виконується.

Умова (9.7)

$$\sqrt{2} \cdot I_{к2}^{(3)} \cdot K_c = 1,41 \cdot 2,02 \cdot 1,4 = 4 \text{ кА.}$$

Оскільки, $15 \text{ кА} > 4 \text{ кА}$, то умова виконується.

Автоматичний вимикач SF4

Для вимикача SF4 ВА 51-31 (СП-1-ЕП8):

$$I_{н.р} = 80 \text{ А}; I_{відкл} = 7 \text{ кА.}$$

Умова (9.6)

$$3 \cdot I_{н.р} = 3 \cdot 80 = 240 \text{ А} = 0,24 \text{ кА}; I_{к3}^{(1)} = 0,88 \text{ кА (табл. 6.1).}$$

Оскільки, $0,88 \text{ кА} > 0,24 \text{ кА}$, то умова виконується.

Умова (9.7)

$$\sqrt{2} \cdot I_{к3}^{(3)} \cdot K_c = 1,41 \cdot 1,73 \cdot 1,4 = 3,4 \text{ кА.}$$

Оскільки, $7 \text{ кА} > 3,4 \text{ кА}$, то умова виконується.

Отже, відповідно до вище наведених умов перевірки, автоматичні вимикачі вибрані вірно.

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

10. ОБЛІК І ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

10.1. Доцільність систем обліку і контролю електроспоживання

Розміщення приладів обліку електроенергії повинна здійснюватися відповідно до вимог ПУЕ. На промислових підприємствах здійснюється розрахунковий облік активної електроенергії отриманої від енергопостачальної організації для фінансових розрахунків за неї і технічний облік для контролю за її використанням всередині підприємства. Лічильники для розрахунку споживача електроенергії з електропостачальною організацією рекомендується встановлювати на межі розподілу по балансовій належності мережі електропостачальної організації і споживача.

Розрахункові лічильники активної електроенергії на підстанції, що належить споживачеві, повинні встановлюватися:

1. На вводі (прийомному кінці) лінії електропередачі в підстанції споживача при відсутності електричного зв'язку з іншою підстанцією енергосистеми чи іншого споживача на живлячій напрузі.

2. На стороні вищої напруги трансформаторів підстанції споживача при наявності електричного зв'язку з іншою підстанцією енергосистеми при наявності іншого споживача на живлячій напрузі.

3. Допускається встановлення лічильників на стороні нижчої напруги трансформаторів у випадках, коли трансформатори струму, вибрані за струмом КЗ чи по характеристиках диференційного захисту шин, не забезпечують потрібної точності обліку електроенергії, а також коли у вмонтованих трансформаторах струму відсутня обмотка класу точності 0,5.

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	10. Облік і вимірювання параметрів системи		
Розроб.		Семко К.М.					
Перевір.		Зінкевич П.О.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.			Літ. Арк. Аркуші		
					85 127		
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

4. У випадку, коли встановлення додаткових комплектів трансформаторів струму зі сторони низької напруги силових трансформаторів для вмикання розрахункових лічильників неможливе (КРУ, КРУН) допускається організація обліку на лініях, що відходять 6 - 10 кВ.

5. Для підприємства, що розраховується з електропостачальною організацією по максимуму заявленої потужності, слід передбачити встановлення лічильника з показником максимуму навантаження при наявності одного пункту обліку, при наявності двох чи більше пунктів обліку – застосування автоматизованої системи обліку електроенергії.

6. На стороні середньої і низької напруги силових трансформаторів, якщо на стороні високої напруги застосування вимірювальних трансформаторів на потрібне для інших цілей.

7. На трансформаторах ВП, якщо електроенергія, що відпущена на власні потреби, не враховується іншими лічильниками; при цьому лічильники рекомендується встановлювати зі сторони низької напруги.

8. На межі розподілу основного споживача і стороннього споживача (субабонента), якщо від лінії чи трансформаторів споживачів живиться ще сторонній споживач, що знаходиться на самостійному балансі.

Для споживачів кожної тарифікаційної групи слід встановлювати окремі розрахункові лічильники.

Лічильники реактивної енергії повинні встановлюватися:

1. На тих елементах схеми, на яких встановлені лічильники активної енергії для споживачів, що розраховуються за електроенергію з врахуванням дозволеної для використання реактивної потужності.

2. На приєднаннях джерел реактивної потужності споживачів, якщо по них здійснюється розрахунок за електроенергію, видану в мережу енергосистеми, чи здійснюється контроль заданого режиму роботи.

Якщо зі сторони підприємства зі згоди енергосистеми здійснюється видача реактивної електроенергії в мережу енергосистеми, необхідно

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

встановлювати два лічильники реактивної електроенергії зі стопорами в тих елементах схеми, де встановлений розрахунковий лічильник активної електроенергії. У всіх інших випадках повинен встановлюватися один лічильник реактивної електроенергії зі стопором.

Для підприємства, що розраховується з енергопостачальною організацією по максимуму дозволеної реактивної потужності, слід передбачати встановлення лічильника з показчиком максимуму навантаження, при наявності двох чи більше пунктів обліку – застосування автоматизованої системи обліку електроенергії.

Установка стаціонарних лічильників або застосування інвентарних переносних лічильників технічного обліку повинна здійснюватися таким чином, щоб забезпечувалася можливість враховувати спожиту електроенергію по структурних підрозділах підприємств, енергоємних електроустановок, забезпечувалася можливість складання балансів електроенергії по підприємству і в окремих вузлах і можливість визначення втрат електроенергії за елементами електричної мережі і енергоємними електроустановками, для визначення витрати електроенергії на одиницю продукції чи напівфабрикату.

Допускається встановлення лічильників технічного обліку на вводі підприємства, якщо розрахунковий облік з цим підприємством ведеться за лічильниками, що встановлені на підстанціях чи електростанціях енергосистем.

На встановлення і зняття лічильників технічного обліку на підприємствах дозвіл енергопостачальної організації не потрібний.

Прилади технічного обліку на підприємствах (лічильники і вимірювальні трансформатори) повинні перебувати у віданні самих споживачів.

Клас точності трансформаторів струму і напруги для приєднання розрахункових лічильників електроенергії повинен бути не більше 0,5.

Допускається використання трансформаторів напруги класу точності 1,0 для вмикання розрахункових лічильників класу точності 2,0.

Для приєднання лічильників технічного обліку допускається використання трансформаторів струму класу точності 1,0, а також вмонтованих трансформаторів струму класу точності нижче 1,0, якщо для отримання класу точності 1,0 потрібне встановлення додаткових комплектів трансформаторів струму.

Трансформатори напруги, що використовуються для приєднання лічильників технічного обліку, можуть мати клас точності нижче 1,0.

Допускається застосування трансформаторів струму з завищеним коефіцієнтом трансформації (за умовами електродинамічної і термічної стійкості чи захисту шин), якщо при максимальному навантаженні приєднання струм у вторинній обмотці трансформатора струму буде складати не менше 40% номінального струму лічильника, а при мінімальному робочому навантаженні – не менше 5%.

Приєднання струмових обмоток лічильників до вторинних обмоток трансформаторів струму слід проводити, як правило, окремо від кіл захисту і спільно з електровимірювальними приладами.

Допускається здійснювати спільне приєднання струмових кіл, якщо роздільне їх приєднання потребує встановлення додаткових трансформаторів струму, а спільне приєднання не приводить до зниження класу точності і надійності кіл трансформаторів струму, що служать для обліку, і забезпечує необхідні характеристики пристроїв релейного захисту.

Використання проміжних трансформаторів струму для вмикання розрахункових лічильників забороняється.

Навантаження вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів, до яких приєднуються лічильники, не повинне перевищувати номінальних значень.

Переріз і довжина проводів і кабелів в колах напруги розрахункових лічильників повинні вибиратися такими, щоб втрати напруги в цих колах складали не більше 0,25 % номінальної напруги при живленні від трансформаторів напруги класу точності 1,0. Для забезпечення цієї вимоги допускається застосування окремих кабелів від трансформаторів напруги до лічильників.

Втрати напруги від трансформаторів напруги до лічильників технічного обліку повинні складати не більше 1,5% від номінальної напруги.

Для живлення кіл лічильників можуть застосовуватися як однофазні, так і трифазні трансформатори напруги, в тому числі чотири- і п'ятистержневі, що застосовуються для контролю ізоляції.

Лічильники повинні встановлюватися в шафах, камерах комплектних розподільчих пристроїв (КРУ, КРУН), на панелях, щитах, в нішах, на стінах, що мають тверду конструкцію.

Допускається кріплення лічильників на дерев'яних, пластмасових або металічних щитках.

Висота від підлоги до коробки затискачів лічильників повинна бути в межах 0,8-1,7 м. Допускається висота менша 0,8 м, але не менше 0,4 м.

10.2. Лічильники електричної енергії

Для обліку електроенергії використовують різні лічильники, що відрізняються за принципом роботи, призначенням й способами включення. Це індукційні й статичні пристрої, які дозволяють здійснювати облік активної й реактивно електроенергії щодо однофазних або трифазних споживачів при безпосередньому або трансформаторному включенні.

В якості лічильників для комерційного обліку електроенергії вибираємо лічильники типу СЕ304 концерну «Енергоміра» (рис. 10.1).

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

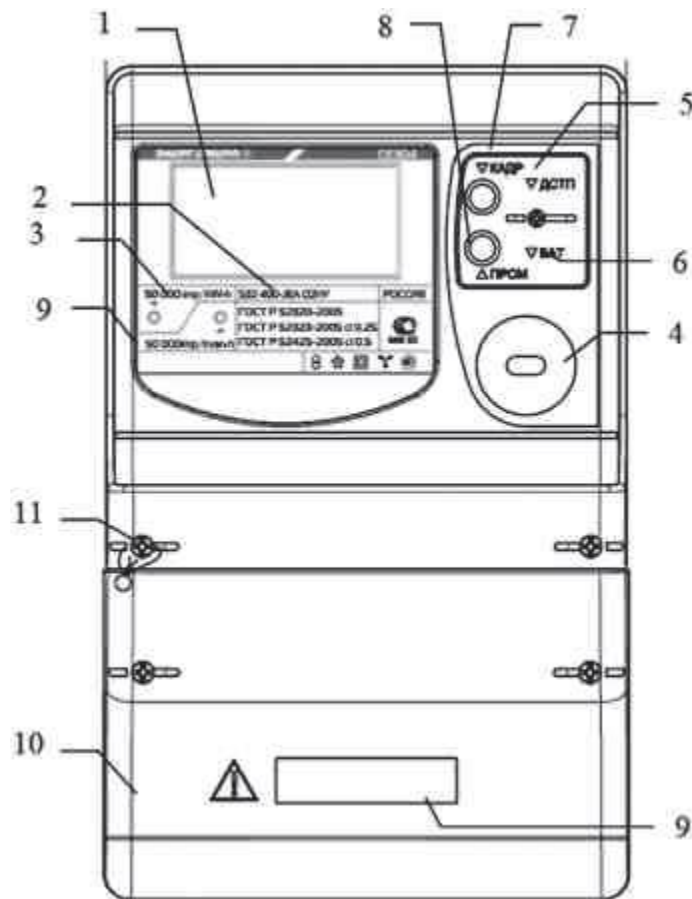


Рис. 10.1. Загальний вигляд лічильників СЕ304:

*1 – РКИ; 2 – світловий індикатор кількості реактивної енергії;
3 – світловий індикатор кількості активної енергії; 4 – елементи
оптичного порту (IrDA 1.0); 5 – кнопка ДСТП; 6 – літієва батарея; 7
– кнопка КАДР; 8 – кнопка ПРСМ; 9 – панель із написами; 10 –
кришка затискної колодки; 11 – місце пломбування*

Лічильник СЕ304 є трифазним універсальним приладом трансформаторного або безпосереднього включення (залежно від варіанта виконання) і призначений для виміру активної й реактивної електричної енергії, активної, реактивної й повної потужності, енергії втрат, частоти напруги, кута зсуву фаз, середньоквадратичного значення напруги й сили струму, коефіцієнтів перекручування синусоїдальності кривих напруги, коефіцієнтів n -х гармонійних складових напруги, коефіцієнта несиметрії напруг по зворотній послідовності, коефіцієнта несиметрії напруг по нульовій послідовності по трьох фазах в трифазних чотирипровідних колах змінного струму та організації багатотарифного

обліку електроенергії. Вид вимірюваної енергії й потужності визначається конфігурацією лічильника.

