

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

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

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

«__» _____ 2025 р.

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми «Електротехніка та інформаційні технології»

на тему: «Розробка системи електропостачання гірничого підприємства. Забезпечення надійності електропостачання в умовах аварійних відключень»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕЛ 4-3

_____ **Шарапа Олександр Петрович**
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник Романюк Володимир Тарасович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти Аліна СІРИК
(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Рецензент Микола ЯКИМЧУК
(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.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 12 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>15.04.2025 р</i>	
2	<i>Технічні характеристики підприємства, що розглядається в проєкті</i>	<i>17.04.2025 р</i>	
3	<i>Розробка системи електропостачання підприємства</i>	<i>25.04.2025 р</i>	
4	<i>Компенсація реактивної потужності та вибір місця розташування компенсуючих пристроїв</i>	<i>28.04.2025 р</i>	
5	<i>Розрахунок струмів короткого замикання</i>	<i>02.05.2025 р</i>	
6	<i>Вибір провідників та основного електрообладнання на напругу 10 кВ і перевірка їх до дії струмів короткого замикання</i>	<i>07.05.2025 р</i>	
7	<i>Вибір релейного захисту та автоматики</i>	<i>12.05.2025 р</i>	
8	<i>Облік та вимірювання режимних параметрів системи електроспоживання</i>	<i>15.05.2025 р</i>	
9	<i>Якість електричної енергії в системі електропостачання</i>	<i>18.05.2025 р</i>	
10	<i>Розрахунок електричного освітлення електродного цеху</i>	<i>22.05.2025 р</i>	
11	<i>Охорона праці</i>	<i>24.05.2025 р</i>	
12	<i>Індивідуальне завдання. Забезпечення надійності електропостачання в умовах аварійних відключень</i>	<i>26.05.2025 р</i>	
13	<i>Література</i>	<i>27.05.2025 р</i>	
14	<i>Оформлення пояснювальної записки проєкту</i>	<i>28.05.2025 р</i>	
15	<i>Оформлення графічної частини проєкту</i>	<i>29.05.2025 р</i>	
16	<i>Подання готової роботи для перевірки на плагіат</i>	<i>30.05.2025 р</i>	

Здобувач

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Шарапа О.П.

(прізвище та ініціали)

Романюк В.Т.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Шарапа Олександр Петрович. Дипломний проєкт на тему:
«Розробка системи електропостачання гірничого підприємства.

Забезпечення надійності електропостачання в умовах аварійних відключень»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ -2025
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 11 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проєкту становить 120 сторінок.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: генеральний план гірничого підприємства з картограмою навантаження та його однолінійна схема електропостачання, план електродного цеху з силовою мережею та його однолінійна схема електропостачання, план електродного цеху з освітлювальною мережею, забезпечення надійності електропостачання в умовах аварійних відключень.

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

У результаті виконання проєкту наведено загальні технічні характеристики підприємства, що розглядається в проєкті; виконано розрахунок електричних навантажень підприємства та електродного 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 «Забезпечення надійності електропостачання в умовах аварійних відключень».

У розділі охорона праці розглянуті питання щодо технічних рішень з безпечної експлуатації гірничого підприємства, пожежної безпеки на підприємстві та виконано розрахунок контуру захисного заземлення підстанції.

Ключові слова: гірниче підприємство, електродний цех, споживачі електроенергії, електричне навантаження, освітлення, трансформатор, автоматичний вимикач, струм короткого замикання, провід, кабель, компенсація реактивної потужності, надійність електропостачання, резервне джерело живлення, автоматичне включення резерву.

Abstract

OLEKSANDR SHARAPA. Diploma project on the topic:

"Development of a power supply system for a mining enterprise. Ensuring the reliability of power supply in conditions of emergency outages"

National University of Food Technologies, Kyiv - 2025

141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics"

The attached explanatory note consists of an introduction, 11 chapters and a list of used literature. The volume of the project is 120 pages.

The description is accompanied by a graphic part consisting of four drawings: a general plan of the mining enterprise with a load map and its single-line power supply diagram, a plan of the electrode shop with a power network and its single-line power supply diagram, a plan of the electrode shop with a lighting network, ensuring the reliability of power supply in conditions of emergency shutdowns.

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

As a result of the project, the general technical characteristics of the enterprise considered in the project are given; the calculation of the electrical loads of the enterprise and the electrode shop is performed; the number and capacity of power transformers are determined; high-voltage and low-voltage electrical equipment and conductors for the enterprise's power supply scheme are calculated and selected and they are checked for short-circuit currents; issues of relay protection and automation, the quality of electrical energy, accounting and measurement of its operating parameters are considered. As an individual task, the issue of "Ensuring the reliability of power supply in conditions of emergency shutdowns" is considered.

The occupational safety section considers issues related to technical solutions for the safe operation of a mining enterprise, fire safety at the enterprise, and calculates the protective grounding circuit of the substation.

Keywords: mining enterprise, electrode shop, electricity consumers, electrical load, lighting, transformer, circuit breaker, short-circuit current, wire, cable, reactive power compensation, reliability of power supply, backup power source, automatic backup activation.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	8
1.	ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІДПРИЄМСТВА, ЩО РОЗГЛЯДАЄТЬСЯ В ПРОЄКТІ.....	10
2.	РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.....	12
2.1.	Розрахунок електропостачання цеху.....	12
2.2.	Вибір схеми цехової мережі.....	16
2.3.	Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі	19
2.4.	Розрахунок навантажень підприємства.....	21
2.5.	Вибір і розміщення ГПП.....	24
2.6.	Вибір схеми та основних елементів заводської мережі.....	29
3.	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ.....	40
4.	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	41
4.1.	Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ.....	41
4.2.	Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 0,4 кВ.....	44
5.	ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ТА ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА НАПРУГУ 10 КВ І ПЕРЕВІРКА ЇХ ДО ДІЇ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	50
5.1	Вибір і перевірка провідників напругою 10 кВ.....	50
5.2.	Вибір і перевірка високовольтних шин.....	54
5.3.	Вибір і перевірка опорних ізоляторів.....	55
5.4.	Перевірка високовольтного вимикача на стороні 10 кВ.....	56

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст		
Розроб.		Шарапа О.П.					
Перевір.		Романюк В.Т.					
Реценз.		Якимчук М.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					Літ.	Арк.	Аркуші
					5		
					ННІТ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

6.	ВИБІР РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ.....	57
6.1.	Розрахунок захисту трансформатора.....	57
6.2.	Розрахунок захисту живильної кабельної лінії.....	62
6.3.	Перевірка спрацювання автоматичних вимикачів до струмів короткого замикання.....	64
7.	ОБЛІК ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.....	67
7.1.	Обґрунтування систем комерційного та технічного обліку і контролю електроспоживання.....	67
7.2.	Лічильники електричної енергії.....	68
8.	ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	75
8.1.	Характеристики показників якості електричної енергії.....	75
8.2.	Характеристика методів та технічних заходів по забезпеченню якості електроенергії.....	76
8.3.	Розрахунок втрат напруги ділянки мережі електродного цеху.....	79
9.	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО ЦЕХУ.....	81
9.1.	Світлотехнічний розрахунок освітлювальної мережі.....	81
9.2.	Вибір щитків освітлення, апаратів захисту та провідників.....	90
10.	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	93
11.	ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ АВАРІЙНИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ.....	96
11.1.	Основні вимоги до надійності та ефективності систем енергопостачання.....	96
11.2.	Основні причини, що призводять до аварійних відключень електроенергії.....	104

					ДП 2025 141	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11.3.	Використання джерел резервного живлення для забезпечення надійності електропостачання.....	105
11.4.	Цифровий пристрій АВР секційного вимикача.....	113
	ЛІТЕРАТУРА.....	118

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						7
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Електротехнічна промисловість відіграє важливу роль у електрифікації, технічного відновлення галузей народного господарства, автоматизації та інтенсифікації, механізації виробничих процесів тощо. Актуальність представленої роботи полягає у розробленні раціонального електропостачання об'єкту. Введення в дію нових підприємств, розширення та оновлення існуючих, широке впровадження різних видів електротехнологій у всіх галузях виробництва набувають проблеми їх розумного електропостачання.

Однією з більш вагомих практичних завдань вважається проектування систем електропостачання (СЕП) промислових підприємств, які одночасно повинні задовольняти вимогам, що висуваються до них, таким як:

1. Простота та масштабованість. Система електропостачання промислових підприємств не має бути багатоступінчастою, мережі живлення не повинні бути довгими, а спосіб прокладання мережі повинен бути максимально простим. Крім того, система зобов'язана забезпечувати можливість впровадження нового обладнання, тобто бути масштабованою.

2. Забезпечення безперебійного виробничого процесу. Електрична мережа має бути побудована так, щоб при необхідності відключення одного елемента мережі (у разі аварії, з метою ремонту) відключалися лише ті механізми, що належать до цього потоку. Інші технологічні потоки повинні залишатися в робочому стані.

3. Відсутність перевантажень. При проектуванні цехів промислових підприємств значення має як розміщення устаткування в цехах, і розташування трансформаторних підстанцій. По можливості кожна ділянка має бути забезпечена окремим розподільчим пристроєм, який встановлюється поряд із центром навантаження. Інші споживачі та ділянки не повинні мати можливості

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шарапа О.П.			Вступ	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Романюк В.Т.					8	
Реценз.		Якимчук М.В.				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

підключення до цього пристрою, щоб уникнути перевантаження.

4. Безпека. Електричне обладнання повинно мати ступінь захисту, який відповідає умовам роботи конкретного приміщення.

Необхідний рівень надійності та безпеки схеми електропостачання забезпечується суворим дотриманням при виборі обладнання та елементів захисту норм та правил, викладених у правилах улаштування електроустановок (ПУЕ).

Дана кваліфікаційна робота спрямована на розробку ефективного електрозабезпечення гірничого підприємства, яка задовольнятиме всім вимогам, що висуваються до неї.

Проект охоплює питання комплексного проектування електропостачання гірничого підприємства та трансформаторної підстанції на базі серії електрообладнання, що випускається.

Велику увагу приділено питанням необхідної надійності електропостачання, забезпечення якості електроенергії, швидкодії та селективності пристроїв релейного захисту та оперативної автоматики, а також питанням забезпечення надійності електропостачання в умовах аварійних відключень.

					ДП 2025 141	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІДПРИЄМСТВА, ЩО РОЗГЛЯДАЄТЬСЯ В ПРОЄКТІ

Підприємство займається виробництвом продукції з граніту – щєбінь різних фракцій, гранітний блок, тощо. Виробничий процес складається з добування сировини кар'єрним способом та подальшої обробки.

Генеральний план гірничого підприємства, що розглядається в проєкті наведений на аркуші 1 графічної частини кваліфікаційної роботи, а відомості про електричні навантаження представлені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Вхідні дані про електричні навантаження заводу

№ на плані	Назва цеху	Р _н , кВт
1	Адміністративний корпус кар'єру	35
2	Побутовий корпус 1	120
3	Побутовий корпус 2	38
4	Офісне приміщення 1	20
5	Медпункт	15
6	Станція технічного обслуговування	276
7	Цех електродів	56
8	Цех плитки	200
9	Ремонтно-будівельний цех	350
10	Офісне приміщення 2	20

Живлення здійснюється від п/ст. 110/10, що знаходиться на відстані 4 км від підприємства.

Враховуючи актуальність комплексного освоєння родовищ корисних копалин, в даному проєкті передбачено з відходів гірничопромислового виробництва випускати зварювальні електроди, керамічну плитку, ремонтно-будівельні матеріали.

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шарапа О.П.			1. Технічні характеристики підприємства, що розглядається в проєкті	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Романюк В.Т.					10	
Реценз.		Якимчук М.В.				<i>ННІТ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

План цеху електродів у якому виготовляють електроди, наведений на аркуші 2 графічної частини кваліфікаційної роботи, а характеристика споживачів електроенергії в ньому показана в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Відомості про електричні навантаження цеху

№ на плані	Назва електроприймача	Рн, кВт
1	2	3
1	Кульовий млин	3
2	Мішалка	3
3	Вібросито	4,4
4	Прес-ножиці	5,5
5	Прес-ножиці	5,5
6	Змащувальний верстат	3
7	Змащувальний верстат	3
8	Піч опору	6
9	Піч опору	6
10	Брекетувальний верстат	4
11	Шліфувальний верстат	4
12	Вентиляційна установка	3,6
13	Транспортер	1
14	Транспортер	1
15	Транспортер	1
16	Транспортер	1
17	Транспортер	1

2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1. Розрахунок електропостачання цеху

Живлення електроприймачів (ЕП) цеху електродів здійснюється через два розподільчих пунктів РП 1,2. РП приєднано до трансформаторної підстанції ТП, як показано на графічному кресленні № 2 кваліфікаційної роботи.

Розрахунок виконаємо в табличній формі (форма Ф636-92) згідно із РТМ 36.18.32.4-92.

Розрахункові навантаження окремих електроприймачів (ЕП) або ліній, від яких живляться два чи три ЕП (І рівень), приймаються рівними номінальним:

$$D_D = D_I, Q_D = D_I \cdot \operatorname{tg}\varphi_I, \quad (2.1)$$

де P_H – номінальна активна потужність ЕП, кВт;

$\operatorname{tg}\varphi_H$ – номінальний коефіцієнт реактивної потужності.

Номінальні величини визначають за паспортними даними ЕП. В разі відсутності паспортних даних, приймають $\operatorname{tg}\varphi_H = 0,75$ – для ЕП тривалого режиму роботи і $\operatorname{tg}\varphi_H = 0,87$ – для ЕП повторно-короткочасного.

Для ЕП повторно-короткочасного режиму номінальна потужність приводиться до тривалого режиму роботи:

$$D_I = D_{i\text{ані.}} \cdot \sqrt{O_{i\text{А.іані.}}}, \quad (2.2)$$

де $P_{\text{пасп.}}$, $T_{\text{ПВ.пасп}}$ – паспортні номінальна потужність і відносна тривалість повторного ввімкнення відповідно, кВт, с.

Розрахункові навантаження для живлячих мереж напругою до 1 кВ визначають за формулами:

$$D_D = \hat{E}_D \cdot \sum_{i=1}^n k_{\hat{A}_3} \cdot D_{I3}, \quad (2.3)$$

$$Q_D = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{\hat{A}_3} \cdot D_{I3} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{Ci}, & \text{їдè } n_{\hat{a}} \leq 10, \\ \sum_{i=1}^n k_{\hat{A}_3} \cdot D_{I3} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{Ci}, & \text{їдè } n_{\hat{a}} > 10; \end{cases} \quad (2.4)$$

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Шарапа О.П.			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Романюк В.Т.				12	
Реценз.		Якимчук М.В.			ННІП ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					2. Розробка системи електропостачання підприємства		

Для магістральних шинопроводів:

$$\begin{aligned} D_D &= \hat{E}_D \cdot \sum_{i=1}^n k_{\hat{A}^3} \cdot D_{f^3} ; \\ Q_D &= \hat{E}_D \cdot \sum_{i=1}^n k_{\hat{A}^3} \cdot D_{f^3} \cdot \text{tg} \varphi_{Ci} ; \end{aligned} \quad (2.5)$$

де K_p – коефіцієнт розрахункового максимуму активної потужності;

n_e – ефективне число ЕП;

$\text{tg} \varphi_C$ – усереднені значення $\text{tg} \varphi$ для даного типу ЕП. Значення K_p можна визначити із [1].

Груповий коефіцієнт використання та ефективне число ЕП визначаються за формулами:

$$\hat{E}_{\hat{A}} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{\hat{A}^3} \cdot D_{f^3}}{\sum_{i=1}^n D_{f^3}} ; \quad (2.6)$$

$$n_{\hat{a}} = \frac{(\sum_{i=1}^n D_{f^3})^2}{\sum_{i=1}^n n \cdot D_{f^3}^2} ; \quad (2.7)$$

Розрахункове значення n_e округляється до найближчого меншого цілого числа.