Лічильник може використатися в автоматизованих інформаційно-вимірювальних системах комерційного обліку електроенергії (AIBC KOE) для передачі обмірюваних або обчислених параметрів на диспетчерський пункт по контролю, обліку й розподілу електричної енергії. Для побудови систем AIBC KOE можуть використатися відповідні інтерфейси.

Результати вимірів виходять шляхом обробки й обчислення вхідних сигналів струму й напруги мікропроцесорною схемою основної плати лічильника. Установка додаткових плат, залежно від модифікації, дозволяє розширити можливості лічильника. Обмірювані дані й інша інформація відображаються на рідкокристалічному індикаторі (PKI).

Функціональні можливості

Лічильник дозволяє вимірювати 12 типів енергій (потужностей) роздільно по кожній фазі:

активну енергію (потужність) обох напрямків (A_i , A_e);

реактивну енергію (потужність) по чотирьох квадрантах ($R1-R4$);

енергію (потужність) втрат обох напрямків (L_i , L_e);

значення фізичних величин зовнішніх вимірників по чотирьох імпульсних входах (I_1-I_4).

Лічильник вимірює й розраховує енергії (потужності) по шести каналах обчислення. Тип енергії (потужності) кожного каналу обчислення визначається конфігурацією каналу.

Енергія (потужність) каналу обчислення є сумою кількості (величини) енергії (потужності) всіх типів енергій (потужностей) певних конфігурацією каналу обчислення.

Нагромадження енергії по тарифах і сумарно (наростаючим підсумком, за місяць, за добу), фіксація максимальних потужностей,

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

визначення перевищення ліміту потужності, запис профілів навантаження здійснюється по всім шести каналах обчислення.

Основні технічні характеристики наведені в табл. 11.1.

Устрій і робота лічильника. Конструкція лічильника

Лічильник виконаний у пластмасовому корпусі. Корпус лічильника в цілому складається з верхніх і нижньої частин, що сполучають по периметру, прозорого вікна й знімної кришки затискної колодки. На лицьовій панелі лічильника розташовані:

- рідкокристалічному індикатор;
- два світлових індикатори кількості активної й реактивної енергії;
- елементи оптичного порту;
- літієва батарея й кнопка ДСТП (під додатковою кришкою);
- кнопки КАДР і ПРСМ;
- панель із написами.

Таблиця 10.1 - Технічні характеристики лічильника СЕ304

Найменування характеристики	Значення характеристики		Примітка
1	2		3
Номінальні (максимальні) струми	1 (1,5); 5 (7,5) А		Залежно від модифікації
Базові (максимальні) струми	5 (50); 10 (100) А		
Номінальна фазна напруга	57,7; 220 В		
Номінальна частота мережі	50 ± 2,5 Гц		
Коефіцієнт несинусоїдальності напруги й струми вимірювальної мережі, %, не більше	8		
Поріг чутливості	Безпосеред- не включення	Трансформа- торне включення	Активна/реактивна енергія
	-0,001I _{ном}		0,2S; 0,5S/0,5
	0,004I _б ; 0,002I _{ном}		1/1
	0,005I _б ; 0,003I _{ном}		2/2
Повна потужність, споживана кожним ланцюгом струму, не більше	0,1 В·А		При номінальному (базовому) струмі
Повна (активна) потужність, споживана кожним ланцюгом напруги, не більше	4,0 В·А (2,0 Вт)		При номінальних напругах 57,7 В
	8,0 В·А (2,0 Вт)		220 В
Межа основної абсолютної похибки ходу годинника	± 0,5 с/доба		
Додаткова похибка ходу годинника при нормальній	±1 с /доба		

температурі й при відключеному живленні		
Ручна корекція ходу годинника, один раз у добу	± 29 с	Не більше 29 с на добу
Межа додаткової температурної похибки за часом	$\pm 0,15$ с /°C на добу	Від мінус 10 до 45 °C
	$\pm 0,2$ с /°C на добу	Від мінус 40 до 60 °C
Тривалість зберігання інформації при відключенні живленні	30 років	
Кількість тарифів	до 4	
Кількість тарифних зон	до 15	У добі
Кількість сезонів	до 12	
Кількість виняткових днів	до 32	
Кількість графіків тарифікації	до 36	Добові розклади перемикачів тарифів
Глибина зберігання каналів обліку накопичених по тарифах за місяць	до 13 місяців	
Глибина зберігання каналів обліку накопичених по тарифах за добу	до 46 діб	
Кількість профілів навантаження	до 16	Індивідуальний час усереднення для кожного
Глибина зберігання кожного профілю	до 330 діб	При часі усереднення 30 хв
Кількість реле керування навантаженням	до 2	Імпульсні виходи ТМ5 і ТМ6
Напруга резервного джерела живлення постійного струму	від 9 до 15 В	Навантажувальна здатність не менш 500 мА
Номінальна (припустима) напруга електричних імпульсних виходів, не більше	10 (24) В	Напруга постійного струму
Номінальне (припустиме) значення струму електричних імпульсних виходів, не більше	10 (30) мА	Напруга постійного струму
Номінальне (припустиме) значення струму електричних імпульсних виходів, не більше	10 (30) мА	Напруга постійного струму
Номінальна (припустима) комутувана напруга на контактах реле керування навантаженням, не більше	220 В (265 В)	Напруга змінного струму
Номінальне значення струму, що комутується, на контактах реле керування навантаженням, не більше	1А	Напруга змінного струму
Тривалість вихідних імпульсів	від 1 до 120 мс або меандр	Задається при програмуванні
Тривалість вхідних імпульсів (мінімальна)	від 1 до 255 мс	
Максимальна ємність кожного рахункового механізму	99 999 999 імп.	

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

імпульсних входів		
Швидкість обміну по інтерфейсах	від 300 до 115 200 Бод	
Швидкість обміну через оптичний порт	від 300 до 57 600 Бод	
Час інтервалу усереднення (період усереднення вибирається користувачем з ряду)	1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 12; 15; 20 30, 60 хв.	
Час відновлення всіх показань лічильника	1 с	
Час читання будь-якого параметра лічильника по інтерфейсі або оптичному порту	від 0,06 до 1000 с (при швидкості 9600 Бод)	Залежить від типу параметра
Початковий запуск, не більше	5 с	З моменту подачі напруги
Маса лічильника, не більше	2,0 кг	
Габаритні розміри (довжина; ширина; висота), не більше	278; 173; 90 мм	
Середній наробіток до відмови	120 000 год.	
Середній термін служби	30 років	
Захист від несанкціонованого доступу	Пароль лічильника Апаратне блокування	

Щоб одержати доступ до кнопки ДСТП (дозвіл програмування), необхідно видалити пломбу енергопостачальної організації, що встановила лічильник і відкрити додаткову кришку.

Затиски для приєднання лічильника до мережі, до джерела резервного живлення, до інтерфейсних ліній, до імпульсних входів і виходів, закриваються пластмасовою кришкою (рис. 10.1).

У корпусі розташовуються:

- плата лічильника (основна плата лічильника);
- модуль живлення;
- модуль імпульсних виходів;
- модуль імпульсних входів (при наявності, залежно від модифікації);
- один або два інтерфейсних модулі (залежно від модифікації);
- три вимірювальних трансформатори струму.

На рис. 10.2 наведене маркування колодки затискачів лічильників трансформаторного включення.

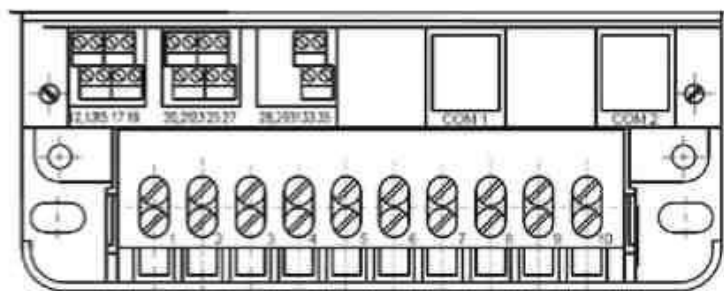


*Рис. 10.2. Зображення колодки затискачів лічильників
трансформаторного включення*

На рис. 10.3 зображена схема підключення лічильника трансформаторного включення СЕ304.

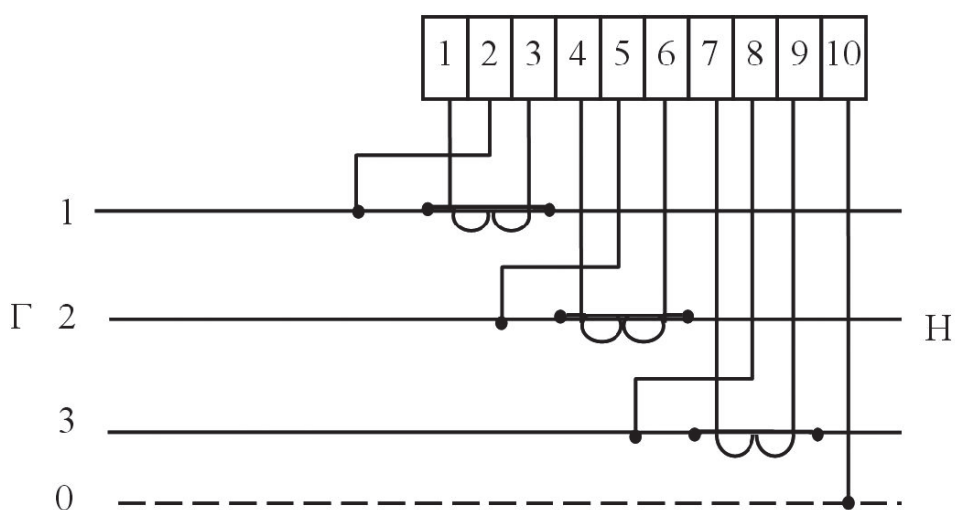


*Рис. 10.3. Схема підключення лічильника трансформаторного
включення СЕ304*

11 ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ

11.1. Нормування показників якості електричної енергії

Електрична енергія як продукт істотно відрізняється від продукції інших галузей промисловості тим, що вона не складається. Однак від якості електричної енергії значною мірою залежать умови роботи її споживачів. Тому забезпечення необхідної якості електричної енергії має велике народногосподарське значення. Очевидно, що підвищення її якості найчастіше пов'язано з додатковими витратами, тому що вимагає застосування додаткових технічних пристроїв.

Доцільно розрізняти наступні показники якості електричної енергії: гранично допустимі значення по технічним умовам, нормовані значення й оптимальні або економічно обґрунтовані. Ці значення можуть помітно розрізнятися і залежать від ряду умов. В основному, по технічним умовам допускаються гранично припустимі відхилення від номінальних значень. За умовами економічності часто доцільним виявляється їхнє зменшення.

Як правило, нормуватися можуть тільки значення, зумовлені технічними умовами. Оптимальні значення повинні визначатися в кожному конкретному випадку особливо, хоча деякі типові рішення не виключаються. Раніше вважалося, що на промислових підприємствах у мережах трифазного струму напруги повинні складати практично симетричну систему і повинні змінюватися практично синусоїдально в часі (за час одного періоду основної частоти). У дійсності положення різко змінилося за останні 25-30 років у зв'язку з широким застосуванням приймачів електричної енергії, що володіють несприятливими (з погляду роботи системи електропостачання) характеристиками.

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	11. Якість електроенергії в системі електроспоживання цеху		
Розроб.		Семко К.М.					
Перевір.		Зінькевич П.О.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					Літ.	Арк.	Аркуші
						96	127
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

До таких приймачів відносяться: вентильні перетворювачі, установки однофазного і трифазного електрозварювання, потужні електротермічні установки, зокрема дугові плавильні печі, потужні газорозрядні лампи тощо. Вольт-амперна характеристика таких пристроїв нелінійна. Це приводить до погіршення якості електричної енергії внаслідок значного порушення форми кривих струмів і напруг у системі електропостачання промислових підприємств.

В системах електропостачання ряду промислових підприємств сумарна частка участі електротермічних і вентильних навантажень може складати до 40 % і більше. Тому такі явища, як порушення симетрії напруг і синусоїдальності їхньої зміни в часі, приходиться вважати постійно діючими. Відповідно до нормативів вони повинні знаходитися в припустимих межах, у противному випадку необхідне проведення відповідних заходів щодо нормалізації положення.

Варто розрізняти показники якості електроенергії, зумовлені живильною електроенергетичною системою і приймачами електричної енергії. Так, наприклад, відхилення частоти залежить від живильної системи; коливання частоти, несинусоїдальність форми кривої напруги, коливання напруги, несиметрія напруг, зсув нейтралі викликаються роботою окремих приймачів електричної енергії.

Не всі показники якості електричної енергії мають жорстко нормовані значення. Так, за значенням і тривалістю нормуються тільки відхилення частоти, інші – тільки за значенням. Відхилення і коливання напруги нормуються за швидкістю зміни напруги; для інших показників якості електричної енергії швидкість зміни не встановлюється.

Варто мати на увазі, що якщо порушення технічних умов може бути помічене за непрямыми проявами (перегрів елементів електроустаткування, підвищена пошкоджуваність, збільшення браку продукції тощо), то зниження техніко-економічних показників роботи систем електропостачання промислових підприємств, транспорту і

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

побуту може залишатися непоміченим. Для його виявлення потрібен ретельний контроль, виконання розрахунків, зіставлення з іншими, аналогічними умовами і т.д. Якість електричної енергії можна поліпшити засобами живильної мережі або застосуванням відповідного додаткового устаткування на основі наявного досвіду проектних і експлуатаційних організацій.

Нормування значень показників якості електричної енергії відноситься до числа основних питань проблеми якості електричної енергії. Систему показників якості електричної утворюють кількісні характеристики повільних (відхилення) і швидких (коливання) змін діючого значення напруги, її форми та симетрії у трьохфазній системі, а також зміни частоти.

Показники електричної енергії діляться на дві групи: основні та додаткові.

До основних показників відносять: усталене відхилення напруги δU_y ; розмах зміни напруги δU_t ; доза флікера P_t ; коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U ; коефіцієнт n -ї гармонічної складової напруги $K_{U(n)}$; коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю K_{2U} ; коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю K_{0U} ; відхилення частоти Δf ; тривалість провалу напруги Δt_n ; імпульсна напруга U_{imn} ; коефіцієнт тимчасової перенапруги K_{nepU} .

До додаткових показників якості електроенергії відносять: частоту повторення зміни напруги $F_{\delta U_t}$; інтервал між змінами напруги $\Delta t_{i,i+1}$; глибину провалу напруги δU_n ; частість появи провалів напруги F_n ; тривалість імпульсу за рівнем 0,5 його амплітуди $t_{imn0,5}$; тривалість тимчасової перенапруги Δt_{nepU} .

Встановлено два види норм якості електричної енергії: нормально допустимі і гранично допустимі. Оцінка відповідності показників вказаним нормам проводиться у на протязі розрахункового періоду, рівного 24 год, у відповідності з вимогами нормативних документів.

					ДП 2025 141	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11.2. Технічні засоби контролю показників якості електроенергії

В якості приладу для контролю показників якості електричної енергії вибираємо прилад Fluke 1773, загальний вигляд приладу наведено на рис. 11.1.



Рис. 11.1. Загальний вигляд приладу Fluke 1773

Вимірювач показників якості електричної енергії «Fluke 1773» призначений для вимірювання характеристик напруги, включаючи основні показники якості електричної енергії (ПКЕ), а також характеристик струму, потужності та енергії змінного трифазного та однофазного струму, при роботі як в автономному режимі, так і у складі інформаційно-вимірювальних систем.

Область застосування: вимірювання показників якості, організація обліку кількості електроенергії на підприємствах промисловості та в енергосистемах, обстеження електромереж підприємств (енергоаудит), облік потоків потужності в енергосистемах, міжсистемних перетікань, вироблення та використання електроенергії.

Вимірювані характеристики

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

- показники якості електроенергії:
 - відхилення напруги, що встановилося;
 - відхилення частоти;
 - коефіцієнти несиметрії за нульовою та зворотною послідовністю;
 - коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги;
 - коефіцієнт n-ої гармонійної складової напруги;
 - тривалість та глибина провалу;
 - тривалість та коефіцієнт тимчасового перенапруги;
 - короткочасна та тривала дози флікера;
- чинне значення напруги симетричних складових;
- параметри струму:
 - чинне значення фазного струму;
 - чинне значення струму симетричних складових;
 - коефіцієнт спотворення синусоїдальності струму;
 - коефіцієнт n-ої гармонійної складової струму;
- кут фазового зсуву між струмом та напругою:
 - основний частоти;
 - n-х гармонійних складових;
 - симетричних складових;
- потужність, енергія:
 - активна прямого та зворотного напрямку;
 - реактивна індуктивного та ємнісного характеру;
 - повна.

11.3. Розрахунок втрат напруги на ділянці мережі цеху

Обчислимо втрати напруги на затискачах найбільш потужного і електрично віддаленого споживача електричної енергії цеху.

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

Наведений фрагмент електричної мережі складається з двох основних ділянок. Втрати напруги на цих ділянках знаходимо за формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \phi + x_0 \cdot \sin \phi), \text{ В}, \quad (11.1)$$

де I_p – розрахунковий струм лінії живлення;

l – довжина лінії;

r_0, x_0 – відповідно питомий активний і індуктивний опір лінії живлення.

Ділянка СП-1

$I_p = 77,5$ А (див. табл. 2.1); $l = 97$ м (згідно плану цеху); для кабелю марки АВВГ_{нг-LS} 4х50 активний і реактивний опір $r_0 = 0,625$ Ом/км, $x_0 = 0,0625$ Ом/км; $\cos \phi, \sin \phi$ знаходимо за $\tan \phi$:

$$\tan \phi = \frac{\sum Q_{cm}}{\sum P_{cm}} = \frac{27,62}{36,83} = 0,75.$$

Відповідно $\phi = 37^\circ$; $\cos \phi = 0,8$; $\sin \phi = 0,6$.

Тоді, за (11.1) отримаємо

$$\Delta U_{ШНН2-СП-1} = \sqrt{3} \cdot 77,5 \cdot 0,097 \cdot (0,625 \cdot 0,8 + 0,0625 \cdot 0,6) = 7 \text{ В},$$

Ділянка СП-1-ЕП8

$I_{\text{ном.}}^{\text{ПУ}} = 66,5$ А; $l = 16$ м (згідно плану цеху); для проводу марки АПВ4 (1х35) активний і реактивний опір $r_0 = 0,894$ Ом/км, $x_0 = 0,0637$ Ом/км; $\cos \phi = 0,8$; $\sin \phi = 0,6$.

$$\Delta U_{СП-1-ЕП8} = \sqrt{3} \cdot 66,5 \cdot 0,016 \cdot (0,894 \cdot 0,8 + 0,0637 \cdot 0,6) = 1,4 \text{ В}.$$

Сумарні втрати напруги на ділянці складуть

$$\Delta U = \Delta U_{ШНН2-СП-1} + \Delta U_{СП-1-ЕП8} = 7 + 1,4 = 8,4 \text{ В}.$$

або

$$\frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100\% = \frac{8,4}{380} \cdot 100 = 2,2 \%,$$

що не перевищує 5 %.

					ДП 2025 141	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Класифікації часових горизонтів ПЕН

На сьогоднішній день однією з ключових функцій у сфері управління споживанням електроенергії є прогнозування електричного навантаження (ПЕН). Цей процес передбачає оцінювання майбутнього споживання на основі наявних даних та інформації. Отримані прогнози можуть використовуватись для планування навантаження і розподілу, організації паливного забезпечення, технічного обслуговування генераторних установок, а також для задоволення попиту споживачів у різні пори року.

Останніми роками прогнозування навантаження стало одним з провідних напрямів досліджень в електроенергетиці. Попри це, ця задача залишається доволі складною. Це пояснюється, по-перше, тим, що часові ряди навантаження мають складну структуру та включають кілька рівнів сезонності. По-друге, значення навантаження в певний момент часу залежить не лише від аналогічного періоду попереднього дня, а й від значень навантаження за той самий час попереднього тижня. Крім того, існує низка зовнішніх факторів, що також значно впливають на результати прогнозування.