За [1] таблицею 2.1 визначаємо коефіцієнт максимуму $K_p = f(K_B; n_e)$. Знаходимо значення повної розрахункової потужності:

$$S_D = \sqrt{D_D^2 + Q_D^2} ; \quad (2.8)$$

Знаходимо розрахунковий струм:

$$I_D^2 = \frac{S_D}{\sqrt{3} \cdot U_f} . \quad (2.9)$$

де U_H – номінальна напруга, кВ.

За наведеною вище методикою розрахунку та формулами, розглянемо приклад розрахунку трифазних навантажень, приєднаних до РП 1, від якого живляться наступні електроприймачі:

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

1. Кульовий млин: $K_B=0,44$, $\cos\varphi=0,6$; $\operatorname{tg}\varphi=1,33$; $n=1$. Номінальна потужність кульового млину: $P_H=3,0$ кВт.

2. Мішалка: $K_B=0,4$, $\cos\varphi=0,65$; $\operatorname{tg}\varphi=1,17$; $n=1$. Номінальна потужність мішалки: $P_H=3,0$ кВт.

3. Вібросито: $K_B=0,41$, $\cos\varphi=0,65$; $\operatorname{tg}\varphi=1,17$; $n=1$. Номінальна потужність вібросита: $P_H=4,4$ кВт.

4,5. Прес-ножиці: $K_B=0,27$, $\cos\varphi=0,65$; $\operatorname{tg}\varphi=1,17$; $n=2$. Номінальна потужність прес-ножиць: $P_H=5,5$ кВт.

6,7. Змащувальний верстат: $K_B=0,26$, $\cos\varphi=0,65$; $\operatorname{tg}\varphi=1,17$; $n=2$. Номінальна потужність верстату: $P_H=3,0$ кВт.

13-15. Транспортёр: $K_B=0,16$, $\cos\varphi=0,6$; $\operatorname{tg}\varphi=1,33$; $n=3$. Номінальна транспортёру: $P_H=1,0$ кВт.

Послідовність обчислень зберігається.

1. Розрахунок виконується за табличною формою.

2. Вузол живлення – РП 1.

3. Визначення сумарної потужності електроприймачів:

$$\sum P_i = \sum n_i \cdot P_{ni} ,$$

де n_i – кількість відповідних електроприймачів;

P_{ni} – номінальна потужність відповідних електроприймачів.

$$\sum P_i = 1 \cdot 3 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 4,4 + 2 \cdot 5,5 + 2 \cdot 3 + 3 \cdot 1 = 30,4 \text{ кВт} .$$

4. Визначення навантаження за найбільш завантажену зміну:

$$P_{CM} = K_B \cdot n \cdot P_H ;$$

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

1) Кульовий млин:

$$P_{CM} = 0,44 \cdot 1 \cdot 3 = 1,32 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = 1,32 \cdot 1,33 = 1,76 \text{ квар} .$$

2) Мішалка:

$$P_{CM} = 0,4 \cdot 1 \cdot 3 = 1,2 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = 1,2 \cdot 1,17 = 1,4 \text{ квар} .$$

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

3) Вібросито:

$$P_{\text{см}} = 0,41 \cdot 4,4 = 1,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{см}} = 1,8 \cdot 1,17 = 2,11 \text{ квар.}$$

4) Прес-ножиці:

$$P_{\text{см}} = 0,27 \cdot 2,5,5 = 2,97 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{см}} = 2,97 \cdot 1,17 = 3,47 \text{ квар.}$$

5) Змащувальний верстат:

$$P_{\text{см}} = 0,26 \cdot 2 \cdot 3 = 1,56 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{см}} = 1,56 \cdot 1,17 = 1,83 \text{ квар.}$$

6) Транспортер:

$$P_{\text{см}} = 0,16 \cdot 3 \cdot 1 = 0,48 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{см}} = 0,48 \cdot 1,33 = 0,64 \text{ квар.}$$

5. Визначення групового коефіцієнта використання:

$$\hat{E}_{\hat{A}} = \frac{\sum P_{\hat{m}i}}{\sum P_i}$$

де $\sum P_{\hat{m}i} = 1,32 + 1,2 + 1,8 + 2,97 + 1,56 + 0,48 = 9,33 \text{ кВт}$ – сумарне змінне навантаження.

$$\hat{E}_{\hat{A}} = \frac{9,33}{30,4} = 0,3.$$

6. Визначаємо проміжну величину:

$$\sum n \cdot D_i^2 = 1 \cdot 3^2 + 1 \cdot 3^2 + 1 \cdot 4,4^2 + 2 \cdot 5,5^2 + 2 \cdot 3^2 + 3 \cdot 1^2 = 118,86 \hat{\Delta}^2$$

7. Знаходимо ефективне число приймачів:

$$n_{\hat{a}} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_i)^2}{\sum_{i=1}^n n \cdot P_i^2} = \frac{30,4^2}{118,86} = 7,77 \approx 8.$$

Приймаємо ціле число $n_e = 8$.

8. По табл. 2.1 [1] знаходимо коефіцієнт розрахункового навантаження (K_p) залежно від $K_B = 0,3$ і $n_e = 8$; $K_p = 1,72$.

9. Знаходимо розрахункове активне навантаження:

$$P_p = K_p \cdot P_{\text{см}} = 1,72 \cdot 9,33 = 16 \text{ кВт.}$$

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

10. Знаходимо розрахункове реактивне навантаження:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm} = 1,1 \cdot 11,21 = 12,33 \text{ квар.}$$

11. Визначення повної розрахункової потужності групи:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{16 + 12,33^2} = 20,2 \text{ кВА}.$$

12. Розрахунковий струм групи:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_f} = \frac{20,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 30,7 \text{ А}.$$

Результати цього й наступних розрахунків навантажень зводяться в табл. 2.1.

Визначаємо сумарну активну, реактивну та повну потужність цеху електродів, а також розрахунковий струм і результати заносимо в табл. 2.1.

Активна потужність цеху

$$P_{\delta\Sigma\delta} = P_{\delta\delta i 1} + P_{\delta\delta i 2} = 16 + 16,43 = 32,43 \text{ кВт}.$$

Реактивна потужність цеху

$$Q_{\delta\Sigma\delta} = Q_{\delta\delta i 1} + Q_{\delta\delta i 2} = 12,33 + 8,83 = 21,16 \text{ квар}.$$

Повна потужність цеху

$$S_{\delta\Sigma\delta} = \sqrt{P_{\delta\Sigma\delta}^2 + Q_{\delta\Sigma\delta}^2} = \sqrt{32,43^2 + 21,16^2} = 38,7 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Розрахунковий струм, що споживається цехом

$$I_{\delta\Sigma\delta} = \frac{S_{\delta\Sigma\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_f} = \frac{38,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 58,8 \text{ А}.$$

Усі розрахунки електричних навантажень цехової мережі заносимо у табл. 2.1.

2.2. Вибір схеми цехової мережі

Оскільки радіальні схеми забезпечують високу надійність електропостачання, то вибираємо радіальну схему цехової мережі. РП цеху від ТП заживлюються за допомогою кабелів (АВВГ) прокладених в землі. Приєднання від РП до ЕП здійснюється провідником АПВ в трубі, оскільки в цеху є витоки масла зі станків.

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

Таблиця 2.1

Розрахунок електричних навантажень цехової мережі

Вихідні дані				Розрахункові величини			Ефективне значення ЕП, n_e	Коефіцієнт розрахункового навантаження, K_p	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм, I_p, A			
За даними технологічного проєктування		За довідниковими даними		Середня потужність		Проміжна розрахункова величина $n \cdot p_n^2$			Активна, $P_{cm}, кВт$	Реактивна, $Q_{cm}, квар$	Повна, $S_p, кВА$				
Характерні категорії ЕП, що приєднуються до вузла живлення	Кількість ЕП, $n, шт$	Номінальна (встановлена) потужність, $кВт$		Коефіц. використання, K_b	Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$		Коефіцієнт реактивної потужності $tg \varphi$	Одного ЕП, p_n				Всіх ЕП, P_n	Активна, $P_p, кВт$	Реактивна, $Q_p, квар$	Повна, $S_p, кВА$
		3	4			8			9	10	11				
РП1															
Кульовий млин (1)	1	3	3	0,44	0,6	1,33	1,32	1,76	9						
Мішалка (2)	1	3	3	0,4	0,65	1,17	1,2	1,4	9						
Вібросито (3)	1	4,4	4,4	0,41	0,65	1,17	1,8	2,11	19,36						
Прес-ножиці (4,5)	2	5,5	11	0,27	0,65	1,17	2,97	3,47	60,5						
Змащувальний верстат (6,7)	2	3	6	0,26	0,65	1,17	1,56	1,83	18						
Транспортер (13-15)	3	1	3	0,16	0,6	1,33	0,48	0,64	3						
Всього РП1	10		30,4	0,3	0,64	1,2	9,33	11,21	118,86	8	1,72	16	12,33	20,2	30,7

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
РП2															
Піч опору (8,9)	2	6	12	0,35	0,8	0,75	4,2	3,15	72						
Брекетувальний верстат (10)	1	4	4	0,23	0,7	1,02	0,92	0,94	16						
Шліфувальний верстат (11)	1	4	4	0,24	0,65	1,17	0,96	1,12	16						
Вентиляційна установка (12)	1	3,6	3,6	0,65	0,7	1,02	2,34	2,39	12,96						
Транспортер (16,17)	2	1	2	0,16	0,6	1,33	0,32	0,43	2						
Всього РП2	7		25,6	0,35	0,73	0,92	8,74	8,03	118,96	5	1,88	16,43	8,83	18,65	28,3
Всього по цеху												32,43	21,16	38,7	58,8

2.3. Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі

При виборі автоматичних вимикачів повинні виконуватись такі умови:

$$I_{D\hat{C}\times}^2 \geq \hat{E}_{\hat{A}\hat{N}} \cdot I_D^2; \quad (2.10)$$

$$I_{\hat{A}\hat{E}\hat{E}}^2 \geq I_{E.max}^{(3)}; \quad (2.11)$$

$$I_{C.\hat{A}}^2 \geq \hat{E}_{\hat{I}} \cdot I_{\hat{I}}^2. \quad (2.12)$$

де $I_{D\hat{C}\times}$ – номінальний струм розчіплювача, А;

$I_{C.\hat{A}}$ – струм спрацювання відсічки, А;

$\hat{E}_{\hat{A}\hat{N}}$ – коефіцієнт відстроювання, що визначається з умов надійності відстроювання захисту від перевантажень і його неспрацювання (повернення) при (після) пуску або самозапуску;

$I_{\hat{I}}$ – розрахунковий струм окремого ЕП чи РП в цілому при $U_H = 0,38$ кВ;

$\hat{E}_{\hat{I}}$ – коефіцієнт надійності відстроювання струмової відсічки;

$I_{\hat{I}}$ – піковий (пусковий) струм, А;

$I_{\hat{A}\hat{E}\hat{E}}$ – номінальний струм спрацювання відключення, А;

$I_{E.max}^{(3)}$ – струм трифазного КЗ, А.

Розрахунковий струм для лінії розраховується за формулою:

$$I_{D\hat{I}}^2 = \frac{S_{D\hat{I}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\hat{I}}}.$$

Піковий струм визначаємо за формулою:

$$I_{\hat{I}}^2 = I_{\hat{I}}^2 - \hat{E}_{\hat{A}} \cdot I_{I.max}^2 + I_{I.max}^2, \quad (2.13)$$

де $I_{I.max}$, $I_{I.max}$ – номінальний і піковий струми найбільш потужного ЕП, А;

$\hat{E}_{\hat{A}}$ – коефіцієнт використання найбільш потужного ЕП.

$$I_{I.max}^2 = \frac{D_{I.max}}{\sqrt{3} \cdot U_{\hat{I}} \cdot \cos\varphi}; \quad (2.14)$$

$$I_{I.max}^2 = 5 \cdot I_{I.max}^2. \quad (2.15)$$

Перевірка вимикачів за умовою $I_{\hat{A}\hat{E}\hat{E}}^2 \geq I_{E.max}^{(3)}$ буде здійснена далі у розділі розрахунку струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В.

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

Відповідно до вимог ПУЕ вибираємо такі способи прокладки кабельних ліній: від ТП до РП-1 та РП-2 прокладка кабелю з алюмінієвими жилами марки АВВГ прокладених в кабельних каналах.

Вибираємо переріз проводів з умови:

$$I_{\text{АІІ}}^2 = \begin{cases} I_{\text{Д}}^2 - \text{äëÿ} \text{ ìðìàëüìèð} \text{ } \text{ìðèì³ùáíü} \\ 1,25 \cdot I_{\text{Д}}^2 - \text{äëÿ} \text{ äèáóðíááá} \text{ } \text{çã÷ìèð} \text{ } \text{ìðèì³ùáíü} \end{cases} \quad (2.16)$$

Перевіримо втрати напруги на найбільш віддаленому споживачу:

$$\Delta U = \frac{P_1 \cdot R_{\text{ієò}} + Q_1 \cdot X_{\text{ієò}}}{U_{\text{мі}}} \cdot 1, \quad (2.17)$$

де $R_{\text{ієò}}$, $X_{\text{ієò}}$ – погонні опори ліній беруться з [1];

1 – довжина провідника від РП до ЕП.

Відхилення напруги не повинно перевищувати 5-7,5%.

Обираємо переріз для всіх провідників, а результати розрахунків заносимо в табл. 2.2.

Як приклад, розглянемо розрахунок та вибір автоматичного вимикача провідника для кульового млину (позиція 1 на плані цеху).

Обчислюємо номінальний струм установки за формулою:

$$I_{\text{мі}}^{\hat{I}} = \frac{D_{\text{мі}}^{\hat{I}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{мі}} \cdot \text{ñosφ}} = \frac{3}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6} = 7,6 \text{ A.}$$

$$I_{\text{іє}}^{\hat{I}} = 5 \cdot I_{\text{мі}}^{\hat{I}} = 5 \cdot 7,6 = 38 \text{ A.}$$

Отже за довідниковими даними вибираємо автоматичний вимикач серії ЕВ 100/3L 12А 3р з такими параметрами: $I_{\text{мі.òìçü}}^{\hat{I}} = 12 \text{ A}$; $I_{\text{мі.ââ}}^{\hat{I}} = 12 \text{ A}$.

Визначаємо струм спрацювання (відсічки) електромагнітного або комбінованого розщеплювача:

$$I_{\text{міòáó}}^{\hat{I}} \geq I_{\text{іє}}^{\hat{I}} \geq 38 \text{ A.}$$

Розрахункове значення кратності струму відсічки $K_{\text{с.в.}}$ може бути знайдено по формулі:

$$K_{\text{н.â.}}^{\hat{I}} = \frac{I_{\text{іє}}^{\hat{I}}}{I_{\text{мі.òìçü}}^{\hat{I}}} = \frac{38}{12} = 3,2.$$

					ДП 2025 141	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо стандартний коефіцієнт відсічки для даного автоматичного вимикача рівним 5.

Вибираємо провід марки АПВ4 (1×2,5) з $I_{\text{доп}} = 70$ А. Провід прокладається в полівінілхлоридній трубі ТØ10 під бетоном. Оскільки, $I_{\text{доп}} = 14$ А $>$ $I_{\text{с}} = 12$ А, то провідник вибрано правильно. Провідники вибираємо за довідниковою літературою.

Виконаємо розрахунок та здійснимо вибір автоматичного вимикача для РП 1.