У науковій літературі наразі немає уніфікованої класифікації часових горизонтів прогнозування електричного навантаження. Однак більшість дослідників виокремлюють три основні типи прогнозів: короткострокове (STLF), середньострокове (MTLF) та довгострокове (LTLF).

Додатково також розглядається четвертий тип – дуже короткострокове прогнозування (VSTLF). Призначення та часові рамки кожного з типів

прогнозів наведені на рисунку 1.

ДП 2025 141

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	12. Інформаційна система прогнозування електричного навантаження електроенергії на підприємстві	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Семко К.М.						
Перевір.		Зінкевич П.О.					102	127
Реценз.						ННІТ ім. акад. І.С.Гулоого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

Ключові чинники, що впливають на споживання електроенергії, умовно поділяються на кілька основних груп:

- **Часові чинники:** до них належать година доби, день тижня, тиждень місяця, характер дня (робочий, вихідний, святковий або передсвятковий), а також місяць і сезон.
- **Економічні чинники:** включають рівень промислового розвитку, динаміку чисельності населення, валовий внутрішній продукт (ВВП), вартість електроенергії та інші економічні показники.



Рисунок 1

- **Аналіз факторів, що впливають на навантаження.**

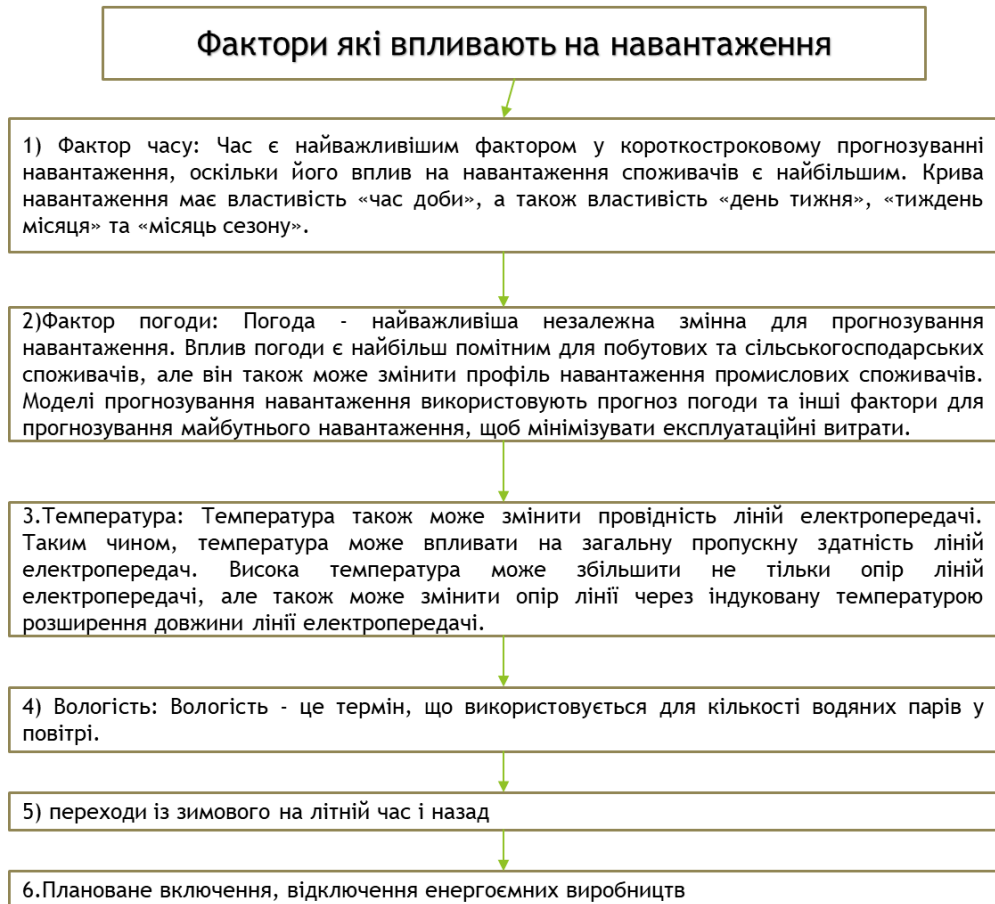


Рисунок 2

- **Погодні чинники:** зокрема температура повітря, швидкість вітру, вологість, хмарність і опади.
- **Астрономічні чинники:** наприклад, перехід між зимовим і літнім часом.
- **Технологічні чинники:** аварійні або планові відключення електроенергії, а також зупинка енергоємних підприємств.
- **Споживчі чинники:** тип споживача (житловий, комерційний, промисловий чи аграрний сектор), площа приміщень, чисельність персоналу, обсяг виробництва та рівень споживання електроенергії.

Для оцінки точності прогнозів електричного навантаження найчастіше використовуються такі показники, як **RMSE (корінь середньоквадратичної похибки)** та **MAPE (середня абсолютна відсоткова похибка)**.

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|, \quad (1)$$

Точність прогнозу, як правило, визначається середнім відхиленням передбаченого значення від фактичного, зокрема через показник MAPE, який є одним із найпоширеніших у дослідницькій практиці.

RMSE вимірює різницю між прогнозованим значенням і справжнім значенням (прогнозованим значенням, яке не випереджає реальне значення в той же час), це забезпечує точність прогнозу моделі. Мінімальне значення RMSE забезпечує добротність моделі. Також, на практиці широко використовують показник середньоквадратичної похибки (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{(\hat{y}_t - y_t)^2}{n}}; \quad (2)$$

де y_t - значення спостереження в момент часу t , $\hat{y}_t$ - прогнозоване значення в момент часу t , n - кількість точок даних у наборі.

Середньоквадратична похибка (RMSE) є показником, що оцінює різницю між прогнозованими та фактичними значеннями навантаження, які збігаються у часі (тобто прогноз не випереджає реальні дані). Цей показник дозволяє оцінити точність роботи моделі: чим менше значення RMSE, тим вища якість прогнозування. На практиці RMSE широко використовується як один із основних критеріїв для оцінювання ефективності моделей прогнозування.

Сучасні методи та моделі короткострокового однокрокового та багатокрокового ПЕН

Короткострокове прогнозування електричного навантаження (ПЕН) на промислових підприємствах і об'єктах цивільного призначення є складним і водночас надзвичайно важливим науковим завданням. Воно має стратегічне значення, оскільки сприяє впровадженню ефективних підходів до управління енергоспоживанням, а також забезпечує оптимальні та енергоефективні режими роботи систем електропостачання як у промисловості, так і в комунальному секторі.

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

Короткострокове ПЕН є невід’ємним елементом енергетичного планування, що охоплює питання резервування генеруючих потужностей, підвищення надійності систем, диспетчеризації, керування попитом, а також фінансового

планування.

На сьогодні розрізняють два основних підходи до реалізації короткострокового прогнозування:

Статистичні методи

Статистичні моделі описують процес генерації даних у спрощеній, ідеалізованій формі. Як правило, статистична модель відображає математичний зв’язок між стохастичними (випадковими) та детермінованими (невипадковими) змінними. Дослідженню статистичних підходів присвячено значну кількість праць вітчизняних і зарубіжних авторів. Найбільш поширені з них: метод експоненціального згладжування, множинна лінійна регресія, непараметрична регресія, моделі часових рядів Бокса-Дженкінса — AR, MA, ARMA, ARIMA, ARMAX, ARIMAX; індекс Херста; сезонні моделі SARIMA, SARMAX, SARIMAX; модель Хольта-Вінтерса.

Методи штучного інтелекту

Методи штучного інтелекту, зокрема в задачах STLF, демонструють високу ефективність, що обумовлено відносно низьким рівнем випадковості у короткострокових навантаженнях, а також високою точністю прогнозів. Традиційні статистичні моделі мають обмеження — складність в обробці великих обсягів даних і невисоку здатність до моделювання складних нелінійних залежностей. У зв’язку з цим машинне навчання та методи штучного інтелекту розглядаються як перспективна альтернатива.

У цій галузі активно досліджуються такі підходи, як штучні нейронні мережі (ANN), нейро-нечіткі системи (ANFIS), генетичні алгоритми (GA), метод опорних векторів (SVM), а також експертні системи на основі баз знань.

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

Типи прогнозування

У сфері прогнозування навантаження виокремлюють два основні типи:

- **Прогнозування на один крок уперед**, коли модель використовує історичні дані для передбачення значення наступного часового інтервалу.
- **Багатокрокове прогнозування**, яке дозволяє оцінити електроспоживання на декілька кроків уперед, формуючи більш довгостроковий погляд на зміну навантаження.

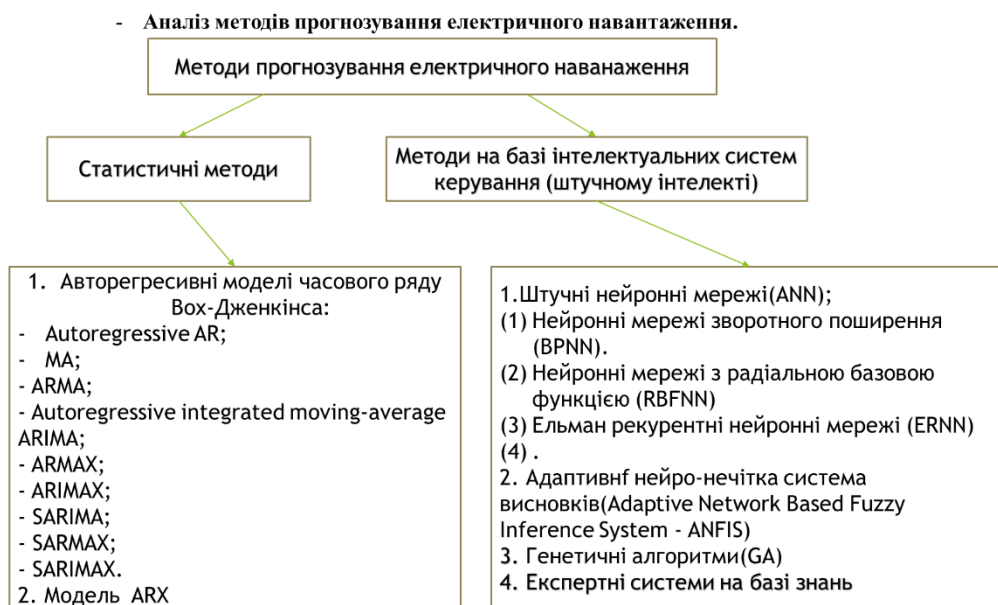


Рисунок 3

Нижче наведено переваги та недоліки методів ПЕН (таблиця 2).

Таблиця 2.

Переваги та недоліки ПЕН

Метод прогнозування	Переваги	Недоліки
Методи часових рядів(ARIMA)	- Методи часових рядів точно перевіряють хронологічні набори даних. - Методи часових рядів потребує менше історичних даних для операцій. - За допомогою статистичних методів часових рядів можна оцінити невизначеність короткострокового ПЕН	- Метод часових рядів не має глибоких закономірностей, що лежать в основі. - Попередні або хронологічні моделі часових рядів непридатні для довгострокового ПЕН
Штучні нейронні мережі(ANN)	-Нейронна мережа може обробляти відсутні дані та дані з шумом. -Нейронна мережа може	-Нейронні мережі є «чорним ящиком» і мають обмежену здатність чітко визначати можливі причинно-наслідкові

	обробляти велику кількість параметрів або змінних. -Нейронна мережа здатна надавати рішення для проблем прогнозування з дуже хорошим прогнозним результатом. - Нейронні мережі мають функцію безперервного навчання. -Нейронні мережі можуть працювати з нелінійними моделями.	зв'язки. -Складно реалізувати модель нейронної мережі. Вони використовують більше пам'яті для обчислювальної роботи. -У них є проблема надмірної посадки.
ANFIS	Комбінація ШНМ і нечітких систем, яка називається нейро-нечіткою системою, яка здатна усунути основні проблеми при проектуванні нечіткої системи та використовувати здатність ШНМ до навчання для автоматичної генерації нечіткого правила «якщо-тоді» та оптимізації параметрів.	• Чутливий до початкової кількості нечітких правил (кількості кластерів) • Складність обчислень зростає зі збільшенням кількості нечітких правил
SVM	- параметр регуляції, який дає змогу користувачу уникати надмірного припасування. - Для даного методу використовується трюк ядра, щоб отримати експертні знання про проблему шляхом розробки ядра. - SVM визначається проблемою опуклої оптимізації (немає локальних мінімумів), для якої існують ефективні методи.	- Найбільше обмеження підходу вектора підтримки полягає у виборі ядра. -Друге обмеження стосується швидкості та розміру, як на етапах навчання, так і на етапах тестування. Хоча SVM має хорошу продуктивність узагальнення, вони можуть бути значно повільнішими на етапі тестування

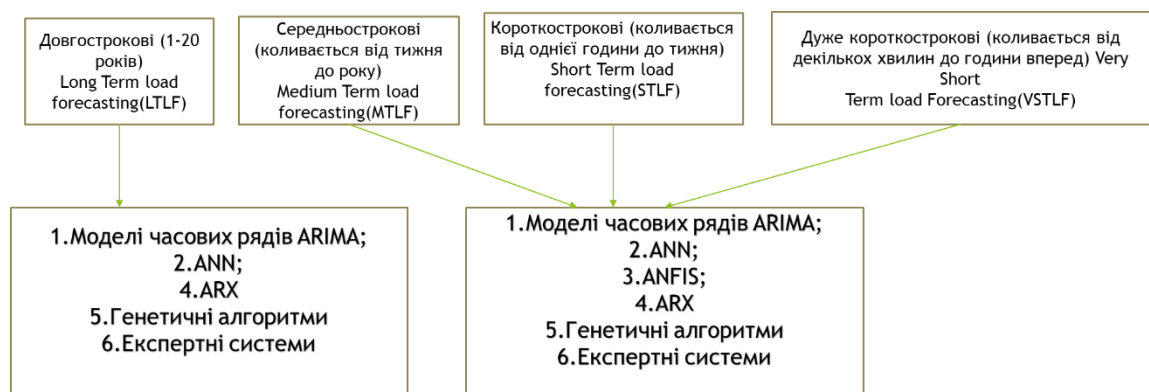


Рисунок 4

Авторегресивна інтегрована модель ковзного середнього (ARIMA)

Прогнозування часових рядів — це методологія, яка дозволяє передбачити майбутні значення на основі історичних даних, за умови

незмінності поточних тенденцій. Часовий ряд, або хронологічний ряд, являє собою послідовність спостережуваних значень змінної, упорядкованих за певними моментами часу, які зазвичай мають регулярну періодичність.

Однофакторний аналіз часових рядів полягає у побудові моделі на основі минулих спостережень для задовільного опису динаміки змінної та подальшого прогнозування її значень у майбутньому. Методи кількісного прогнозування застосовують математичні інструменти для систематичної обробки фактичної інформації з метою формування обґрунтованих передбачень.

Добре відомо, що моделі часових рядів дозволяють моделювати майбутню поведінку змінної, ґрунтуючись на її попередній динаміці. Однією з найпоширеніших моделей у цьому класі є ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average). Ця модель є узагальненням ARMA-моделі (авторегресійної моделі з ковзним середнім) і поєднує компоненти AR (autoregressive), I (integrated) та MA (moving average).

Модель ARIMA(p, d, q) складається з таких елементів:

- AR (p) – авторегресійна частина, що враховує залежність поточного значення ряду від p попередніх спостережень;
- I (d) – інтегруюча частина, яка забезпечує стаціонарність ряду шляхом різницювання d-го порядку;
- MA (q) – компонент ковзного середнього, який моделює залежність поточного значення від q попередніх залишків (похибок прогнозу).

$$x_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i x_{t-i} + \epsilon_i, \quad (3)$$

де x_t - стаціонарна змінна; c - константа; φ_i - коефіцієнти автокореляції; ϵ_i - залишки моделі, білий шум із нульовим середнім.

Проста форма MA моделі порядку q, тобто MA(q) може бути записана так:

$$x_t = \mu + \sum_{i=0}^q \theta_i \epsilon_{t-i}, \quad (4)$$

					ДП 2025 141	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де μ - математичне сподівання процесу (зазвичай вважається нульовим);
і θ_i - ваги; θ_0 - передбачається рівним 1; ϵ_{t-1} - це білий шум із нульовим середнім.

Поєднання цих двох моделей дає модель порядку ARIMA (p, q):

$$x_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i x_{t-i} + \epsilon_t + \mu + \sum_{i=0}^q \theta_i \epsilon_{t-i}, \quad (5)$$

Наївний прогноз

Даний підхід ґрунтується на формуванні прогнозу шляхом лінійного поєднання даних, отриманих у попередні дні з подібними характеристиками. Основна ідея таких моделей полягає в припущенні, що окремі фрагменти часових рядів із минулого можуть бути репрезентативними для майбутнього розвитку цього ж ряду. Хоча отримані таким способом прогнози зазвичай поступаються за точністю більш складним математичним або інтелектуальним методам, вони дозволяють сформулювати базове уявлення про можливу динаміку змін досліджуваних параметрів.

У найпростішій формі такий підхід зводиться до припущення, що *«завтра буде так само, як і сьогодні»*, що лежить в основі наївного прогнозування.

$$P_t = P_{t-24} \quad (6)$$

де P_i – прогнозне значення в i -ту годину доби в майбутньому; P_{i-24} – фактичне значення навантаження за 24 години до прогнозного часу.

Метод	Підхід	Точність	Переваги	Недоліки
Наївне прогнозування	Копіювання останнього значення	Низька	Простота, швидкість	Ігнорує тренди, сезонність
Метод схожих днів	Аналіз подібних днів у минулому	Низька–середня	Інтуїтивна зрозумілість, легко реалізується	Чутливість до вибору "схожості"
ARIMA	Статистичне моделювання часових рядів	Середня–висока	Враховує тренди, автокореляції	Потрібна стаціонарність ряду
Нейронні мережі	Глибоке навчання на основі даних	Висока	Виявляє складні залежності	Потребує великого обсягу даних, час на навчання
Гібридні моделі	Комбінація кількох підходів	Дуже висока	Гнучкість, універсальність	Складність реалізації, висока обчислювальна вартість

Адаптивна система нейро-нечіткого висновку (ANFIS)

Нечіткі нейронні мережі — це інтелектуальні системи, що поєднують у собі властивості штучних нейронних мереж (ANN) та механізми нечіткого логічного висновку. Концепція таких систем була запропонована Ж.С.Р. Чангом у 1993 році. Основна ідея полягає в інтеграції здатності нейромереж до навчання зі здатністю нечітких систем ефективно обробляти невизначену, нечітку інформацію на основі лінгвістичних правил.

Нечітка логіка є розширенням класичної булевої логіки та оперує значеннями істинності, які можуть набувати будь-якого дійсного значення в межах інтервалу $[0, 1]$. Це дозволяє враховувати поняття «часткової істини» та моделювати ситуації, де традиційне поділ на істинне або хибне є недостатнім. Нечіткі системи оперують правилами типу «якщо–то», що дозволяє відображати якісні аспекти людського мислення. Проте, такі системи не мають вбудованої здатності до навчання.

З іншого боку, **штучні нейронні мережі** можуть адаптуватися на основі вхідних даних, але не використовують чітко визначених правил. Саме тому їхня комбінація - **нейро-нечіткий підхід** - дозволяє об'єднати переваги обох методів: адаптивність нейронних мереж і прозорість, що забезпечується нечіткими правилами.

Нейро-нечітка система автоматично генерує правила типу «якщо–то» за допомогою нечіткої логіки, а потім оптимізує параметри цих правил, використовуючи навчальні алгоритми ANN. Завдяки цьому вона знаходить широке застосування у задачах управління, діагностики, прогнозування, розпізнавання образів та оптимізації енергоефективності.

Етапи побудови нечітких систем

1. **Фазифікація** – перетворення реальних значень вхідних змінних у нечіткі, тобто лінгвістичні змінні. Це передбачає визначення відповідних термів (наприклад, «низький», «середній», «високий») і побудову функцій

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

приналежності, які описують ступінь належності кожного значення до певного терму.

2. **База нечітких правил** – набір лінгвістичних конструкцій типу:

IF <умова> THEN <результат> Де умова може містити логічні зв'язки (AND, OR, NOT), а результат – набір відповідних нечітких висновків.

3. **Механізм нечіткого висновку** – комбінує результати окремих правил на основі їхнього ступеня істинності. Для операції AND використовується, як правило, мінімальне значення функцій приналежності в умовах правила.

4. **Дефазифікація** – перетворення отриманих нечітких (лінгвістичних) результатів у точні числові значення, придатні для практичного використання.

Гібридна система ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)

У середовищі MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox) широко застосовується модель **ANFIS**, яка реалізує нечіткий логічний висновок Сугено на базі нейронної мережі прямого поширення сигналу. Вхідними змінними системи виступають нечіткі лінгвістичні змінні, які описуються відповідними функціями належності (наприклад, трикутні, трапецієподібні, гаусові), тоді як вихідні значення можуть моделюватися лінійною або сталою функцією.

ANFIS складається з **п'яти шарів**, кожен з яких виконує певну функцію:

1. Визначення функцій належності для вхідних змінних;
2. Обчислення ступенів виконання правил;
3. Нормалізація цих ступенів;
4. Генерація часткових виходів;
5. Агрегація для отримання фінального числового результату.