Визначаємо піковий струм для даної групи за (2.13):

$$I_{\text{п}} = 30,7 + (64,3 - 0,27 \cdot 12,9) = 91,5 \text{ А.}$$

Визначаємо струм електромагнітного розціплювача

$$I_{\text{р}} \geq I_{\text{п}} = 91,5 \text{ А.}$$

Вибираємо автоматичний вимикач типу ЕВ2 250/3L 100А 4р з

$$I_{\text{н}} = 100 \text{ А; } I_{\text{л}} = 100 \text{ А; } I_{\text{сл.магн.}} = 500 \text{ А.}$$

Для живлення РП 1, вибираємо кабель марки ААВГ 3х35+1х16, $I_{\text{доп}} = 109$ А $>$ $I_{\text{с}} = 100$ А. Оскільки умова вибору виконується, відповідно кабель вибрано вірно. Для всіх інших споживачів електричної енергії цеху та груп споживачів вибір аналогічний наведеному розрахунку і результати вибору наведено в табл. 2.2.

2.4. Розрахунок навантажень підприємства

Розрахунок активної та реактивної потужності силового обладнання підприємства, здійснюємо методом коефіцієнта попиту за такими формулами:

$$P_{\text{н}} = \hat{E}_{\text{і}} \cdot D_{\text{і}} , Q_{\text{н}} = D_{\text{с}} \cdot \text{tg}\varphi . \quad (2.18)$$

За методом коефіцієнта попиту визначено також розрахункове навантаження освітлювальних установок. Орієнтовно номінальна потужність освітлення визначена наближено за питомою потужністю на 1 м² площі цеху. В цілому розрахункова потужність електричного освітлення визначена за формулою:

$$D_{\text{і}} = D_{\text{іосв.і}} \cdot \hat{E}_{\text{іі}} \cdot \hat{E}_{\text{іосв.і}} \cdot F; \quad (2.19)$$

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

Таблиця 2.2

Вибір комутаційно-захисної апаратури і провідників

Найменування ЕП	I_p , А	$I_{п}$, А	Тип АВ	$I_{ном}$, А	$I_{розч}$, А	$I_{св}$, А	Тип ЛЖ	S, мм ²	Спос. прокл.	Тип труби	$I_{доп}$, А
РП 1	30,7	91,5	ЕВ2 250/3L 100А 4р	100	100	500	АВВГ	3x35+1x16	відкрито		109
РП 2	28,3	72,8	ЕВ2 250/3L 100А 4р	100	100	500	АВВГ	3x35+1x16	відкрито		109
Кульовий млин 1	7,6	38,0	ЕВ 100/3L 12А 3р	12	12	60	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ10	14
Мішалка 2	7,0	35,1	ЕВ 100/3L 12А 3р	12	12	60	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ10	14
Вібросито 3	10,3	51,4	ЕВ 100/3L 12А 3р	12	12	60	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ10	14
Прес-ножиці 4,5	12,9	64,3	ЕВ 100/3L 25А 3р	25	25	125	АПВ	4(1x6)	в трубі	ТТØ12	30
Змащувальний верстат 6,7	7,0	35,1	ЕВ 100/3L 12А 3р	12	12	60	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ10	14
Піч опору 8,9	11,4	11,4	ЕВ 100/3L 12А 3р	12	12	60	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ10	14
Брекетувальний верстат 10	8,7	43,4	ЕВ 100/3L 12А 3р	12	12	60	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ10	14
Шліфувальний верстат 11	9,3	46,7	ЕВ 100/3L 12А 3р	12	12	60	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ10	14
Вентиляційна установка 12	7,8	39,1	ЕВ 100/3L 12А 3р	12	12	60	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ10	14
Транспортер 13-17	2,5	12,7	ЕВ 100/3L 12А 3р	12	12	60	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ10	14

$$D_D = D_N + D_1 = 19,25 + 23,79 = 43,04 \text{ кВт};$$

$$Q_D = Q_{D'} + Q_{i'} = 14,44 + 2,47 = 16,91 \text{ квар.}$$

Розрахунки для інших цехів виконуються аналогічно наведеному розрахунку і їх результати наведені в табл. 2.3.

2.5. Вибір і розміщення ГПП

Визначимо сумарну повну розрахункову потужність всіх цехів, електричне обладнання яких живиться на напрузі 0,38 кВ:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{10} D_{i3}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{10} Q_{i3}\right)^2} = \sqrt{754,49^2 + 694,32^2} = 1025,3 \text{ êÀÀ}. \quad (2.25)$$

Визначимо загальну площу всіх цехів:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{10} F_i = 12114 \text{ ì }^2. \quad (2.26)$$

Середнє питоме навантаження на 1 м² площі:

$$S_{i\text{êò}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{1025,3}{12114} = 0,085 \text{ (êÀÀì }^2). \quad (2.27)$$

					ДП 2025 141	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3

Розрахунок електричних навантажень підприємства

№	Назва цеху	Силове навантаження						Освітлювальне навантаження					Сумарне навантаження		
		P _H , кВт	K _П	cosφ	tgφ	P _C , кВт	Q _C , квар	F, м ²	P _{ПИТ.} , Вт/м ²	K _{ПО}	K _{ПРА}	P _O , кВт	P _P , кВт	Q _P , квар	S _P , кВА
1	Адміністративний корпус кар'єру	35	0,55	0,8	0,75	19,25	14,44	1377	0,016	0,9	1,2	23,79	43,04	16,91	46,24
2	Побутовий корпус 1	120	0,45	0,65	1,17	54	63,18	1296	0,014	0,8	1,2	17,42	71,42	74,23	103,00
3	Побутовий корпус 2	38	0,55	0,8	0,75	20,9	15,68	1008	0,014	0,8	1,2	13,55	34,35	19,8	39,73
4	Офісне приміщення 1	20	0,55	0,65	1,17	11	12,87	405	0,012	0,8	1,2	4,67	15,67	14,79	21,55
5	Медпункт	15	0,45	0,6	1,33	6,75	8,98	1053	0,016	0,9	1,2	18,2	24,95	10,78	27,18
6	Станція технічного обслуговування	276	0,55	0,65	1,17	151,8	177,61	1215	0,015	0,9	1,2	19,68	171,48	209,76	270,93
7	Цех електродів					32,43	21,16	1296	0,015	0,9	1,2	21,00	53,43	27,19	59,95
8	Цех плитки	200	0,45	0,75	0,88	90	79,2	1296	0,015	0,9	1,2	21,00	111,00	96,66	147,19
9	Ремонтно-будівельний цех	350	0,5	0,7	1,02	175	178,5	2601	0,014	0,8	1,2	34,96	209,96	213,19	299,22
10	Офісне приміщення 2	20	0,5	0,75	0,88	10	8,8	567	0,015	0,9	1,2	9,19	19,19	11,01	22,12
	Всього по підприємству	1074				571,13	580,42	12114				183,44	754,49	694,32	1025,3

Згідно з [1] при даній густині навантаження потрібно встановлювати трансформатори потужністю 630 кВА.

Розрахуємо кількість двотрансформаторних підстанцій:

$$N_{\text{дв}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{дв}} \cdot k_{\text{з}}} = \frac{1025,3}{2 \cdot 630 \cdot 0,85} = 0,957, \quad (2.28)$$

де $k_{\text{з}} = 0,8 \div 0,85$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів двотрансформаторної підстанції споживачів II – III категорії.

Під час визначення розрахунковим методом $k_{\text{з}}$ видно, що встановивши двотрансформаторну підстанцію споживачів II – III категорії з трансформатором 630 кВА вона не є перенавантаженою

$$k_{\text{з}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{дв}} \cdot 2} = \frac{1025,3}{630 \cdot 2} = 0,81. \quad (2.29)$$

Отже для живлення цехів заводу встановлено двотрансформаторну підстанцію з потужністю трансформаторів 630 кВА. Номінальні параметри яких представлені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Номінальні параметри трансформаторів

Тип	$S_{\text{н}}$, кВА	$U_{\text{вн}}$, кВ	$U_{\text{нн}}$, кВ	$\Delta P_{\text{хх}}$, кВт	$\Delta P_{\text{к}}$, кВт	$I_{\text{хх}}$, %	$U_{\text{к}}$, %
ТМ- 630/10	630	10	0,4	1,31	8,5	2	5,5

Підприємства невеликої потужності живляться на напрузі 10(6) кВ, напруга зовнішньої і внутрішньої заводських мереж однакові, то для прийому і розподілу електроенергії споруджують ГПП напругою 10(6) кВ. ГПП розміщують таким чином, щоб не було зворотних перетоків енергії. Конструктивно заводські мережі середніх за потужністю підприємств виконують кабелями, прокладеними в траншеях або каналах. При невеликій кількості кабелів (до шести) в одному напрямку їх прокладають в траншеях. При стисненні траси, а також в місцях переходу під дорогами кабелі прокладають в блоках. Кабельні канали дозволяють

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

прокласти в них 15 - 20 кабелів. Перспективним є виконання кабельних каналів на пів заглибленими, коли канал накривається плитами і землею не засипається.

Для визначення місця розташування ГПП побудуємо картограму електричних навантажень.

При побудові картограмі електричних навантажень окремих цехів підприємства центри кіл сполучимо з центрами ваги геометричних фігур.

Розрахуємо місце установки за формулами:

$$\tilde{O}_{\tilde{O}i} = \frac{\sum_{s=1}^N P_{i^s} \cdot \tilde{O}_s}{\sum_{s=1}^N P_{i^s}}, \quad \acute{O}_{\acute{O}i} = \frac{\sum_{s=1}^N P_{i^s} \cdot \acute{O}_s}{\sum_{s=1}^N P_{i^s}}. \quad (2.30)$$

Для визначення повної потужності, яку повинно споживати підприємство з енергосистеми, визначимо втрати потужності в трансформаторах. Параметри встановлених на підприємстві трансформаторів наведені в табл. 2.4.

$$\Delta D_{\acute{O}D} = n \cdot \Delta P_{\acute{O}\acute{O}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\acute{E}} \cdot \left(\frac{S_i}{S_{\text{фн.}\acute{O}}}\right)^2 = 2 \cdot 1,31 + \frac{1}{2} \cdot 8,5 \cdot \left(\frac{1025,3}{630}\right)^2 = 13,88 \text{ кВт}, \quad (2.31)$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\acute{O}D} &= n \cdot \frac{I_{\acute{O}\acute{O}\%}}{100} \cdot S_{\text{фн.}\acute{O}} + \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta U_{\acute{E}\%}}{100} \cdot \left(\frac{S_i}{S_{\text{фн.}\acute{O}}}\right)^2 = \\ &= 2 \cdot \frac{2}{100} \cdot 630 + \frac{1}{2} \cdot \frac{5,5}{100} \cdot \left(\frac{1025,3}{630}\right)^2 = 25,27 \text{ кВА} \end{aligned} \quad (2.32)$$

Для уточнення місця розташування ГПП побудуємо картограму навантажень і визначимо центр електричних навантажень підприємства. Картограму навантажень будуємо на кресленні генерального плану підприємства. Навантаження кожного з цехів зображаємо кругом, площа якого пропорційна розрахунковій активній потужності.

Приймаємо масштаб рівним $m_p=0,1\text{кВт}/\text{м}^2$. Визначимо радіуси кругів при даному масштабі за формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{D_{D^s}}{\pi \cdot m_D}}. \quad (2.33)$$

Сектор освітлювального навантаження цеху складає:

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

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot \mathcal{D}_{i3}}{\mathcal{D}_{\mathcal{D}3}}. \quad (2.34)$$

Розрахунки для всіх цехів здійснимо за допомогою Microsoft Office Excel, а результати зводимо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Дані для побудови картограми навантажень $\alpha_i, ^\circ$

№	Цех	X, м	Y, м	P _p , кВт	P _o , кВт	r, м	α°	d, м
1	Адміністративний корпус кар'єру	28	286	43,04	23,79	11,71	199	23,42
2	Побутовий корпус 1	71	253	71,42	17,42	15,08	87,8	30,16
3	Побутовий корпус 2	121	231	34,35	13,55	10,46	142	20,92
4	Офісне приміщення 1	35	194	15,67	4,67	7,06	107,3	14,12
5	Медпункт	83	172	24,95	18,2	8,91	262,6	17,82
6	Станція технічного обслуговування	35	147	171,48	19,68	23,37	41,3	46,74
7	Цех електродів	150	124	53,43	21,00	13,04	141,5	26,08
8	Цех плитки	185	124	111,00	21,00	18,8	68,1	37,6
9	Ремонтно-будівельний цех	41	70	209,96	34,96	25,86	59,9	51,72
10	Офісне приміщення 2	28	26	19,19	9,19	7,82	172,4	15,64

Для оптимального розміщення ГПП визначимо координати центру навантажень за формулами:

$$\tilde{O}_0 = \frac{\sum_{s=1}^{10} P_{i3} \cdot \tilde{O}_s}{\sum_{s=1}^{10} P_{i3}}, \quad \acute{O}_0 = \frac{\sum_{s=1}^{10} P_{i3} \cdot \acute{O}_s}{\sum_{s=1}^{10} P_{i3}}. \quad (2.35)$$

Дані $\sum_{s=1}^{10} P_{i3} = 754,49 + 13,88 = 768,37$ – з урахуванням втрат в трансформаторах, беремо з табл. 2.3 кваліфікаційної роботи,

$$\sum_{s=1}^{10} P_{i3} \cdot \tilde{O}_s = 56748,57, \quad \sum_{s=1}^{10} P_{i3} \cdot \acute{O}_s = 106437,95.$$

$$\tilde{O}_0 = \frac{\sum_{s=1}^{10} P_{I^3} \cdot \tilde{O}_s}{\sum_{s=1}^{10} P_{I^3}} = \frac{56748,57}{768,37} = 73,86 \text{ à } ;$$

$$\hat{O}_0 = \frac{\sum_{s=1}^{10} P_{I^3} \cdot \hat{O}_s}{\sum_{s=1}^{10} P_{I^3}} = \frac{106437,95}{768,37} = 138,52 \text{ à } .$$

Рішення питання про розміщення ГПП в центрі електричних навантажень повинне бути погоджене з технологами і будівельниками. ЦЕН зміщаємо на вільну від забудов територію, достатню для спорудження ГПП, в напрямку зовнішнього живлення заводу, для уникнення зворотних перетоків потужності на напрузі 10 кВ.

Приймаємо такі оптимальні координати ЦЕН, в яких буде розміщено ГПП: X=53 м; Y= 130 м (див. графічне креслення 1 кваліфікаційної роботи).

2.6. Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

Живлення здійснюється від п/ст. 110/10, що знаходиться на відстані 4 км від підприємства. Вибираємо вибираємо радіальну схему електропостачання напругою 10 кВ. На підприємстві встановлюємо ГПП 10 кВ з двома секціями розподільних шин.

Конструктивно заводські мережі підприємства виконані кабелями прокладеними в траншеях.

Схема внутрішньо заводського електропостачання наведена на графічному кресленні 1 кваліфікаційної роботи.

Згідно із ПУЕ [17] всі електричні апарати вибирають за характером установлення, номінальним струмом та напругою, а також перевіряють їх на термічну і динамічну стійкість.

Високовольтні вимикачі вибираємо за номінальною напругою і розрахунковим струмом з врахуванням після аварійних режимів та можливих нерівномірностей розподілу струмів між лініями і секціями шин:

$$U_{m.a} \geq U_{m.iadae3} , \quad (2.36)$$

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

$$I_{\text{м.а}}^2 \geq I_{\text{i.аа}}^2 \quad (2.37)$$

Розрахуємо струм для живлячої лінії:

$$I_1 = \frac{S_1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{м}}} = \frac{1025,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 29,6 \text{ А}.$$

Для встановлення на стороні 10 кВ вибираємо вакуумні вимикачі ВРС-10-20/630. Номінальний струм вимикачів $I_{\text{НОМ.В}} = 200 \text{ А} > I_{\text{М.ав}} = 47,3 \text{ А}$ для всіх приєднань. Власний час відключення вимикача 0,075 с.

Для живлення заводу вибираємо броньовані кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену в ПВХ оболонці типу АПвЭБВ-10 прокладені в траншеї. Вибір кабелю виконаємо за допустимим струмом.