Π_i : якщо x_1 це A_{i1} і x_2 це A_{i2} і ... і x_j це A_{ij} і ... і x_n це A_{in}

$$\text{то } y_i = c_{i0} + \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j, i = \overline{1, m}, \quad (7)$$

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

де i і j відповідно номер правила і номер вхідної змінної, x_j , $j = \overline{1, n}$ – вхідні змінні, c_{ij} – коефіцієнти аргументів функції, c_{i0} – зміщення, $A_{ij} = \{x_j, \mu_{A_{ij}}(x_j)\}$ – нечіткі множин з дзвоноподібними функціями приналежності $\mu_{A_{ij}}(x_j)$, $i = \overline{1, m}$.

Умова (x_j це A_{ij}) реалізується узагальненою функцією Гауса окремо для кожної змінної x_j , $j = \overline{1, n}$:

$$\mu_{A_{ij}}(x_j) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x_j - c_{ij}}{\sigma_{ij}} \right)^{2b_{ij}}}, i = \overline{1, m}. \quad (8)$$

Параметри $c_{ij}, \sigma_{ij}, b_{ij}$ центра, кривизни та форми узагальненої функції Гауса підлягають уточненню в процесі навчання ANFIS.

Шар 1. Знаходяться значення функції приналежності $\mu_{A_{ij}}(x_j)$ нечітких множин (термів) A_{ij} кожного значення x_j , $j = \overline{1, n}$ вхідних змінних. Кожному вузлу (нейрону) першого шару відповідає один терм з дзвоноподібною функцією приналежності регульованими параметрами. Входи мережі з'єднані лише зі своїми термами. Кількість вузлів першого шару дорівнює сумі числа терм-множин кожної вхідної змінної. Якщо, наприклад, вхідних змінних n , а кількість термів кожної змінної m , то кількість вузлів дорівнює $n \cdot m$.

Виходом вузла є ступінь (кількісна міра) належності x_j до нечіткої множини A_{ij} . Чим вище ступінь належності, тим більшою мірою x_j відповідає властивостям нечіткої множини (терму).

Шар 2. В другому шарі мережі кількість вузлів відповідає числу нечітких множин і дорівнює m . Кожен вузол другого шару відповідає конкретному нечіткому правилу. Ці вузли з'єднані із вузлами першого шару, які формують ступінь належності до відповідного правила. Тому кожен вузол другого рівня

може приймати від 1 до n вхідних сигналів. Вихід вузла (тобто нейрона) - це рівень активації правила, який розраховується за такою формулою:

$$W_1 = \min(\mu_{A_{11}}(x_1), \mu_{A_{12}}(x_2), \dots, \mu_{A_{1j}}(x_j), \dots, \mu_{A_{1n}}(x_n)), \quad (9)$$

$$W_2 = \min(\mu_{A_{21}}(x_1), \mu_{A_{22}}(x_2), \dots, \mu_{A_{2j}}(x_j), \dots, \mu_{A_{2n}}(x_n)), \quad (10)$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$W_i = \min(\mu_{A_{i1}}(x_1), \mu_{A_{i2}}(x_2), \dots, \mu_{A_{ij}}(x_j), \dots, \mu_{A_{in}}(x_n)), \quad (11)$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$W_m = \min(\mu_{A_{m1}}(x_1), \mu_{A_{m2}}(x_2), \dots, \mu_{A_{mj}}(x_j), \dots, \mu_{A_{mn}}(x_n)) \quad (12)$$

У третьому шарі нейронної мережі **ANFIS** виконується **нормалізація величин активації** кожного нечіткого правила, які були розраховані на попередньому етапі у шарі 2. Цей процес дозволяє оцінити **відносний внесок кожного правила** у формування остаточного результату.

Вузли третього шару реалізують так звану **нормалізуючу функцію**, яка визначає нормалізовану величину активації для i -го правила:

$$\bar{W}_i = \frac{W_i}{\sum_{j=1}^m W_j}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (13)$$

Кількість вузлів у третьому шарі також дорівнює mmm , що відповідає числу нечітких правил системи.

Шар 4

Четвертий шар мережі містить mmm вузлів, кожен з яких пов'язаний із відповідним вузлом третього шару та отримує доступ до всіх вхідних змінних мережі. Основне завдання вузлів четвертого шару полягає у розрахунку внеску кожного нечіткого правила у формування точного (чіткого) вихідного значення.

Для кожного i -го вузла четвертого шару обчислюється функція виду:

$$\bar{W}_i y_i = \bar{W}_i \left(a_{i0} + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \right), \quad i = \overline{1, m} \quad (14)$$

					ДП 2025 141	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шар 5. Єдиний нейрон цього шару підсумовує вихідну величину y :

$$y = \sum_{i=1}^m \bar{W}_i y_i = \frac{\sum_{i=1}^m W_i y_i}{\sum_{i=1}^m W_i}. \quad (15)$$

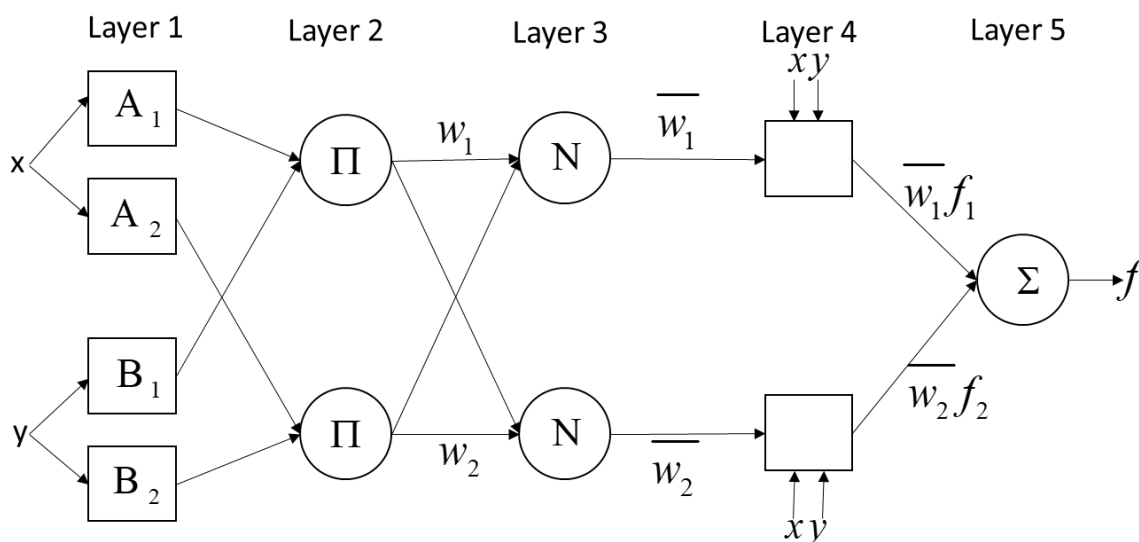


Рисунок 4. Архітектура моделі ANFIS.

А. Модель Grid Partitioning; (Розбиття сітки)

У цьому методі вхідні дані діляться на прямокутні підпростори, які відповідають певним значенням вхідних параметрів. Кожен параметр поділяється на функції належності, що мають однакову форму.

Кількість нечітких правил «якщо-то» обчислюється як MnM^nMn , де nnn — кількість вхідних змінних, а MMM — кількість нечітких підмножин, на які розбивається кожна змінна. Така сітка формується без врахування фізичного змісту або розподілу щільності даних. Кожен елемент сітки слугує для генерації нечітких правил на основі навчальних вхідно-вихідних даних, що дозволяє забезпечити швидке навчання та оптимізувати час обчислень. Водночас, ефективність цього методу значною мірою залежить від розміру вхідного набору та щільності сітки: як правило, більш дрібна сітка підвищує продуктивність моделі. Для оптимізації розмірів і положення нечітких областей у сітці може застосовуватись адаптивне порціонування.

В. Модель субтрактивної кластеризації

Метод субтрактивної кластеризації полягає у створенні оптимально налаштованих кластерів для кожної вхідної змінної. Для кожного кластеру формується окреме правило. Алгоритм розглядає кожну точку даних як потенційний центр кластера і спочатку обчислює міру щільності для кожної з

них. Для набору даних ця міра визначається за формулою:

$$D_i = \sum_{j=1}^n e^{\left[\frac{-x(x_i - x_j)}{(r_a / 2)} \right]} \quad (3.16)$$

Точка даних, яка має багато сусідніх точок поблизу, характеризується високою мірою щільності. Радіус визначає область навколо точки, у якій враховується мінімальна кількість сусідніх точок даних. Точка з найбільшим значенням щільності обирається як перший центр кластера. Далі цей радіус використовується для визначення околиць, у межах яких щільність навколишніх точок знижується.

$$D_i = D_i - D_{ci} e^{\left[\frac{-(x_i - x_{ci})}{(r_b / 2)} \right]} \quad (3.17)$$

С. Модель FCM Clustering. Кластеризація FCM

Метод нечіткої кластеризації С-середніх (FCM) базується на концепції нечіткого множинного належання та методі найменших квадратів (LSE) і є вдосконаленням класичного методу кластеризації С-середніх, запропонованого Бездеком. Цей підхід полягає у поділі простору даних на області, де кожен елемент належить до кластеру з певним ступенем приналежності, а не категорично.

Метод FCM розподіляє множину з m векторів x_i , $i=1,2,\dots,m$, на c нечітких кластерів, одночасно визначаючи центр кожного кластера шляхом мінімізації цільової функції, що вимірює розбіжність між елементами та центрами кластерів. На відміну від традиційних методів, де кожен елемент належить лише одному кластеру (ступінь приналежності 0 або 1), у FCM елементи можуть належати одночасно до кількох кластерів із ступенем приналежності від 0 до 1.

Кількість кластерів, яка відповідає кількості нечітких правил, задається користувачем .

Крок 1: Ініціалізується параметр та матриця приналежності зі випадковими значеннями від 0 до 1, що задовольняють певні умови (рівняння).

$$u_{ij} = \left[\sum_{k=1}^c \frac{\|x_j - v_j\|^{\frac{2}{m-1}}}{\|x_j - v_j\|} \right]^{-1} \quad (18)$$

Тут обчислення відстані між вхідними даними та центром кластера виходить за евклідовою нормою

$$d_{ik} = d(x_k - v_i) = \left[\sum_{j=1}^n (x_{ki} - v_{ij})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

Крок 2: центральне значення нового кластера обчислюється за значеннями $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ вхідних даних і раніше отриманої функції належності u_{ij} .

$$v_{ik} = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m x_{kj}}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m} \quad (20)$$

Крок 3: Використання центрального значення u_{ij} отримані на кроці 2 і вхідні дані E , матриця приналежності u_{ik} постійно оновлюється при збільшенні кількості ітерацій r .

$$u_{ik}^{(r+1)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left[\frac{d_{ik}^r}{d_{jk}^r} \right]^{\frac{2}{m-1}}} \quad (21)$$

Крок 4: Вищенаведена процедура повторюється до помилки повторюваної матриці членства u^r і u^{r+1} менше довільного порогового значення Δ .

$$\Delta = \|u^{r+1} - u^r\| = \max_{ik} |u_{ik}^{r+1} - u_{ik}^r| \quad (22)$$

Блок-схема роботи ANFIS (Адаптивної Нечіткої Інференсної Системи)

1. Вхідні дані

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

○ Подаються на вхід нечіткої системи як числові значення (рисунок 5).

2. Шар 1: Обчислення функцій приналежності (ФП)

○ Кожен вхідний параметр перетворюється у ступінь належності до нечітких множин (термів).

○ Наприклад, для температури: низька, середня, висока.

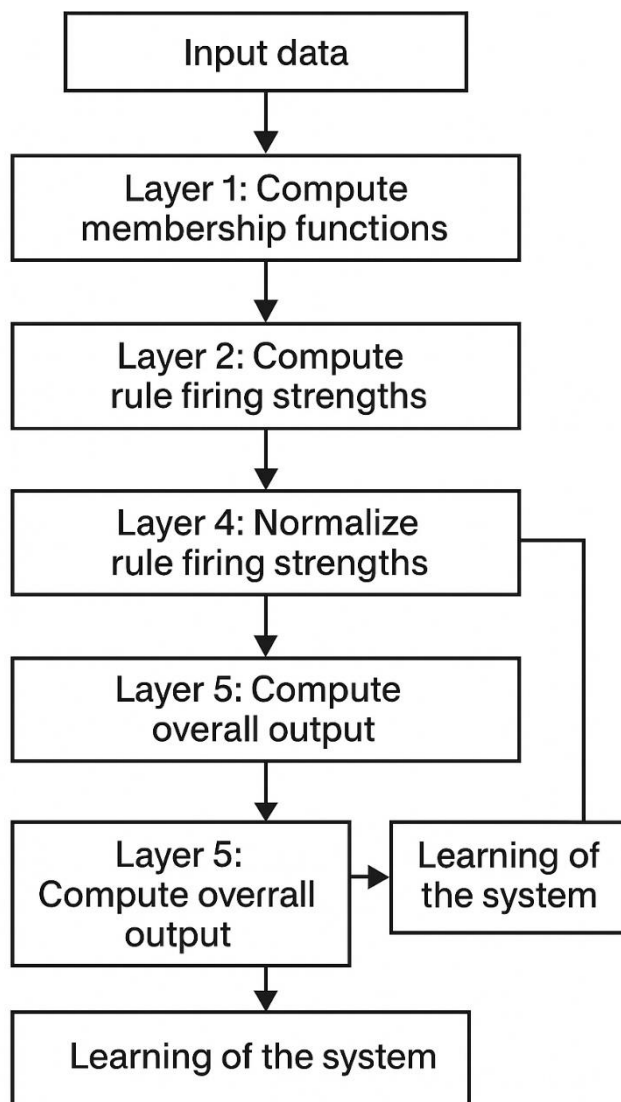


Рисунок 5

3. Шар 2: Обчислення ступеня активації правил

○ Визначаються ступені активації кожного нечіткого правила шляхом логічної операції AND (наприклад, множення).

4. Шар 3: Нормалізація ступенів активації правил

○ Кожен ступінь активації ділиться на суму всіх ступенів активації, щоб отримати ваги нормалізованих правил.

○

5. **Шар 4: Обчислення виходів правил**

○ Кожен вузол обчислює вклад відповідного правила у вихідну функцію, яка є лінійною комбінацією вхідних змінних із параметрами.

6. **Шар 5: Обчислення загального виходу**

○ Сума всіх вхідних значень, отриманих на попередньому шарі, дає остаточний числовий вихід системи.

7. **Навчання системи**

○ Параметри функцій приналежності і лінійних рівнянь оновлюються за допомогою алгоритму навчання (наприклад, метод найменших квадратів + градієнтний спуск) для мінімізації похибки між прогнозованим і реальним виходом.

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

13. ОХОРОНА ПРАЦІ

13.1. Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання

Рішення щодо розміщення трансформатора 1000 кВА на виробничому об'єкті складається з вирішення основних запитань.

Умови навколишнього середовища: силові масляні трифазні трансформатори ТМ загальнопромислового призначення потужністю від 25 до 1600 кВА застосовуються для живлення споживачів промислових об'єктів та електропостачання. Т – трифазний, М – масляний, вид охолодження – природний;

схема і група з'єднання обмоток – У/Ун – 0 ; Д/Ун-11; У/Зн-11. Умови розміщення та кліматичні категорії: – «У1».

Трансформатори призначені для стаціонарної внутрішньої або зовнішньої установки в умовах с помірним кліматом для експлуатації в тривалому режимі в наступних умовах [12]: висота над рівнем моря не більше 1000м; температура навколишнього повітря від мінус 45°C до плюс 40°C. Вологість повітря не повинна перевищувати 80% при 25°C, щоб уникнути конденсації, а захист корпусу повинен відповідати ступеню IP54 або вище (ступінь захисту IP54 означає: 5 – обладнання має частковий захист від попадання всередину оболонки пилу та твердих тіл розмірами не менше 1,0 мм; 4 – обладнання має захист від попадання всередину оболонки бризок, що падають під будь-яким кутом.), щоб запобігти потраплянню пилу та вологи. Вентиляція повинна бути організована так, щоб забезпечувати ефективне відведення тепла, особливо в закритих приміщеннях, де потрібна система витяжної вентиляції. Місце встановлення трансформатора має бути стійким до вібрацій, для чого використовується рівний бетонний фундамент.

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	13. Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Семко К.М.						
Перевір.		.Зінкевич П.О.					120	127
Реценз.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

Розглянемо кваліфікаційні вимоги до персоналу, котрий обслуговує електротехнічне обладнання. Персонал, який використовує електроустановки на виробництві, поділяється на електротехнічний, електротехнологічний та неелектротехнічний [13]. Електротехнічний персонал здійснює повне технічне обслуговування електроустановок. Електротехнологічний персонал здійснює технічне обслуговування (експлуатацію, налагоджування, дрібний ремонт) електротехнічної частини технологічного устаткування (електроапаратури/електроприводів) електрозварювального, електролізного, електротермічного та іншого енергонасиченого устаткування). Електротехнологічний персонал виробничих цехів (дільниць), що не входить до складу енергетичної служби підприємства, за своїми правами і обов'язками прирівнюється до електротехнічного. Неелектротехнічний персонал залучається до виконання робіт, де може виникнути небезпека ураження електричним струмом.

Працівники, які виконують роботи в електроустановках, повинні мати професійну підготовку, що відповідає характеру виконуваних робіт. Мінімальний стаж роботи в електроустановках, достатній для присвоєння чергової групи з електробезпеки, визначений додатком 1 до Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Електротехнічний персонал (наприклад, електромонтери, електромеханіки, електромонтажники) підрозділяється на адміністративно-технічний, оперативний та ремонтний, і повинен мати групу з електробезпеки не нижчу III. До оперативного управління та оперативних перемикачів в електроустановках може допускатись тільки оперативний електротехнічний персонал. Для нього передбачено, крім періодичних інструктажів, навчання та перевірки знань з питань охорони праці, додаткову спеціальну підготовку, навчання та перевірку знань з питань технічної експлуатації електроустановок, протиаварійні тренування. Стажування (дублювання) електротехнічних оперативних працівників передбачено на

					ДП 2025 141	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

термін до 14 днів, у разі виконання робіт на випробувальних станціях — до 1 місяця, а верхолазних робіт — до 1 року.

Електротехнологічний працівник (наприклад, налагоджувальник, регулювальник, ремонтник) повинен мати групу не нижче II, а неелектротехнічний працівник — групу I з електробезпеки. Електротехнічному (електротехнологічному) персоналу видається посвідчення про перевірку знань за формою (додаток 2 до НПАОП 40.1-1.21-98), а присвоєння групи I видачу посвідчення не передбачає. Відповідальність за кількість, правильний підбір виробничого персоналу та присвоєння йому відповідної групи з електробезпеки несе, як правило, особа, відповідальна за електрогосподарство підприємства.

Розглянемо вимоги безпеки під час встановлення, експлуатації та ремонту електрообладнання.

Порядок навчання і перевірки знань працівників має бути відповідним до галузевого положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці [9], узгодженого з Держнаглядом охорони праці, а також до вимог до електротехнічної обслуги, які містяться в ПТЕ. Працівники, що обслуговують електроустановки, зобов'язані знати ці Правила відповідно до займаної посади чи роботи, яку вони виконують, і мати відповідну групу з електробезпеки.

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них;
- без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою.

У випадку одночасної роботи в електроустановках напругою до та понад 1000 В категорії робіт визначаються як для установок понад 1000 В.

					ДП 2025 141	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмовідних частинах чи поблизу від них необхідно:

- обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмовідні частини, що перебувають під напругою, і до яких можливий випадковий дотик;

- працювати в діелектричному взутті чи стоячи на ізолювальній підставці або на діелектричному килимі;

- застосовувати інструмент із ізолювальними руків'ями (у викруток, крім того, має бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмовідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно:

- тримати ізолювальні частини засобів захисту за руків'я до обмежувального кільця;

- розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмовідними частинами двох фаз чи замикання на землю;

- користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

В процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмовідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів.

Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

12.2. Організаційні та технічні заходи з охорони праці

В даному підрозділі розглянемо питання основних вимог безпеки до виробничого обладнання та робочих місць на заводі залізобетонних виробів, заходи з електробезпеки.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		123

Безпеку виробничого обладнання забезпечують такими методами [14-15]: добором принципів дії, джерел енергії та параметрів робочих процесів; мінімізацією кількості енергії, що споживається чи накопичується; застосуванням вмонтованих у конструкцію засобів захисту та інформації про можливі небезпечні ситуації; застосуванням засобів автоматизації, дистанційного керування та контролю; дотриманням ергономічних вимог, обмеженням фізичних і нервово-психологічних навантажень на працівників.