Визначаємо переріз провідників для живлення ЦРП:

$$I_{\text{д}}^2 \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{аа}}^2; \quad (2.38)$$

$$59,2 \text{ А} \leq 1,03 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 0,97 \cdot 119 = 117,7 \text{ А}$$

де k_1 – поправочний коефіцієнт при температурі зовнішнього середовища;

k_2 – поправочний коефіцієнт в залежності від глибини прокладання;

k_3 – поправочний коефіцієнт в залежності від теплового опору ґрунту;

k_4 – поправочний коефіцієнт в залежності від відстані між фазами;

k_5 – поправочний коефіцієнт в залежності від прокладених поруч кабелів;

k_6 – поправочний коефіцієнт при прокладанні в трубах і каналах.

Для живлення ЦРП вибираємо кабель АПвЭБВ-10 перерізом $3 \times 35 \text{ мм}^2$ з

$I_{\text{доп}} = 119 \text{ А}$.

Розрахуємо струми нормального та післяаварійного режимів для лінії:

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м}}} = \frac{1025,3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 59,2 \text{ А};$$

$$I_{\text{i.аа}} = \frac{1,3 \cdot S_{\text{іах}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м}}} = \frac{1,3 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 47,3 \text{ А}.$$

Для встановлення на стороні 10 кВ вибираємо вакуумні вимикачі ВБЭ-М-10- 20/200. Номінальний струм вимикачів $I_{\text{НОМ.В}} = 200 \text{ А} > I_{\text{М.ав}} = 47,3 \text{ А}$ для всіх приєднань. Власний час відключення вимикача 0,075 с.

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

Для живлення заводу вибираємо броньовані кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену в ПВХ оболонці типу АПвЭБВ-10 прокладені в траншеї. Вибір кабелю виконаємо за допустимим струмом з подальшою перевіркою до впливу струмів КЗ в п.5 кваліфікаційної роботи.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						31
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

У "Вказівках щодо компенсації реактивної потужності в розподільчих мережах" установлені вихідні дані для визначення потужності пристроїв, що компенсують, котрі визначаються граничними значеннями реактивної потужності і можуть бути передані підприємству від енергосистеми в режимах найбільших і найменших реактивних навантажень енергосистеми. При цьому час найбільших активних навантажень енергосистеми може не збігатися з часом найбільших навантажень підприємства.

Для здійснення штучної компенсації, також відомої як поперечна, використовують спеціальні компенсуючі пристрої, які є джерелом реактивної енергії ємнісного характеру.

Серед них основне місце займають статичні конденсатори.

Найбільш ефективна компенсація реактивної потужності досягається при централізованому підході, тому конденсаторні батареї розміщуються у приміщенні трансформаторної підстанції на низькій стороні.

Коефіцієнт потужності електромережі, що живить підприємство, становить $\cos \varphi = 0,97$, що відповідає значенню $\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,25$. Для визначення динамічних змін споживання реактивної потужності використовуємо $\operatorname{tg} \varphi_1$:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q_{\Sigma} + \Delta Q}{P_{\Sigma} + \Delta P} = \frac{694,32 + 25,27}{754,49 + 13,88} = 0,9365. \quad (3.1)$$

Тепер визначимо потужність компенсуючих пристроїв в кілоVARах

$$Q_{\text{Е.І.}} = \Sigma E_{\text{сaa}} \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = 768,37 \cdot (0,9365 - 0,25) = 527,5 \text{ кVAR}. \quad (3.2)$$

За довідниковими матеріалами вибираємо дві регульовані конденсаторні установки типу УКРМ 0,4-300/7-25 з номінальною потужністю $Q_n = 2 \times 300 = 600$ кVAR, що має сім ступенів регулювання потужності, кVAR (25+25+50+50+50+50+50).

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Шарапа О.П.			3. Компенсація реактивної потужності та вибір місця розташування компенсуючих пристроїв		
Перевір.		Романюк В.Т.					
Реценз.		Якимчук М.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					Лім.	Арк.	Аркуші
						32	
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

Конденсаторну установку приєднуємо до кожної секції шин низької напруги трансформатора.

Комплектація конденсаторної установки

1. Ввід КУ – роз'єднувач E.NEXT
2. Індивідуальний захист конденсатора – автоматичний вимикач виробництва E.NEXT.

3. Індивідуальний комутуючий апарат конденсатора – контактор виробництва E.NEXT (для комутації ємнісного навантаження).

4. Регулятор реактивної потужності виробництва фірми CNC.

5. Конденсатори LPC DW – виробництво ETI.

Визначимо коефіцієнт завантаження трансформаторів на шостій ступені роботи конденсаторних батарей

$$k_{\zeta} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{i,0-\delta a}} = \frac{\sqrt{(\sum_{i=1}^{10} P_{i3})^2 + (\sum_{i=1}^{10} Q_{i3} - Q_{\hat{E}O})^2}}{S_{i,0-\delta a}} = \frac{\sqrt{754,49^2 + (694,32 - 500)^2}}{630 \cdot 2} = \frac{1025,3}{630 \cdot 2} = 0,62.$$

Вибираємо автоматичний вимикач для конденсаторної установки.

Визначаємо номінальний струм конденсаторної установки за формулою:

$$I_{\hat{E}O} = \frac{Q_{\hat{E}O}}{\sqrt{3} \cdot U_i} = \frac{300}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 455,8 \text{ А.} \quad (3.3)$$

Вибираємо автоматичний вимикач типу EB2 з

$$I_{\hat{E}O} = 500 \text{ А}; I_{\hat{A}\hat{A}} = 630 \text{ А.}$$

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

4. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

4.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

Основними причинами порушення нормального режиму роботи системи електропостачання є виникнення коротких замикань в мережі або в елементах електрообладнання внаслідок пошкодження ізоляції чи помилкових дій обслуговуючого персоналу.

Для зменшення збитків і швидкого відновлення нормального режиму роботи системи електропостачання, необхідно правильно визначити струми короткого замикання і за ними перевірити електрообладнання, захисну апаратуру і засоби обмеження струмів короткого замикання.

Для визначення струмів короткого замикання складемо розрахункову схему, що зображена на рис. 4.1, а і схему заміщення (рис. 4.1, б).

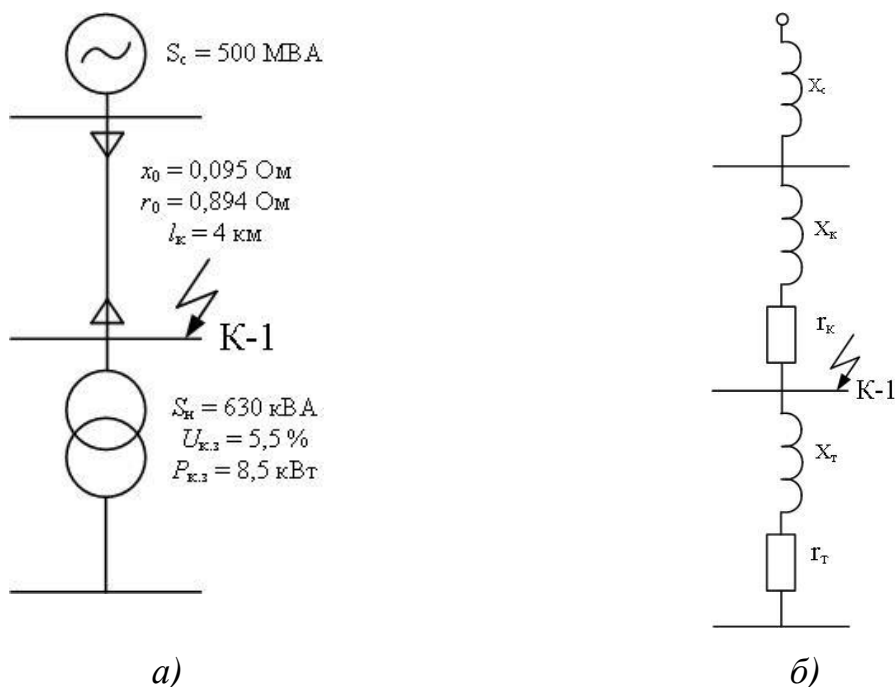


Рис. 4.1. Розрахункова та схема заміщення для визначення струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Шарапа О.П.			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Романюк В.Т.				34	
Реценз.		Якимчук М.В.			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					

8. Розрахунок струмів короткого замикання

Вихідними даними для розрахунку струмів короткого замикання на стороні напруги 10 кВ є потужність системи $S_c = 500$ МВА, номінальна потужність трансформатора $S_{н.т} = 630$ кВ·А, напруга короткого замикання трансформатора $u_k = 5,5$ % та опір системи $x_c = 0$.

Обчислимо струм короткого замикання в точці: К1 – на стороні напруги 10 кВ. При розрахунку струмів короткого замикання широко використовуються два методи розрахунку: в іменованих одиницях та в базисних відносних одиницях.

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

Обчислюємо опір системи за формулою:

$$\tilde{\sigma}_{\tilde{n}^* \tilde{a}} = \frac{S_{\tilde{a}}}{S_{\tilde{n}}} = \frac{100}{500} = 0,2. \quad (4.1)$$

Визначаємо реактивний опір кабеля, що під'єднаний до підстанції з високої сторони І1:

$$\tilde{\sigma}_{1^* \tilde{a}} = \tilde{\sigma}_{01} \cdot l_1 \frac{S_{\tilde{a}}}{U_{\tilde{a}\tilde{E}1}^2} = 0,095 \cdot 4 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,345, \quad (4.2)$$

де $x_{01} = 0,095$ Ом/км – питомий реактивний опір кабельної високовольтної лінії.

Визначаємо активний опір кабеля, що під'єднаний до підстанції з високої сторони І1:

$$r_{1^* \tilde{a}} = r_{01} \cdot l_1 \frac{S_{\tilde{a}}}{U_{\tilde{a}\tilde{E}1}^2} = 0,894 \cdot 4 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 3,244, \quad (4.3)$$

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

Обчислюємо повний реактивний опір для точки К1:

$$\tilde{\sigma}_{\Sigma^* \tilde{a}\tilde{E}1} = \tilde{\sigma}_{\tilde{n}^* \tilde{a}} + \tilde{\sigma}_{1^* \tilde{a}} = 0,2 + 0,345 = 0,545. \quad (4.4)$$

Знаходимо повний опір у точки К1:

$$z_{\Sigma^* \tilde{a}\tilde{E}1} = \sqrt{\tilde{\sigma}_{\Sigma^* \tilde{a}\tilde{E}1}^2 + r_{1^* \tilde{a}}^2} = \sqrt{0,545^2 + 3,244^2} = 3,289. \quad (4.5)$$

Обчислюємо базисний струм у точці К1 за формулою:

$$I_{\tilde{a}\tilde{E}1}^2 = \frac{S_{\tilde{a}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\tilde{a}\tilde{E}1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,496 \text{ еА}. \quad (4.6)$$

Знаходимо струм короткого замикання у точці К1 за формулою:

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

$$I_{\Sigma}^{(3)} = \frac{I_{\Sigma}^{(3)}}{Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{5,496}{3,289} = 1,671 \text{ êÀ.} \quad (4.7)$$

Обчислюємо ударний струм короткого замикання у точці К1 за формулою:

$$i_{\text{об.ê1}} = I_{\Sigma}^{(3)} \cdot \hat{E}_{\text{об}} \cdot \sqrt{2} = 1,671 \cdot 1,4 \cdot 1,4 = 3,28 \text{ êÀ,} \quad (4.8)$$

де $K_{\text{уд}}$ – ударний коефіцієнт, приймаємо його для високої сторони рівним 1,4.

Обчислюємо потужність короткого замикання у точці К1:

$$S_{\Sigma}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\Sigma}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1,671 = 28,94 \text{ êÀ}^2. \quad (4.9)$$

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

Особливостями розрахунку струмів короткого замикання в мережі напругою 0,4 кВ є наступне:

1. Усі розрахунки ведуться в іменованих одиницях, при цьому опори елементів схеми заміщення враховують у МОм.
2. Враховуються всі індуктивні й активні опори елементів.
3. Враховуються опори контактних з'єднань, котушок розціплювачів автоматичних вимикачів тощо.
4. При обчисленні мінімального значення струму короткого замикання враховується опір дуги в місці короткого замикання.

Для обчислення струмів короткого замикання слід скласти розрахункову схему електропостачання ділянки та схему заміщення електричних елементів.

Для розрахунку струмів короткого замикання використовуються наступні співвідношення:

а) 3-фазного КЗ, кА

$$I_{\text{К}}^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К}}}, \quad (4.10)$$

де $U_{\text{л}}$ – лінійна напруга в точці короткого замикання, кВ;

$Z_{\text{К}}$ – повний опір до точки короткого замикання, Ом.

б) 2-фазного КЗ, кА

$$I_{\text{К}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{К}}^{(3)} = 0,87 \cdot I_{\text{К}}^{(3)}. \quad (4.11)$$

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

в) 1-фазного КЗ, кА

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_\pi + \frac{Z_T^{(1)}}{3}}, \text{ кА}, \quad (4.12)$$

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

Z_π – повний опір петлі фаза-нуль до точки короткого замикання, Ом;

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

г) K_y – ударний коефіцієнт, визначається за графіками довідникових даних і функцією:

$$K_y = f\left(\frac{R_k}{X_k}\right), \quad (4.12)$$

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

д) діюче значення ударного струму, кА:

$$I_y = q \cdot I_K^{(3)}, \quad (4.13)$$

де q – коефіцієнт діючого значення ударного струму:

$$q = \sqrt{1 + 2(\hat{E}_\phi - 1)^2}. \quad (4.14)$$

Активний R_π і реактивний X_π опори кабельних ліній, визначаються по формулах:

$$R_\pi = r_o \cdot L; \quad (4.15)$$

$$X_\pi = x_o \cdot L, \quad (4.16)$$

де r_o , x_o – відповідно питомий активний і реактивний опір кабельної лінії, мОм;

L – довжина кабельної лінії, м.

Обчислимо струм короткого замикання на затискачах найбільш потужного і віддаленого споживача цеху електродів (№ 5 за планом – Прес-ножиці).

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

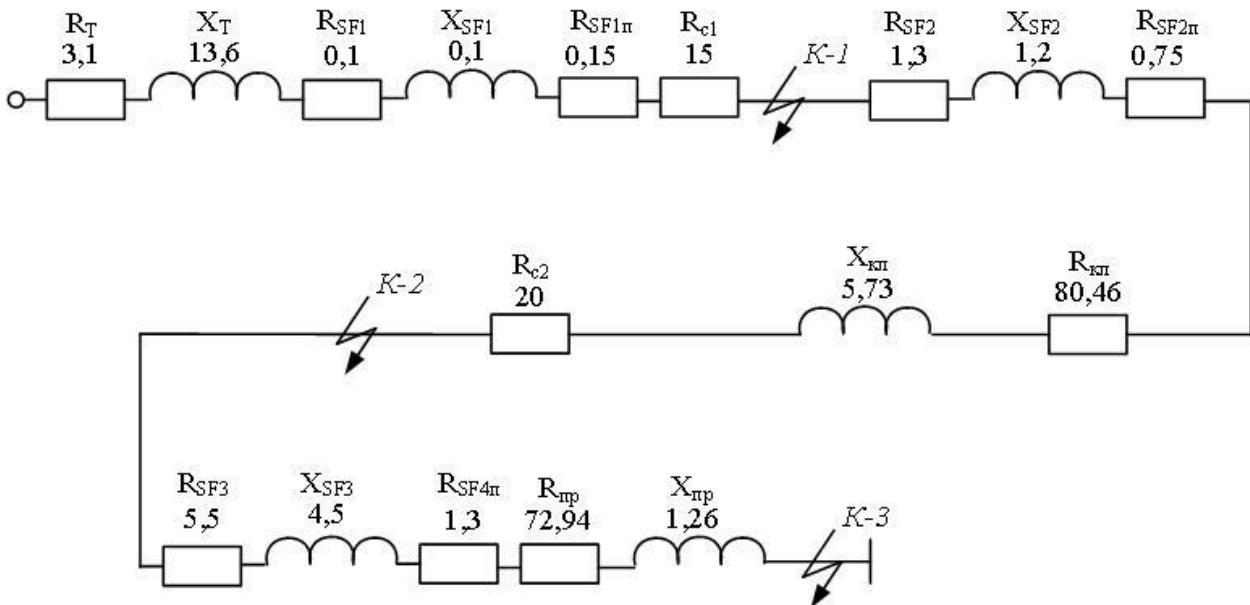


Рис. 4.3. Схема заміщення для розрахунку трифазного струму короткого замикання на стороні напруги 0,4 кВ

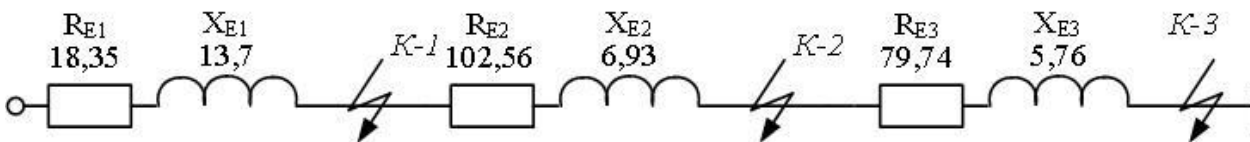


Рис. 4.4. Перетворена схема заміщення для розрахунку трифазного струму короткого замикання на стороні напруги 0,4 кВ

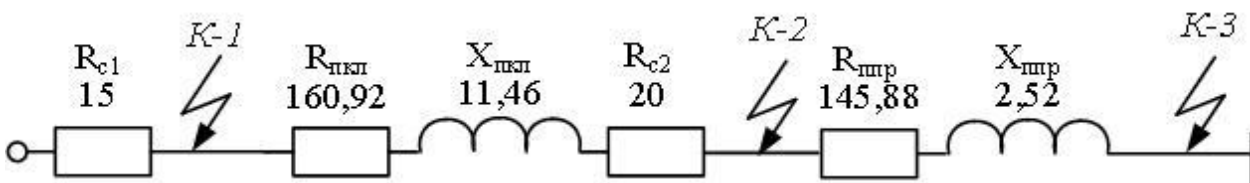


Рис. 4.5. Схема заміщення для розрахунку однофазного струму короткого замикання на стороні напруги 0,4 кВ

Обчислимо значення струмів короткого замикання для точки К1

Обчислюємо опори до точки К1.

Опір трансформатора ТМ-630-10/0,4

$$R_T = 3,1 \text{ мОм};$$

$$X_T = 13,6 \text{ мОм};$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$Z_T^{(1)} = 129 \text{ мОм.}$$

Перехідний опір першого ступеню розподілу приймає $R_{C1} = 15 \text{ мОм.}$

Для вимикача EB2 з номінальним струмом $I_{НОМ} = 1000 \text{ А.}$

$$R_{SF1} = 0,1 \text{ мОм;}$$

$$X_{SF1} = 0,1 \text{ мОм;}$$

$$R_{SF1П} = 0,15 \text{ мОм.}$$

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

Знаходять значення повного опору схеми заміщення до точки К1

$$R_{E1} = R_T + R_{SF1} + R_{SF1П} + R_{C1} = 3,1 + 0,1 + 0,15 + 15 = 18,35 \text{ мОм.}$$

$$X_{E1} = X_T + X_{SF1} = 13,6 + 0,1 = 13,7 \text{ мОм}$$

$$Z_{E1} = \sqrt{18,35^2 + 13,7^2} = 22,9 \text{ мОм.}$$

$$K_{y1} = F \left(\frac{\sum R_1}{\sum X_1} \right) = F(1,3) = 1,1.$$

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

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{\Delta}}{\sqrt{3} \cdot Z} = 380 / (1,73 \cdot 22,9) = 9,58 \text{ кА;}$$

$$I_{yK1} = I_{K1}^{(3)} \cdot K_{y1} = 9,58 \cdot 1,1 = 10,54 \text{ кА;}$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1}^{(3)} = 0,86 \cdot 9,58 = 8,24 \text{ кА;}$$

Знаходять значення повного опору схеми заміщення 1-фазних струмів КЗ до точки К1

$$Z_{П1} = R_{C1} = 15 \text{ мОм;}$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_{\Phi}}{Z_{П1} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = 220 / (15 + 129/3) = 3,79 \text{ кА.}$$

Для інших точок короткого замикання розрахунок аналогічний з додаванням відповідних опорів наступних елементів схеми. Результати розрахунку струмів КЗ представлені в табл. 4.1.

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

Таблиця 4.1

Зведена таблиця 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	18,35	13,7	22,9	15	9,58	8,24	3,79
К2	120,91	20,63	122,7	176,3	1,79	1,54	1,0
К3	200,65	26,39	202,4	322,1	1,08	0,93	0,6

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

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

5.1. Вибір і перевірка провідників напругою 10 кВ

Провідники будь-якого призначення повинні відповідати вимогам тривалого допустимого нагрівання струмами як нормального, так і максимального режиму.

У зв'язку з цим переріз високовольтних провідників вибирають за економічно вигідною густиною струму для нормального режиму роботи електроустановки і перевіряють за максимально тривалою допустимою температурою $t_{\text{доп}}$ поверхні провідника при максимальному режимі.

Економічно вигідний переріз провідника, мм^2 , визначається за формулою:

$$S_{\text{вг}} = \frac{I_{\text{н}}}{j_{\text{вг}}}, \quad (5.1)$$

де $I_{\text{н}}$ – струм нормального робочого режиму, А;

$j_{\text{вг}}$ – значення економічно вигідної густини струму, А/ мм^2 .

Обчислений економічно вигідний переріз провідника ($S_{\text{вг}}$) заокруглюється до найближчого стандартного перерізу $S_{\text{ст}}$, мм^2 .

Слід зазначити, що умови вибору перерізу провідників не залежать від економічно вигідної густини струму:

- для збірних шин електроустановок і збірних шин в межах відкритих і закритих розподільчих пристроїв усіх напруг (і вибирається за нагріванням);
- для мереж промислових підприємств і мереж напругою до 1 кВ при T_{max} до 4000...5000 годин на рік;
- для мереж тимчасових споруд;
- для освітлювальної мережі промислових підприємств, житлових і громадських будівель тощо.

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шарапа О.П.			9. Вибір провідників та основного електрообладнання на напругу 10 кВ і перевірка їх до дії струмів короткого замикання	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Романюк В.Т.					42	
Реценз.		Якимчук М.В.				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

Перевірка вибраного стандартного перерізу $S_{ст}$ за граничною тривало допустимою температурою при максимальному режимі провадиться для всіх видів провідників: шин, кабелів, проводів. Тривало допустима максимальна температура $t_{доп}$ провідників нормується або умовою підвищеного окислення контактних з'єднань для неізольованих провідників, або умовою швидкого старіння ізоляції для ізольованих провідників. З урахуванням максимальних тривалих допустимих температур навколишнього середовища для $t_{опт.с}$ (для повітря 25 °С, для землі та води 15 °С) для різних видів провідників стандартного перерізу та їх ізоляції експериментально отримані максимальні значення тривалих допустимих струмів $I_{доп}$.

Провідник задовольняє умові нагрівання його до тривало допустимої температури при максимальному режимі, якщо виконується умова:

$$K_{нав} \cdot I_{доп} \geq I_{макс}, \quad (5.2)$$

де $K_{нав}$ – допустимий коефіцієнт навантаження в максимальному режимі, приймається більшим за одиницю.

Для шин, неізольованих проводів, а також кабельних ліній напругою 20...35 кВ $K_{нав} = 1$, тобто їх перевантажувати в максимальному режимі недопустимо і має виконуватись умова:

$$I_{доп} \geq I_{макс}. \quad (5.3)$$

При протіканні струмів КЗ збільшуються втрати електроенергії в провідниках і контактах, що призводить до їх інтенсивного нагрівання. Нагрівання може прискорювати старіння і руйнування ізоляції, викликає зварювання і вигоряння контактів, втрачають механічну міцність шини і проводи тощо. Провідники і апарати мають без пошкодження витримувати протягом заданого розрахункового часу нагрівання струмами коротких замикань, тобто бути термічно стійкими.

Протікання струмів короткого замикання викликає і значні електродинамічні зусилля між провідниками. Якщо не вжити належних заходів, то під дією цих зусиль струмопровідні частини і їх ізоляція можуть пошкодитися.

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

Визначаємо номінальний та максимальний струм на високій стороні:

$$I_i = \frac{S_{\text{м.д}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м}}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А};$$
$$I_{\text{доп}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{м.д}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м}}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 50,9 \text{ А}.$$

Економічно вигідний переріз кабельної лінії:

$$S_{\text{д}} = \frac{36,4}{1,4} = 26 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до обчисленого перерізу кабельної лінії приймаємо найближчий стандартний переріз $S_{\text{ст}} = 35 \text{ мм}^2$ (трижильний кабель АПвЭБВ – 10 – 3х35 з номінальним перерізом жили 35 мм^2 , $I_{\text{доп}} = 125 \text{ А}$ при прокладанні його в траншеї).

Перевіримо вибраний кабель на термічну стійкість до дії струмів короткого замикання за умовою:

$$S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{\hat{A}_{\hat{e}}}}{C}, \quad (5.4)$$

де тепловий імпульс визначається за формулою:

$$\hat{A}_{\hat{e}} = (\frac{I_{\text{д}}}{I_{\text{н}}})^2 \cdot (\tau_{\hat{e}C} + \hat{O}_{\hat{a}}) = 1,671^2 \cdot (0,6 + 0,01) = 1,703 \text{ А}^2 \cdot \text{с}; \quad (5.5)$$

C – коефіцієнт, що залежить від матеріалу провідника, приймаємо для алюмінієвого кабелю $C = 90 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$

Отже,

$$S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{1,703 \cdot 10^6}}{90} = 14,5 \text{ мм}^2.$$

Тоді остаточно, приймаємо кабель з алюмінієвою струмопровідною жилою, ізоляцією із зшитого поліетилену, екраном із мідних дротів з подовжньою герметизацією та зовнішньою оболонкою з поліетилену типу АПвЭБВ – 10 – 3х35, $I_{\text{доп}} = 125 \text{ А}$.

Світові тенденції розвитку кабельних енергорасподільчих мереж середньої напруги протягом останніх десятиліть спрямовані на впровадження кабелів з теплостійкою екструдированою ізоляцією (зшитий поліетилен і етиленпропиленова гума) і заміну ними кабелів з паперовою просоченою

						ДП 2025 141	Арк.
							44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

ізоляцією. В даний час у промислово розвинутих країнах Європи й Америки практично весь ринок силових кабелів займають кабелі з ізоляцією зі зшитого поліетилену.

Кабелі середньої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену мають ряд переваг перед кабелями з паперовою просоченою ізоляцією:

- підвищена робоча температура, що дозволяє збільшити пропускну здатність;
- підвищена стійкість при роботі в умовах перевантажень і коротких замикань;
- можливість прокладки на трасах з необмеженою різницею рівнів;
- не містять олії, бітуму, свинцю, що спрощує монтаж, експлуатацію й усуває екологічно несприятливі фактори;
- більш надійні в експлуатації і вимагають менших витрат на реконструкцію і утримання кабельних ліній;
- менша вага і припустимий радіус вигину;
- можливість виготовлення кабелів великої будівельної довжини.

Підвищена термічна і механічна стійкість зшитого поліетилену обумовлена створенням нових молекулярних зв'язків у процесі вулканізації ("зшивки") ізоляції. Унікальна технологія хімічної зшивки ізоляції, упроваджена заводом "Южкабель", дозволяє одержати ізоляцію високої якості, що задовольняє вимоги сучасних стандартів.

Завод "Южкабель" випускає кабелі з ізоляцією зі зшитого поліетилену на напругу від 6 до 110 кВ включно. Конструкції кабелів передбачають одножильні і трижильні кабелі, кабелі з зовнішніми оболонками з поліетилену, полівінілхлоридного пластикату, зі сталеву стрічковою бронею, круглопроволочною бронею, з герметизацією від поширення вологи, кабелі, що не поширюють горіння і з низьким димо- і газовиділенням.

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

5.2. Вибір і перевірка високовольтних шин

Високовольтні шини вибираються за такої умови:

$$I_{\text{доп.}} \geq I_p, \quad (5.6)$$

де I_p – розрахунковий струм в нормальному режимі, приймаємо його рівним номінальному струму на високій стороні трансформатора, А;

$I_{\text{доп.}}$ – тривалий допустимий струм для шини, А.

Вибираємо алюмінієву шину перерізом 3x25 мм, з алюмінію марки АДО,
 $\sigma_{\text{доп}} = 49$ МПа з $I_{\text{доп.}} = 265$ А.

$$265 \text{ А} \geq 36,4 \text{ А.}$$

Перевіримо вибрані шини на електродинамічну й термічну стійкість до дії струмів короткого замикання.

Перевірка на електродинамічну стійкість проводиться за такою умовою:

$$\dot{g}_{\text{доп}} \geq \dot{g}_{\text{розр}} \quad (5.7)$$

де $\dot{g}_{\text{розр}}$ – розрахункове механічне напруження в матеріалі шини, МПа;

Розрахункове механічне напруження $\dot{g}_{\text{розр}}$, МПа, у матеріалі обчислюється за формулою:

$$\dot{g}_{\text{розр}} = M / w, \quad (5.8)$$

де M – згинальний момент, що діє на шини, Н м;

w – момент опору перерізу і він залежить від положення шини, см³.

Згинальний момент M , Н м, обчислюємо за формулою:

$$M = (f \cdot l) / 10, \quad (5.9)$$

де f – максимальне зусилля, що діє на шини, Н;

l – відстань між ізоляторами шин, м, $l=1$ м;

Момент опору перерізу шини w , см³, що розташована «плашмя» обчислюється за формулою:

$$w = (b \cdot h^2) / 6 = (0,3 \cdot 2,5^2) / 6 = 0,3 \text{ см}^3, \quad (5.10)$$

де b і h – розміри поперечного перерізу шини, см.

Максимальне зусилля, що діє на шини f , Н, визначається за формулою:

$$f = \sqrt{3} \cdot l/a \cdot i_y^2 \cdot 10^{-1} = \sqrt{3} \cdot 1/0,4 \cdot 3,28^2 \cdot 10^{-1} = 4,66 \text{ Н}, \quad (5.11)$$

де a – відстань між фазами, м, $a = 0,4$ м;

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

i_y – ударний струм короткого замикання, кА;

Тоді,

$$M = (4,66 \cdot 1) / 10 = 0,466 \text{ Н};$$

$$\dot{g}_{\text{розр}} = 0,466 / 0,3 = 1,6 \text{ МПа.}$$

Отже, умова (5.7) виконується, оскільки:

$$49 \text{ МПа} > 1,6 \text{ МПа};$$

Перевіримо шини на термічну стійкість за умовою:

$$f_{\text{ш}} \geq f_{\text{мін}}, \quad (5.12)$$

де $f_{\text{мін}}$ – мінімально допустимий переріз по нагріванню, мм^2 ;

$f_{\text{ш}}$ – переріз шини, мм^2 .

Знайдемо переріз шини $f_{\text{ш}}$, мм^2 :

$$f_{\text{ш}} = b \cdot h = 3 \cdot 25 = 75 \text{ мм}^2,$$

Отже, умова (5.12) виконується, оскільки

$$f_{\text{ш}} = 75 \text{ мм}^2 > f_{\text{мін}} = 14,5 \text{ мм}^2.$$

5.3. Вибір і перевірка опорних ізоляторів

Опорні ізолятори вибираються за умовою

$$f_{\text{доп}} \geq f_{\text{розр}}, \quad (5.13)$$

де $f_{\text{розр}}$ – максимальне зусилля, що діє на конструкцію з шин, Н;

$f_{\text{доп}}$ – допустиме навантаження на шину, Н.