Виробниче обладнання під час роботи, самотійно чи у складі технологічних комплексів повинно відповідати вимогам безпеки впродовж усього періоду експлуатації. Матеріали конструкції виробничого обладнання не повинні зумовлювати утворення небезпечних чи шкідливих факторів щодо дії на організм працівників, а навантаження, що виникають під час роботи в окремих елементах обладнання, не повинні сягати небезпечних величин. У разі неможливості реалізації останньої вимоги у конструкції обладнання необхідно передбачити спеціальні засоби захисту (огородження, блокування та ін.). Небезпечні зони виробничого обладнання (рухомі вузли, елементи з високою температурою тощо), як потенційні джерела травмонебезпеки, повинні бути огорожені, теплоізовані або розміщені у недосяжних місцях. Допоміжні пристрої (затискачі, вантажозахоплювальні та вантажопідіймальні пристрої) повинні унеможливити виникнення небезпеки під час раптового вимкнення енергії, а також самовільну зміну стану цих пристроїв після відновлення енергоживлення. Виробниче обладнання повинно бути пожежовибухобезпечним у передбачених умовах експлуатації та не накопичувати зарядів статичної електрики у небезпечних для працівників кількостях. Виробниче обладнання, робота якого супроводжується виділенням шкідливих речовин чи організмів або пожежо- та вибухонебезпечних речовин, повинно включати вмонтовані пристрої для локалізації цих виділень. За відсутності таких пристроїв у конструкції обладнання мають бути передбачені місця для підключення автономних пристроїв локалізації виділень. Якщо виробниче обладнання є джерелом

					ДП 2025 141	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шуму, ультра- та інфразвуку, вібрації, виробничих випромінювань (електромагнітних, лазерних тощо), то його треба виконувати таким чином, щоб параметри перелічених шкідливих виробничих факторів не перевищували меж, встановлених відповідними чинними нормативами.

Виробниче обладнання повинно бути забезпечене місцевим освітленням, виконаним відповідно до вимог чинних нормативів, якщо його відсутність може спричинювати перевантаження органів зору або інші небезпеки, пов'язані з експлуатацією цього обладнання.

Система управління виробничим обладнанням має забезпечувати надійне і безпечне його функціонування на всіх режимах роботи, а також у разі зовнішніх впливів. На робочих місцях повинні бути написи, схеми та інші засоби інформації щодо послідовності керуючих дій. Конструкція і розміщення засобів попередження про небезпечні ситуації повинні забезпечувати безпомилкове, достовірне і швидке сприйняття цієї інформації. За необхідності включення засобів захисту до початку роботи виробничого обладнання схемою управління повинні передбачатися відповідні блокування.

Вимоги до мір захисту від прямого дотику в нормальному режимі роботи електроустановок полягають у наступному: 1. Струмівідні частини ЕУ не повинні бути доступні для випадкового прямого дотику до них, а доступні для дотику відкриті і сторонні провідні частини не повинні перебувати під напругою, що становить небезпеку ураження електричним струмом в нормальному режимі роботи і в разі пошкодження ізоляції. 2. Для запобігання ураженню електричним струмом у нормальному режимі роботи потрібно застосувати окремо або у поєднанні такі заходи захисту від прямого дотику: – основна ізоляція струмівідних частин; – огорожі та оболонки в ЕУ; – бар'єри в ЕУ; – розміщення струмівідних частин поза зоною досяжності; – розміщення струмівідних частин на недосяжній висоті чи у недоступному місці; – блокування безпеки в ЕУ. 3. Захист від прямого дотику не вимагається, якщо номінальна напруга ЕУ не перевищує: – 25 В змінного або

60 В постійного струму в разі застосування системи БННН (система безпечної наднизької напруги), якщо електричне обладнання експлуатується у сухих приміщеннях; – 25 В змінного або 60 В постійного струму в разі застосування системи захисної наднизької напруги, якщо обладнання перебуває у зоні дії зрівнювання потенціалів і експлуатується тільки у сухих приміщеннях; – 6 В змінного або 15 В постійного струму в усіх інших випадках.

12.3. Практичний розрахунок

Розрахунок заземлюючого пристрою для нульової точки трансформатора потужністю 60 кВА і напругою 6000/380 кВ у чотирьохпроводній трифазній мережі з глухозаземленою нейтраллю. Заземлювач виконати з сталевих труб діаметром 0,05 м, довжиною 2,5 м, з розміром сталевий з'єднувальної стрічки 40х4 мм, питомий опір ґрунту 50 Ом·м, кліматичний коефіцієнт ґрунту 1,4. Допустимий опір заземлюючого пристрою прийняти $R \leq 10$ Ом.

Визначимо значення питомого опору ґрунту:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho \cdot \Psi = 50 \cdot 1,2 = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (13.1)$$

Ψ – коефіцієнт сезонності;

ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м.

Визначимо значення опору розтікання струму вертикального заземлювача:

$$R_B = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t + l}{4t - l} \right), \text{ Ом}, \quad (13.2)$$

$$R_B = \frac{60}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2.5}{0.05} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2.05 + 2.5}{4 \cdot 2.05 - 2.5} \right) = 18,803, \text{ Ом},$$

де t – відстань від поверхні ґрунту до середини заземлювального електрода;

$$t = h_b + \frac{l}{2} = 0,8 + \frac{2,5}{2} = 2,05, \text{ м}, \quad (13.3)$$

де h_b – глибина закладання заземлювачів, 0,8 м.

					ДП 2025 141	Арк.
						126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо кількість вертикальних заземлювачів, не враховуючи коефіцієнт використання:

$$n = \frac{R_B}{R_D} = \frac{18,8}{10} = 1,88 \text{ шт.} \quad (13.4)$$

З врахування коефіцієнта використання:

$$n_B = \frac{R_B}{R_D \cdot \eta_B} = \frac{18,8}{10 \cdot 0,85} = 2,2 \approx 2 \text{ шт}, \quad (13.5)$$

де η_B – коефіцієнт використання, для заземлювачів 0,85.

Визначимо довжину з'єднувальної стрічки горизонтального заземлювача для одного вертикального електрода:

$$L_c = 1,05 \cdot l_B = 1,05 \cdot 2,5 = 2,625 \text{ м.} \quad (13.6)$$

Визначимо опір розтікання струму горизонтального заземлювача:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot L_c} \cdot \ln \frac{L_c}{d \cdot h_c}, \quad (13.7)$$

$$R_{\Gamma} = \frac{60}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,625} \cdot \ln \frac{2,625}{0,143 \cdot 0,8} = 11,4 \text{ Ом.}$$

де h_c – глибина закладання заземлювачів;

d – еквівалентний діаметр смуги шириною $b = 0,15$ м,

$$d = 0,95 \cdot b = 0,95 \cdot 0,15 = 0,143 \text{ м.} \quad (13.8)$$

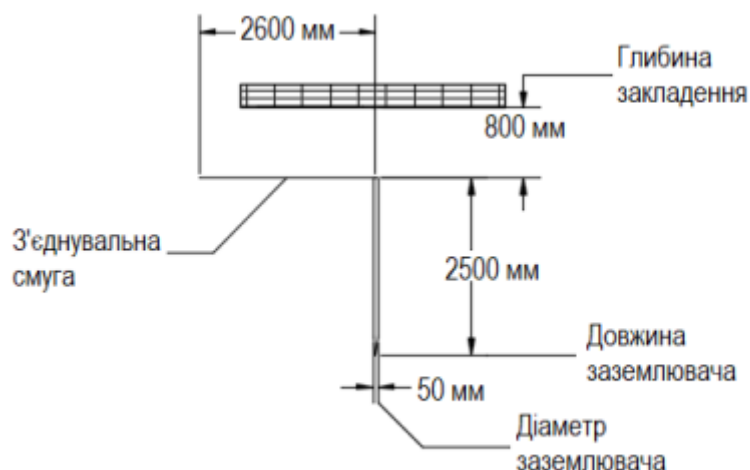


Рисунок 13.1 - Схема заземлення

Визначимо результуючий опір заземлюючого електроду:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B \cdot \eta_C + R_\Gamma \cdot \eta_B \cdot n_B} = \frac{18,8 \cdot 11,4}{18,8 \cdot 0,85 + 11,4 \cdot 0,85 \cdot 2} = 6,06 \text{ Ом.} \quad (13.9)$$

Перевірка:

$$R_3 \leq R_d, 6,06 \leq 10, \quad (13.10)$$

отже розрахунок вірний.

					ДП 2025 141	Арк.
						128
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Шестеренко В.Є. Системи електрозабезпечення: Підручник (Модернізований). [Електронний ресурс]. – К.: НУХТ, 2022. – 335 с.
2. [Сірий О.М. Системи електроспоживання: розрахунки, вибір обладнання: навч. посіб. /О.М.Сірий; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т харч. технол. – К.: НУХТ, 2011. – 319 с.](#)
3. Самойленко О. М., Краснов В. В., Січкарьов С. М. Електропостачання промислових об'єктів: навч. посібник. – К: "Каравела", 2020. – 352 с.
4. Бондаренко В.П., Коновалова О.Ю., Семенюк А.М. Електротехнічне забезпечення промислових підприємств: навч. посібник. К: Видавничий центр КНУБА, 2018. – 344 с.
5. Панкратова Н.І., Мельниченко В.П., Коваленко В.В. Електротехнічне забезпечення промислових підприємств: підручник. – Київ: "Слово", 2017. – 376 с.
6. Демченко І.В., Степурко О.І., Буценко Л.В. Енергозбереження на промислових підприємствах: підручник. – Київ: Видавничий центр КНУБА, 2019. – 288 стор.
7. Лисюк О. П., Москаленко В. І., Харитонova Н. М. Енергозбереження на промислових підприємствах: навч. посібник. – К: Видавництво НТУУ "КПІ", 2018. – 312 стор.
8. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.
9. ДБН В .2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. К. – Мінрегіон України, 2018 р.

					ДП 2025 141				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Література	Літ.	Арк.	Аркуші	
Розроб.		Семко К.М.							
Перевір.		Зінькевич П.О.					130	127	
Реценз.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			
Н. Контр.									
Затверд.		Балюта С.М.							

10. «Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навчальний посібник. /Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. – Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 332 с.

11. Кисельов В.М., Єгоров О.В. Мікропроцесорні пристрої релейного захисту та автоматики. – К.: Ліра-К, 2021. – 320 с.

12. Іванов О.О. Мікропроцесорний релейний захист електричних мереж. – Харків: Техніка, 2020. – 290 с.

13. Сафронов П.В. Сучасні методи релейного захисту і автоматики. – Львів: Енергетика, 2022. – 350 с.

14. Технічна колекція Schneider Electric. Випуск №3 – Методика розрахунку захисту Seram.

15. ГОСТ 13109-97 Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення.

16. Ковальчук А.О., Гончаров В.С., Кравчук Л.В. Охорона праці на виробництві: навч. посібник. – К: "Каравела", 2020. – 360 с.

17. Білоус Л.І., Красовський П.В., Попов В.І. Охорона праці на виробництві: підручник. – К: "Сфера", 2019. – 416 с.

18. Автоматика протиаварійного управління електроенергетичних систем: Підручник для студентів зі спеціальності електроенергетика, електротехніка та електромеханіка /Є.І. Сокол, Г.А. Сендерович, О.Г. Гриб та ін. – Харків: ФОП Бровін О.В., 2020. – 216 с.

19. Автоматика електроустановок електроенергетичних систем: Навчальний посібник /В.М. Баженов, М.М. Одегов. – Харків: Планета-Прінт, 2022. – 186 с.

20. https://videx.ua/calculator_lighting.

					ДП 2025 141	Арк.
						131
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		