Допустиме навантаження на шину $f_{\text{доп}}$, Н, приймається 60 % від руйнівного навантаження на головку ізолятора, тобто

$$f_{\text{доп}} = 0,6 \cdot f_{\text{руйн}} = 0,6 \cdot 25000 = 15000 \text{ Н},$$

де $f_{\text{руйн}} = 25000 \text{ Н}$ – для фарфорових ізоляторів типу ОФ - 2000 УХЛ.

Для фарфорових ізоляторів $f_{\text{руйн}} = 25000 \text{ Н}$.

Тоді, умова (5.13) виконується, оскільки

$$f_{\text{доп}} = 15000 \text{ Н} > f_{\text{розр}} = 4,66 \text{ Н.}$$

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

5.4. Перевірка високовольтного вимикача на стороні 10 кВ

Вибір і перевірка вакуумного високовольтного вимикача ВБЭ-М-10- 20/200 наведений в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Умови вибору високовольтного вимикача

Паспортні дані вимикача	Умова вибору	Розрахункова величина
$U_{\text{ім}}^{\text{АА}} = 12 \text{ êÀ}$	>	$U_{\text{ім}}^{\text{іаò}} = 10 \text{ êÀ}$
$I_{\text{ім}} = 200 \text{ À}$	>	$I_{\text{іаєñ}} = 50,9 \text{ À}$
$I_{\text{ім.а³аєє}} = 20 \text{ êÀ}$	>	$I_{0,0} = 1,671 \text{ êÀ}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{ім.а³аєє}} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100}\right) =$ $= \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{20}{100}\right) = 33,9 \text{ êÀ}$	>	$\sqrt{2} \cdot I_{0,0} \cdot \cdot^3_{\dot{a}} = \sqrt{2} \cdot 1,671 \cdot 0,35 = 0,83 \text{ êÀ}$
$I_{\text{дин}} = 51 \text{ кА}$	>	$i_{\text{уд}} = 3,28 \text{ кА}$
$I_{\tau}^2 \cdot \tau = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	>	$B_{\text{к}} = 1,703 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

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

6. ВИБІР РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ

6.1. Розрахунок захисту трансформатора

Основними видами пошкодження у трансформаторі є: замикання між фазами всередині кожуха трансформатора та на зовнішніх виводах 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 високою напругою 10(6) кВ повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від наступних видів ушкоджень та ненормальних режимів роботи:

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

В даній роботі розраховуватимемо захист для трансформатора ТМ - 630/10/0,4, зі схемою з'єднання обмоток Δ/Y_0-0 .

Максимальне навантаження трансформатора приймемо рівним $1,4 \cdot S_{\text{ном.т}}$. Максимальний час захисту ліній, що відходять від шин НН трансформатора, дорівнює власному часу відключення автоматичних вимикачів, $t_{\text{макс}} = 0,03$ с. Струми короткого замикання в режимі максимальних і мінімальних навантажень мережі, зведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Струми КЗ для розрахунку захисту трансформатора

ВН 10 кВ	НН 0,4 кВ	
$I_{\text{іаєп}}^{(3)} = 2,5 \text{ кА}; I_{\text{іф}}^{(3)} = 1,4 \text{ кА}$	$I_{\text{Н}}^{(3)} \text{ на } 0 = 11,4 \text{ кА}$	$I_{\text{Н}}^{(3)} \text{ на Н} = 8,9 \text{ кА}$

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шарапа О.П.			6. Вибір релейного захисту та автоматики	Лім.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Романюк В.Т.					49	
Реценз.		Якимчук М.В.				ННПІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

Максимальний захист трансформатора та струмову відсічку 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 (6) 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 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 SEPAМ уставки розраховуються та задаються у первинних величинах або у відсотках від номінальних значень.

Пояснювальну схему до розрахунку релейного захисту трансформатора зображено на рис. 6.1.

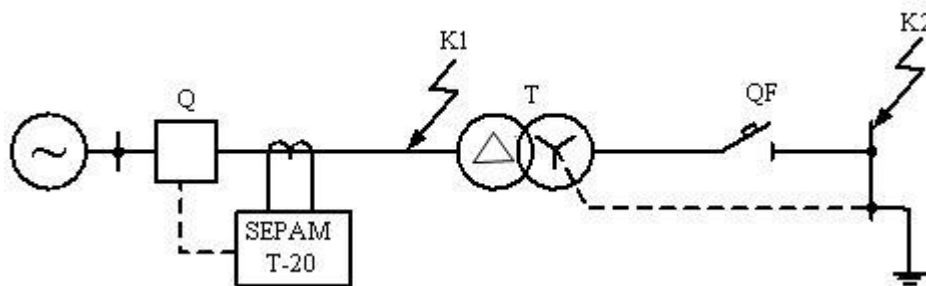


Рис. 6.1. Схема до розрахунку РЗ трансформатора

Розрахунок струмової відсічки. Струмова відсічка від міжфазних КЗ на стороні 10 кВ. Для захисту трансформаторів потужністю до 4 МВ·А може застосовуватися струмова відсічка. На трансформаторах 6,3 МВ·А і більше повинен встановлюватися поздовжній диференційний захист. Здебільшого, потужності трансформаторів 10/0,4 кВ не перевищують 1600 кВ·А (у виняткових випадках 2500 кВ А). Тому для захисту вводів та частини первинної обмотки цих

						ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			50

трансформаторів застосовується струмова відсічка. Якщо застосування струмової відсічки не дозволяє забезпечити чутливість захисту ($k_{\text{ч}} \geq 1,5$), то для трансформаторів потужністю понад 1000 кВ·А застосовують подовжній диференційний захист.

Подовжній диференційний захист має встановлюватися на великих трансформаторах потужністю 6,3 МВт і більше. Він використовується як основний швидкодіючий захист від усіх видів КЗ в обмотках трансформатора, КЗ на виводах та з'єднаннях з шинами високої та низької напруги. За умовами селективності струмова відсічка не має спрацювати при КЗ на стороні 0,4 кВ. Це забезпечує правильний вибір значень параметрів спрацювання цього захисту. Уставка спрацювання реле вибирається більше за значення трифазного струму КЗ на стороні 0,4 кВ. У зону дії струмової відсічки входять виводи обмотки 10 кВ, частина первинних обмоток трансформатора, а також кабель, що з'єднує трансформатор з вимикачем Q2.

Уставка струмової відсічки вибирається за формулою:

$$I_{\bar{n}.\bar{a}.} = I_{\bar{e}}^{(3)} \cdot k_{\bar{a}\bar{v}\bar{e}}, \quad (6.1)$$

де $I_{\bar{e}}^{(3)}$ – значення струму трифазного КЗ на виводах обмотки 0,4 кВ, А;

$k_{\text{відл}}$ – коефіцієнт відлаштування, що враховує похибку при розрахунку значень струмів КЗ.

Для цифрових терміналів SEPAM, $k_{\text{відл}}$ приймається в діапазоні 1,1...1,15.

$$I_{\bar{n}..\bar{a}.} = 8,9 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right) \cdot 1,1 \cdot 10^3 = 391,6 \text{ А.}$$

Захист не повинен спрацювати при включенні трансформатора від кидка струму, що намагнічує:

$$I_{\bar{n}..\bar{a}.} = I_{\bar{m}} \cdot k_{\bar{a}\bar{v}\bar{e}}, \quad (6.2)$$

$$I_{\bar{n}..\bar{a}.} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} \cdot 1,1 = 34,6 \text{ А.}$$

Вибирається найбільший із струмів спрацювання захисту, тобто 391,6 А.

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

Для перевірки чутливості необхідно знати двофазний струм короткого замикання на виводах 10 кВ трансформатора. За відомим значенням трифазного струму знайдемо струм двофазного КЗ за формулою:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{i\ 3\phi}^{(3)}; \quad (6.3)$$

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1400 = 1212 \text{ А.}$$

Перевіримо коефіцієнт чутливості струмової відсічки:

$$k_x = \frac{I_K^{(2)}}{I_{н.а.}} \geq 2; \quad (6.4)$$

$$k_x = \frac{1212}{391,6} = 3,1.$$

Захист чутливий. Струмова відсічка діє тільки при пошкодженнях на виводах і частині обмотки ВН тому витримка часу струмової відсічки приймається $t_{н.а.} = 0 \text{ с.}$

Розрахунок МСЗ. Максимальний струмовий захист трансформатора встановлюється з боку введів 10 кВ і одночасно є захистом вводу робочого живлення 0,4 кВ. На реактивованих 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 спрацювання МСЗ здійснюється за умови неспрацювання 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 відлаштований від максимально можливого струму навантаження, з урахуванням струмів самозапуску електродвигунів:

$$I_{i\ 3\phi}^{max} = \frac{S_{i\ 3\phi}^{i\ 3\phi}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.а.}}; \quad (6.5)$$

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

$$I_{\tilde{n}.\zeta} = \frac{k_i \cdot k_{\tilde{n}\zeta}}{k_{\tilde{a}}} \cdot I_{i\tilde{a}\tilde{a}.i\tilde{a}\tilde{n}}$$

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

$I_{\text{нав.макс}}$ – максимальний навантажувальний струм, А.

Для цифрових терміналів SEPAM значення k_n приймають рівним 1,1 а k_b приймають 0,935. Максимальне навантаження приймаємо рівним сумарному розрахунковому навантаженню всього підприємства $\Sigma S_{\text{роз}} = 2548 \text{ кВ}\cdot\text{А}$.

$$I_{i\tilde{a}\tilde{a}.i\tilde{a}\tilde{n}}^{\text{max}} = \frac{1025,3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 59,2 \text{ А};$$

$$I_{\tilde{n}. \zeta} = \frac{1,1 \cdot 1,3}{0,935} \cdot 59,2 = 90,5 \text{ А}.$$

Чутливість МСЗ перевіряється за коефіцієнтом чутливості з боку 0,4 кВ:

$$k_{\zeta} = \frac{I_{ii}^{(2)}}{I_{\tilde{n}. \zeta}} \geq 1,5, \quad (6.6)$$

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

$$k_{\zeta} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8,9 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right) \cdot 10^3}{90,5} = 3,41.$$

Захист чутливий. Час спрацьовування МСЗ визначаємо за такою формулою:

$$t_{i\tilde{n}\zeta} = t_{\text{над.под.а.}} + \Delta t, \quad (6.7)$$

де $t_{\text{ср.попер.}}$ – час спрацьовування попереднього захисту, с, у нашому випадку автоматичний вимикач встановлений на стороні 0,4 кВ.

$$t_{i\tilde{n}\zeta} = 0,03 + 0,3 = 0,33 \text{ п.}$$

Витримка часу МСЗ трансформатора приймається $t_{\tilde{n}.i\tilde{a}} = 0,33 \text{ с}$.

Розрахунок захисту від симетричних перевантажень. Захист від симетричних перевантажень на стороні 10 кВ призначений для виявлення режиму симетричних перевантажень трансформатора, що захищається. Захист від симетричних перевантажень діє на сигнал. Цей захист, як правило, виконується за

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

допомогою одного зі ступенів МСЗ SEPAM. Захист від симетричних перевантажень не встановлюється на реактивованих лініях напругою 10,5 кВ.

Струм спрацювання захисту від перевантаження визначається з виразу:

$$I_{\text{нсі}} = \frac{k_{\text{заб}}}{k_{\text{а}}} \cdot I_{\text{нн}} \cdot \delta; \quad (6.8)$$

$$I_{\text{нсі}} = \frac{1,1}{0,935} \cdot 34,6 = 40,7 \text{ А.}$$

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

$$t_{\text{ІАД}} = t_{\text{ІНЦ}} + \Delta t; \quad (6.9)$$

$$t_{\text{ІАД}} = 0,33 + 0,3 = 0,63 \text{ с.}$$

Оскільки захист від перевантаження діє на сигнал, то перевіряти чутливість немає необхідності. Витримка часу приймається $t_{\text{н.а.}} = 0,63 \text{ с.}$

6.2. Розрахунок захисту живильної кабельної лінії

Для ліній у мережах 3 – 10 кВ із ізольованою нейтраллю мають бути передбачені пристрої релейного захисту від багатофазних замикань та однофазних замикань на землю (ОЗЗ). Релейний захист кабельної лінії виконаний із застосуванням терміналу захисту «SEPAM S-20» (рис. 6.2).

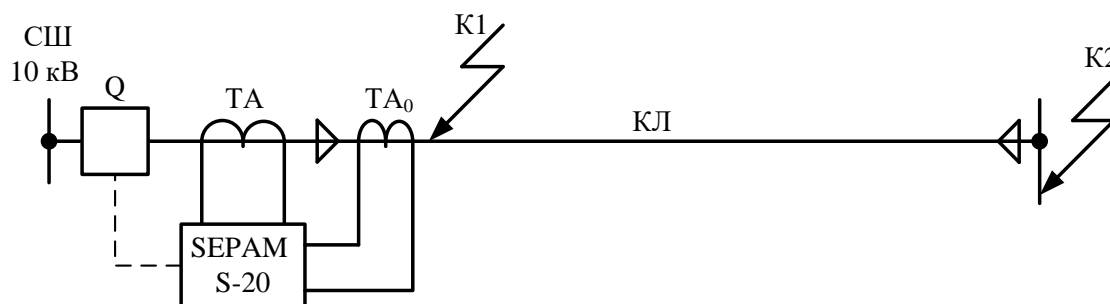


Рис. 6.2. Схема до розрахунку РЗ КЛ

Розрахунок МСЗ. На одиночних лініях з одностороннім живленням від багатофазних КЗ встановлюється МСЗ із незалежною або залежною витримкою часу з дією на відключення. Струм спрацювання МСЗ вибирається в амперах за двома умовами:

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

Неспрацьовування захисту при надструмах післяаварійних перевантажень, тобто після відключення КЗ на попередньому елементі

$$I_{\bar{n}.c.} = \frac{k_i \cdot k_{\bar{n}.c.}}{k_a} \cdot I_{i\bar{a}\bar{a}.A_i}^{\max}; \quad (6.10)$$

$$I_{\bar{n}.c.} = \frac{1,1 \cdot 1,3}{0,935} \cdot 90,5 = 138,4 \text{ А.}$$

Узгодження чутливості захисту наступного та попереднього елементів мережі:

$$I_{\bar{n}.c.i\bar{a}\bar{n}\bar{o}.} \geq k_{i.\bar{n}.} \cdot I_{\bar{n}.c.i\bar{a}\bar{a}\bar{o}.}, \quad (6.11)$$

де $k_{н.с.}$ – коефіцієнт надійності узгодження, приймається рівним 1,1;

$I_{с.з.попер.}$ – струм спрацювання МСЗ попередніх елементів, А;

$$I_{\bar{n}.c.i\bar{a}\bar{n}\bar{o}.} \geq 1,1 \cdot 138,4 = 152,2 \text{ А.}$$

Вибираємо найбільший із струмів спрацювання захисту, тобто 152,2 А.

Перевіримо чутливість захисту в основній та резервній зоні:

$$k_{z.i\bar{a}\bar{i}.} = \frac{I_{i\bar{z}}^{(2)}}{I_{\bar{n}.c.}} \geq 1,5; \quad (6.12)$$

$$k_{z.\bar{a}\bar{a}\bar{c}.} = \frac{I_{i\bar{z}}^{(2)}}{I_{\bar{n}.c.}} \geq 1,2,$$

де $I_{i\bar{z}}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ в кінці лінії, що захищається, приймемо рівним струму на виводах 10 кВ трансформатора (п. 6.2);

$$k_{z.i\bar{a}\bar{i}.} = \frac{1212}{152,2} = 7,95;$$

$$k_{z.i\bar{a}\bar{i}.} = \frac{8900 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right)}{152,2} = 2,3.$$

Захист чутливий.

Витримка часу МСЗ вибирається більшою, ніж захист наступного елемента:

$$t_{\bar{n}.c.} = t_{\bar{n}.c.i\bar{a}\bar{n}\bar{o}.} + \Delta t, \quad (6.13)$$

де $t_{с.з.наст.}$ – найбільший час спрацювання захисту наступного елемента, с, у нашому випадку $t_{мсз}$ трансформатора.

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

$$t_{\text{н.с.}} = 0,33 + 0,3 = 0,63 \text{ н.}$$

Витримка часу приймається $t_{\text{с.з.}} = 0,63 \text{ с.}$

Розрахунок струмової відсічки. Струмова відсічка захищає тільки частину лінії або частину обмотки трансформатора, що розташовані ближче до джерела живлення. Відсічка спрацьовує без спеціального уповільнення, тобто $t \approx 0 \text{ с.}$

Селективність струмової відсічки миттєвої дії забезпечується вибором її струму спрацьовування $I_{\text{с.в.}}$ більшим, ніж максимальне значення струму трифазного КЗ при пошкодженні в кінці лінії, що захищається. Вибір уставки струму спрацьовування виконується за виразом:

$$I_{\text{н.а.}} = 2500 \cdot 1,1 = 2750 \text{ А};$$

$$k_{\text{з}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3200}{2750} = 1,01 \geq 1,2.$$

Струмова відсічка не чутлива через малу довжину лінії, тому налаштовувати її не будемо.

6.3. Перевірка спрацьовування автоматичних вимикачів до струмів короткого замикання

Автоматичні вимикачі перевіряють за двох умов:

1. Надійність спрацьовування:

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{\text{н.р}}, \quad (6.14)$$

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

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

2. Відмикаюча здатність:

$$I_{\text{відкл}} > \sqrt{2} \cdot I_{\text{к}}^{(3)} \cdot K_{\text{с}}, \quad (6.15)$$

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

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

$I_k^{(3)}$ – 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 електродів, що зображена на рис. 4.2.

Автоматичний вимикач SF1

Для вимикача SF1 EB2 (приєднання ТП-ШНН2):

$I_{н.р} = 1000$ А; $I_{відкл} = 25$ кА.

Умова (6.14)

$$3 \cdot I_{н.р} = 3 \cdot 1000 = 3000 \text{ А} = 3 \text{ кА};$$

$I_{к1}^{(1)} = 3,79$ кА (табл. 4.1).

Оскільки, $3,79 \text{ кА} \geq 3 \text{ кА}$ то умова виконується.

Умова (6.15)

$$\sqrt{2} \cdot I_{к1}^{(3)} \cdot K_c = 1,41 \cdot 9,58 \cdot 1,4 = 18,91 \text{ кА}.$$

Оскільки, $25 \text{ кА} > 18,91 \text{ кА}$ то умова виконується.

Автоматичний вимикач SF2

Для вимикача SF2 EB2 (ШНН2-РП 1):

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

Умова (6.14)

$$3 \cdot I_{н.р} = 3 \cdot 100 = 300 \text{ А} = 0,3 \text{ кА}; I_{к2}^{(1)} = 1 \text{ кА (табл. 4.1)}.$$

Оскільки, $1 \text{ кА} > 0,3 \text{ кА}$, то умова виконується.

Умова (6.15)

$$\sqrt{2} \cdot I_{к2}^{(3)} \cdot K_c = 1,41 \cdot 1,79 \cdot 1,4 = 3,53 \text{ кА}.$$

Оскільки, $15 \text{ кА} > 3,53 \text{ кА}$, то умова виконується.

Автоматичний вимикач SF3

Для вимикача SF3 EB (РП 1-ЕП5):

$I_{н.р} = 25$ А; $I_{відкл} = 3$ кА.

Умова (6.14)

$$3 \cdot I_{н.р} = 3 \cdot 25 = 75 \text{ А} = 0,075 \text{ кА}; I_{к3}^{(1)} = 0,6 \text{ кА (табл. 4.1)}.$$

Оскільки, $0,6 \text{ кА} > 0,075 \text{ кА}$, то умова виконується.

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

Умова (6.15)

$$\sqrt{2} \cdot I_{к3}^{(3)} \cdot K_c = 1,41 \cdot 1,08 \cdot 1,4 = 2,13 \text{ кА.}$$

Оскільки, $3 \text{ кА} > 2,13 \text{ кА}$, то умова виконується.

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

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

7. ОБЛІК ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

7.1. Обґрунтування систем комерційного та технічного обліку і контролю електроспоживання

Облік електроенергії на підприємствах може мати два основних напрямки: розрахунковий та технічний. Розрахунковий облік електроенергії використовується для фінансового розрахунку за вироблену та спожиту електроенергію. Цей тип обліку зазвичай базується на встановленні розрахункових лічильників, які призначені для точного вимірювання електроенергії, що використовується для грошових розрахунків.

Насупротив, технічний (контрольний) облік електроенергії використовується для контролю за витратою електроенергії всередині енергетичних систем підприємства. Цей облік може застосовуватися на різних рівнях, включаючи електростанції, підстанції, окремі підприємства, а також будинки та квартири. Для цієї мети встановлюються лічильники технічного обліку, які дозволяють вимірювати електроенергію для внутрішнього контролю та оптимізації ресурсів.

Відповідно до цього, прилади обліку електроенергії (лічильники) поділяються на розрахункові та технічні. У випадку, коли споживча потужність перевищує 750 кВ·А, встановлення автоматизованої системи обліку активної та реактивної електроенергії стає обов'язковим за наявності двох або більше точок обліку. Це особливо характерно для промислових підприємств. Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), передбачається встановлення приладів технічного обліку в госпрозрахункових агрегатах, на технологічних лініях та енергоємних агрегатах для розрахунку питомих норм споживання електроенергії.

					ДП 2025 141					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	7. Облік та вимірювання режимних параметрів системи електроспоживання					
<i>Розроб.</i>	<i>Шарапа О.П.</i>							<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Романюк В.Т.</i>							59		
<i>Реценз.</i>	<i>Якимчук М.В.</i>							<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3</i>		
<i>Н. Контр.</i>										
<i>Затверд.</i>	<i>Балюта С.М.</i>									

Розрахункові лічильники активної електроенергії, що встановлюються на підстанціях, які належать споживачеві, розташовуються на вводі лінії електропередачі до підстанції споживача, якщо відсутній електричний зв'язок з іншими підстанціями енергосистеми або іншими споживачами на живильній напрузі.

Лічильники реактивної електроенергії повинні бути встановлені на тих же елементах схеми, де розміщені лічильники активної електроенергії для споживачів, що розраховуються за електроенергію з урахуванням дозволеної реактивної потужності.

7.2. Лічильники електричної енергії

Лічильники електричної енергії для обліку активної та реактивної електроенергії трифазного струму мають бути трифазними. Клас точності лічильників активної електроенергії не повинен бути менше 2,0. Клас точності лічильників реактивної електроенергії повинен бути на один ступінь нижче відповідного класу точності лічильників активної електроенергії.

Клас точності трансформаторів струму і напруги для приєднання розрахункових лічильників електроенергії не повинен перевищувати 0,5. Для вмикання розрахункових лічильників класу точності 2,0 допускається використання трансформаторів напруги класу точності 1,0.

Для приєднання лічильників технічного обліку можна використовувати трансформатори струму класу точності 1,0 або вбудовані трансформатори струму з класом точності менше 1,0. Використання трансформаторів струму з підвищеним коефіцієнтом трансформації дозволяється, якщо в разі найбільшого навантаження струм вторинної обмотки трансформатора струму становить не менше 40% номінального струму лічильника, а в разі найменшого робочого навантаження - не менше 5%.

Приєднання струмових обмоток лічильників до вторинних обмоток трансформаторів струму слід виконувати окремо від кіл захисту і разом з електровимірювальними приладами. Спільне приєднання струмових кіл

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

допускається, якщо це не порушує клас точності і надійність кіл трансформаторів струму, що використовуються для обліку, і забезпечує необхідні характеристики пристроїв релейного захисту. Використання проміжних трансформаторів струму для підключення розрахункових лічильників заборонено. Навантаження вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів, до яких приєднують лічильники, не повинно перевищувати їх номінальне значення.

В якості лічильників для комерційного обліку електроенергії вибираємо лічильники типу НІК 2303І.

Лічильники електричної енергії серії НІК 2303І залежно від виконання призначені для:

- виміру активної й реактивної енергії в прямому й зворотному напрямку, по декількох тарифах у трифазних трьохпровідних і чотирьох провідних ланцюгах змінного струму, із трансформаторним і безпосереднім підключенням по напрузі й струму;

- реєстрації й індикації активної, реактивної й повної потужності, коефіцієнта потужності, середньоквадратичного значення напруги й сили струму, частоти фазної або лінійної напруги, залежно від виконання, гармонійного аналізу до 25 гармонік струмів і напруг по фазах, а також кута зрушення фаз у трифазних трьохпровідних і чотирьохпровідних ланцюгах змінного струму.

Лічильники використовуються для обліку електроенергії в будь-яких галузях.

Всі лічильники мають імпульсні виходи по кожному виді вимірюваної енергії й оптопорт. На вимогу замовника у лічильники може бути встановлена пара з наступних інтерфейсів: інтерфейс по радіоканалу (Zig Bee або GSM/GPRS), електричний інтерфейс «струмова петля» 20 мА, Ethernet, PLC, RS-232 або RS-485 для дистанційної передачі даних. Лічильники залежно від виконання мають релейний вихід. Лічильники можуть використатися в автоматизованих системах контролю й обліку електроенергії (АСКОЕ).

Виконання лічильників відрізняються максимальною силою струму, кількістю вимірювальних елементів у ланцюзі струму, номінальною напругою, схемою приєднання до мережі, кількістю вимірюваних величин, кількістю

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

напряжків виміру активної й реактивної енергії, наявністю додаткових модулів і наявністю релейного виходу.

Лічильники відповідають вимогам ТУУ 33.2-33401202-006:2007, ДСТ 30207, ДСТУ ІЕС 61036, ДСТУ ІЕС 61268 і СОУ-Н МПЕ 40.1.35.110:2005.

Основні параметри лічильників:

- клас точності – 1 за ДСТ 30207, ДСТУ ІЕС 61036 при вимірі активної енергії;
- - клас точності – 2 по ДСТУ ІЕС 61268 при вимірі реактивної енергії;
- номінальна сила струму 5 А;
- максимальна сила струму – залежно від виконання;
- номінальна напруга – залежно від виконання;
- допустиме відхилення напруги мережі від номінального значення – від мінус 20 % до плюс 15 %;
- постійна лічильників при вимірі активної енергії 8000 імп./(кВт·год.);
- постійна лічильників при вимірі реактивної енергії 8000 імп./(квар·год.);
- номінальна частота 50 Гц;
- міжповірочний інтервал – не більше 6 років.

Активна споживана потужність кожним ланцюгом напруги лічильників при нормальній температурі, номінальній частоті й при номінальній напрузі не перевищує 2 Вт.

Повна споживана потужність кожним ланцюгом напруги лічильників при нормальній температурі, номінальній частоті й при номінальній напрузі не перевищує 10 В/А. Повна потужність, споживана ланцюгом струму лічильників не перевищує 0,05 В/А при номінальному струмі, нормальній температурі та номінальній частоті.

Лічильники мають рідкокристалічний індикатор (далі РКІ), що відображає показання електричної енергії безпосередньо в кіловат-годинах (кіловар-годинах). РКІ має шість десяткових розрядів до коми і три десяткових розряди після коми.

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

Установлений робочий діапазон температури від мінус 35 °С до плюс 70 °С. Значення відносної вологості при 30 °С не більше 95 %. Атмосферний тиск від 70 кПа до 106,7 кПа. Маса лічильників – не більше 2,3 кг.

При відсутності струму в ланцюзі струму й значенні напруги 1,15 від номінального значення основний передавальний пристрій не створить більше одного імпульсу за час не менше 8 хв.

Лічильники включаються й продовжують реєструвати показання:

- активної енергії при значенні сили струму рівному 12,5 мА;
- реактивної енергії при значенні струму рівному 15,6 мА для лічильників прямого включення;
- реактивної енергії при значенні струму рівному 9,3 мА для лічильників трансформаторного включення.

Основна абсолютна похибка убудованого годинника лічильника відповідно до ДСТУ ІЕС 61038:2002, не перевищує $\pm 0,5$ с за добу.

Лічильники мають середній наробіток на відмову, з урахуванням технічного обслуговування – не менш 60 000 годин. Середній термін служби до першого капітального ремонту лічильників не менше 24 років.

Зовнішній вигляд лічильника й розташування елементів керування представлені на рис. 7.1.

Лічильники виконані в пластмасовому корпусі, що складається із цоколя й прозорого кожуха. У цоколь установлюється друкована плата, а також затискна плата із затискачами й датчиками струму. Затискна плата лічильників закривається кришкою затискачів. Цоколь і кожух лічильників з'єднуються пломбувальними гвинтами. Лічильники мають датчики розкриття кожуха й кришки затискачів.

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



Рис. 7.1. Зовнішній вигляд багатотарифного лічильника НІК 2303І:

1 – виконання лічильника по виду вимірюваної енергії й схемі приєднання до мережі; 2 – виконання лічильника по додаткових інтерфейсах; 3 – індикатор функціонування активної енергії; 4 – індикатор функціонування реактивної енергії; 5 – оптопорт; 6 – пломби; 7 – пломбувальні гвинти кожуха; 8 – клемна кришка; 9 – механічна кнопка «Вибір»; 10 – механічна кнопка «Перегляд»; 11 – РКІ; 12 – технічні характеристики лічильника; 13 – відсік для літієвої батарейки

Для кріплення лічильника в точці обліку є спеціальний кронштейн. При установці лічильників на DIN-рейку, кронштейн не використовується.

Лічильники трансформаторного включення мають два вимірювальних елементи в колі струму, а лічильники прямого включення мають три вимірювальних елементи в ланцюзі струму.

Лічильники мають рознімання для підключення резервного джерела живлення.

Всі лічильники мають основний електричний інтерфейс. На вимогу замовника може бути встановлений ще один інтерфейс.

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

Лічильники на вимогу замовника можуть мати радіоканал у відповідності ІЕЕЕ 802.15.4 на частоті 2,4 ГГц.

Лічильники на вимогу замовника можуть мати один релейний вихід.

Лічильники оснащені реле відключення навантаження споживача.

Вимір активної й реактивної електричної енергії проводиться шляхом аналого-цифрового перетворення електричних сигналів, що надходять від первинних перетворювачів сили струму й напруги на вхід убудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера, що перетворить сигнали в цифровий код. Мікроконтролер розраховує середньоквадратичні значення сили струму, напруги, потужності, а також значення коефіцієнта потужності по кожній фазі, а також значення активної й реактивної енергії сумарно й по кожному тарифу окремо.

Мікроконтролер управляє РКІ, електричними й оптичними інтерфейсами, радіоканалом, імпульсними виходами, а також обробляє інформацію, що надходить від механічних кнопок, датчиків розкриття кожуха й клемної кришки лічильників.

Для зберігання даних у лічильниках використовується енергонезалежна пам'ять. У пам'яті зберігаються обмірювані значення електроенергії й параметри лічильника. Обмірювані значення енергії й параметри лічильників, при відсутності напруги на затискачах напруги лічильників, повинні зберігатися не менш 20 років. У лічильниках застосований семи сегментний РКІ з додатковими символами (рис. 7.2).

На лицьовій панелі лічильників розташовані дві механічні кнопки.

«Вибір» й «Перегляд» (рис. 7.1), призначені для перемикання обмірюваних й обчислених величин (вікон), які відображаються на РКІ.

Спрацьовування кнопки відбувається при дотику пальця руки до пластику над кнопкою, і супроводжується подачею звукового сигналу від внутрішнього динаміка лічильників. Звуковий сигнал може бути відключений при параметризації.

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

8. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

8.1. Характеристики показників якості електричної енергії

Технологічні процеси будь-якого виробництва в значній мірі залежать від якості електроенергії. У загальному випадку низька якість електроенергії може бути охарактеризоване як будь-які зміни в енергопостачанні, що призводять до порушень нормального ходу виробничого процесу або до пошкодження обладнання, трансформаторів, електродвигунів.

Як відомо, існує дві основні групи спотворень якості електричної енергії: стаціонарні (або квазістаціонарні) і спотворення, що змінюються у часі. Гармоніки та інтергармоніки, коливання напруги і небаланс напруг відносяться до першої групи, а перехідні процеси напруги (voltage transient), зниження/перевищення напруги, переривання напруги та інші високочастотні спотворення складають другу групу.

Розрізняють основні і додаткові показники якості електроенергії. До основних показників якості електроенергії, що визначає властивості електричної енергії, які характеризують її якість, відносяться:

- 1) відхилення напруги (δU , %);
- 2) розмах зміни напруги (δU_t , %);
- 3) доза коливань напруги (ψ , %);
- 4) коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги ($k_{\text{НСU}}$, %);
- 5) коефіцієнт n -ої гармонійної складової напруги непарного (парного) порядку ($k_U(n)$, %);
- 6) коефіцієнт зворотної послідовності напруги (k_{2U} , %);
- 7) коефіцієнт нульової послідовності напруг (k_{0U} , %);

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шарапа О.П.			8. Якість електричної енергії в системі електропостачання	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Романюк В.Т.					67	
Реценз.		Якимчук М.В.				<i>ННІТ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

8) тривалість провалу напруги ($\Delta t_{\text{пр}}$, с);

9) імпульсна напруга ($U_{\text{імп}}$, кВ);

10) відхилення частоти (Δf , Гц).

Додаткові показники якості електроенергії, що представляють собою форми записи основних показників якості електроенергії та використовувані в інших нормативно-технічних документах:

1) коефіцієнт амплітудної модуляції напруги ($k_{\text{мод}}$);

2) коефіцієнт небалансу міжфазних напруг ($k_{\text{неб.м}}$);

3) коефіцієнт небалансу фазних напруг ($k_{\text{неб.ф}}$).

Відзначимо допустимі значення названих показників якості електроенергії, вирази для їх визначення і області застосування. Протягом 95% часу доби (22,8 год) показники якості електроенергії не повинні виходити за межі нормально допустимих значень, а протягом всього часу, включаючи післяаварійні режими, вони повинні знаходитися в межах максимально допустимих значень.

Контроль якості електроенергії в характерних точках електричних мереж здійснюється персоналом підприємства електричних мереж. При цьому тривалість вимірювання показника якості електроенергії повинна становити не менше доби.

8.2. Характеристика методів та технічних заходів по забезпеченню якості електроенергії

Велика кількість методів обробки інформаційних сигналів використовується для визначення показників якості електричної енергії. Так одним із найбільш поширених є, так званий, метод середньоквадратичних значень на основі апроксимації кривої вхідного сигналу спеціальною функцією, яка забезпечує задовільну апроксимацію амплітуди основної частоти електричної мережі. Перевагою даного методу є його простота, швидкість обчислень, незначний об'єм пам'яті для зберігання результатів обчислень. Але його результати дуже залежать від розміру обчислювального вікна і при цьому не розрізняються гармоніки та компоненти шуму. На даний час цей метод використовується тільки для

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

визначення середньоквадратичного значення напруги електричної мережі та для автоматичної класифікації сигналів.

Необхідно також відмітити широке застосування для визначення показників якості електричної енергії фільтрів Калмана, які визначають просторовий стан моделі сигналу для визначення амплітуди і фази основної частоти і гармонік навіть за наявності шуму. Недоліком є велика похибка при визначенні короткочасних і високочастотних спотворень.

Найбільш широко використовуваним апаратом для аналізу параметрів якості електричної енергії є швидке перетворення Фур'є (ШПФ), яке трансформує сигнал із часового простору у частотний його декомпозицією на декілька частотних компонент. Але алгоритм Фур'є має декілька джерел методичних похибок, які призводять до зниження точності результатів аналізу та його якісного спотворення. Головним недоліком є обмеженість частотної роздільності та недостатня точність оцінки частоти окремої гармонічної компоненти. У першому випадку – це роздільна здатність розділення двох спектральних компонент із близькими частотами, а в другому – правильність визначення частоти відокремленої гармонічної компоненти.

В якості приладу для контролю показників якості електричної енергії вибираємо прилад EM235-PQ.

Серія PRO-PQ – сучасні багатофункціональні цифрові вимірювальні перетворювачі SATEC. В приладах передбачено всі необхідні функції вимірювань і аналізу параметрів якості електроенергії, 16 Гб енергонезалежної пам'яті (запис подій протягом 3-х років) і найвищий рівень електробезпеки CAT IV. Завдяки підтримці протоколу IEC 61850 і двох портів Ethernet, це ідеальне рішення для електричних підстанцій.

Опис SATEC PRO EM235-PQ

EM235-PQ – сучасний багатофункціональний аналізатор якості електроенергії, цифровий вимірювальний перетворювач та лічильник електроенергії, призначений для виміру та аналізу параметрів якості

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

$I_p = 30,7$ А (див. табл. 2.2); $l = 90$ м (згідно плану); для кабелю марки АВВГ 3х35+1х16 активний і реактивний опір $r_0 = 0,894$ Ом/км, $x_0 = 0,0637$ Ом/км; $\cos\varphi$, $\sin\varphi$ знаходимо за $\operatorname{tg}\varphi$:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sum Q_{\dot{m}}}{\sum P_{\dot{m}}} = \frac{11,21}{9,33} = 1,2.$$

Відповідно $\varphi = 50^\circ$; $\cos\varphi = 0,64$; $\sin\varphi = 0,766$.

Тоді, за (8.1) отримаємо

$$\Delta U_{\dot{E}\dot{D}\dot{I} - \dot{N}\dot{\emptyset} 2} = \sqrt{3} \cdot 30,7 \cdot 0,09 \cdot (0,894 \cdot 0,64 + 0,0637 \cdot 0,766) = 2,97 \text{ В},$$

Ділянка РП 1-ЕП5 (прес-ножиці)

$I_{\dot{m}} = 12,9$ А; $l = 14$ м (згідно плану цеху електродів); для проводу марки АПВ (4х6) активний і реактивний опір $r_0 = 5,21$ Ом/км, $x_0 = 0,09$ Ом/км; $\cos\varphi = 0,65$; $\sin\varphi = 0,75$.

$$\Delta U_{\dot{N}\dot{\emptyset} 2 - \dot{A}\dot{I} 21} = \sqrt{3} \cdot 12,9 \cdot 0,014 \cdot (5,21 \cdot 0,65 + 0,09 \cdot 0,75) = 1,08 \text{ В}.$$

Сумарні втрати напруги на ділянці складуть

$$\Delta U = \Delta U_{\dot{\emptyset}\dot{I}\dot{I} 2 - \dot{D}\dot{I} 1} + \Delta U_{\dot{D}\dot{I} 1 - \dot{A}\dot{I} 5} = 2,97 + 1,08 = 4,05 \text{ В}.$$

Або

$$\frac{\Delta U}{U_i} \cdot 100\% = \frac{4,05}{380} \cdot 100 = 1,1 \%, \text{ що не перевищує } 5 \%.$$

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

9. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

ЕЛЕКТРОДНОГО ЦЕХУ

Аналіз доступних джерел інформації з питань витрат електроенергії на виробничих підприємствах показав – та її частка, що витрачається на потреби освітлення, часто використовується нераціонально внаслідок того, що застосовуються неефективні джерела світла, а вибір світильників за світлотехнічними характеристиками та їх розміщення не завжди є обґрунтованими. Наразі природне і штучне освітлення в приміщеннях виробничих цехів, зокрема електродних, повинно відповідати вимогам [12]. Враховуючи призначення освітлення (забезпечення нормальних умов роботи працівників протягом робочої зміни), то розрахунок рівномірного загального освітлення проводимо для найбільш енерговитратної нічної частини доби. Існують дві системи штучного освітлення – загальне та комбіноване.

9.1. Світлотехнічний розрахунок освітлювальної мережі

Для розрахунку загального рівномірного штучного освітлення горизонтальної робочої поверхні скористаємося методом світлового потоку.

9.1.1. Вибраний алгоритм розрахунку кількості ОУ та їх розміщення.

1. Світловий потік Φ лампи розраховуємо за формулою

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{ср}} S K_3}{n \cdot N \cdot \eta} = \frac{E_{\text{min}} Z \cdot K_3 \cdot S}{n \cdot N \cdot \eta}, \text{ лм} \quad (9.1)$$

де $E_{\text{ср}}$ – середня освітленість згідно ISO 8995, лк; S – площа горизонтальної поверхні (підлоги) приміщення, що освітлюється, м^2 ; K_3 – коефіцієнт запасу; Z – коефіцієнт нерівномірності висвітлення; N – кількість світильників у приміщенні; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світлового потоку.

У виразі (9.1) використана середня освітленість у приміщенні, але нормується мінімальна освітленість E_{min} , тому у вираз додамо коефіцієнт $z = E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$, який можна прийняти рівним: 1,1 – при кількості світильників більше 4 в приміщеннях з

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шарапа О.П.			9. Розрахунок електричного освітлення електродного цеху	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Романюк В.Т.					73	
Реценз.		Якимчук М.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

відношенням довжини до ширини меншим 3; 1,2 – при кількості світильників від 2 до 4; 1,4 – при використанні одного світильника в приміщенні, або в приміщеннях з довжиною до ширини (в довгих коридорах). Рівень мінімальної освітленості E_{\min} визначається за відповідними таблицями норм освітленості [12, табл.5.1].

Площу цеху визначають за формулою:

$$S = A \cdot B, \text{ м}^2. \quad (9.2)$$

Коефіцієнт запасу приймається в межах від 1,15 до 2,0 у залежності від характеру приміщення, внаслідок забруднення світильників і ламп, а також зменшення світлового потоку ламп у процесі їхньої експлуатації. Для сухих чистих приміщень його приймають рівним 1,4; для запованих та сирих приміщень – 1,7; визначають за графіками або розраховують за методикою [12, додаток В]. Для визначення коефіцієнта використання η необхідно знати коефіцієнти відбиття від стелі $\rho_{\text{ст.}}$, стін $\rho_{\text{с.}}$, і підлоги $\rho_{\text{п.}}$, та так званий індекс приміщення i , який визначається виразом:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} \quad (9.3)$$

де A, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, м; h – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м (рис. 9.1).

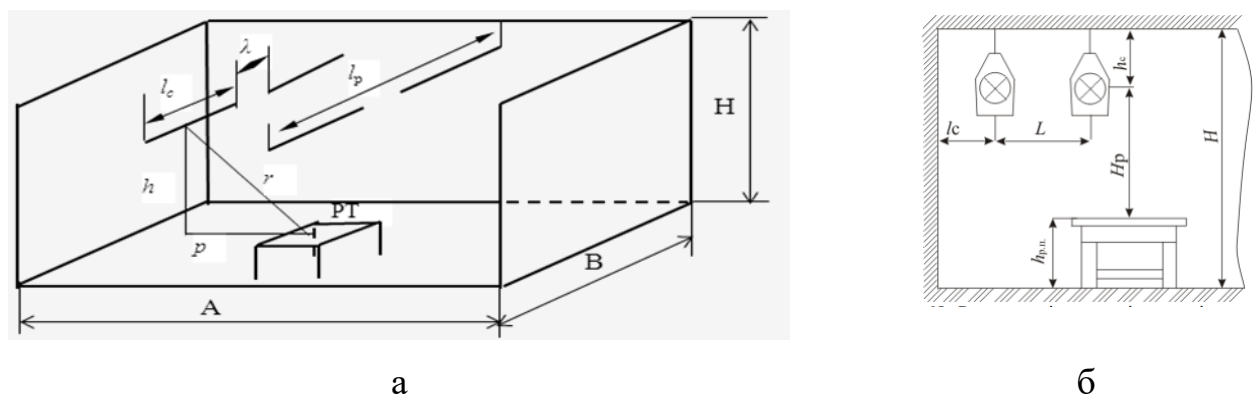


Рис. 9.1. До розрахунку індексу приміщення

H_p – висота встановлення світильників над розрахунковою площиною (рис.9.1, б). За розрахункову площину ($h_{\text{р.п}}$) зазвичай беруть висоту письмового столу (0,8 метра) або рівень чистої підлоги. Якщо наприклад висота установки світильника над рівнем підлоги дорівнює H (м), то

При безперервному розташуванні світильників в ряду їх кількість світильників в одному ряду (відповідно при розташуванні рядів уздовж довгої і короткої сторін приміщення) буде:

$$N_{ce} = \frac{A}{l_M} - (2...4); \quad (9.6)$$

$$N_{ce} = \frac{B}{l_M} - (2...4), \quad (9.7)$$

де l_M – монтажна довжина світильника, м.

При розміщенні світильників з дифузійними відбивачами (типу ОД) необхідно відносно відстань між світильниками у ряду і в сусідніх рядах приймати не більше 1,5, а при розміщенні світильників з ґратчатим затінювачем (типу ОДР) – не більше 1,2.

Віднімання від розрахованого числа світильників від двох до чотирьох одиниць в (9.6) та (9.7) здійснюється для того, щоб не встановлювати крайні в рядах світильники впритул до стін і, тим самим, не освітлювати поверхні стін замість робочої поверхні.

При визначенні кількості рядів виходять з того, що відстань між сусідніми рядами не може перевищувати величини

$$L_{max} = 1,5 \cdot H_p.$$

Інакше не забезпечується достатня рівномірність освітлення робочої поверхні. З економічних міркувань небажано надмірно зменшувати відстань між рядами L . Оптимальний діапазон величини L в межах

$$L = (1,4 \div 1,5) H_p. \quad (9.8)$$

Отже, розташовувати далі, ніж на $1,5H_p$, – не можна, а ближче, ніж $1,4H_p$ – можна. В остаточному варіанті розташування світильників має бути забезпечена обов'язкова умова при визначенні кількості рядів – дотримання співвідношення відстані від крайніх рядів до стін L_1 і відстані між сусідніми рядами L :

$$L_1 = (0,3 \div 0,5) L. \quad (9.9)$$

										Арк.
										76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

В іншому випадку або, при $L_1 > 0,5L$, буде недостатньо освітлюватися робоча поверхня поблизу стіни, або, при $L_1 < 0,3L$, – замість робочої поверхні буде «гарно» освітлюватися стіна.

Мінімальне число рядів $N_{p\min}$:

$$N_{p\min} = \frac{A}{1,5H_p}; \quad (9.10)$$

$$N_{p\min} = \frac{B}{1,5H_p}. \quad (9.11)$$

Формула (9.10) відноситься до розташування рядів уздовж довжини приміщення, (9.11) – уздовж короткої сторони. Отримане за однією з формул число слід округлити до цілого, причому тільки в більшу сторону – інакше відстань між рядами виявиться більше L_{\max} , що неприпустимо.

Відстані L і L_1 , що змінилися (зменшилися) в результаті округлення N_p слід уточнити (спочатку за умови $L_1 = 0,5L$):

$$L = 2L_1 = A / N_p \quad (9.12)$$

або

$$L = 2L_1 = B / N_p. \quad (9.13)$$

Після цього L і L_1 коригуються до більш зручних («округлих») величин з перевіркою співвідношення

$$L_1 = (0,3 \div 0,5) L. \quad (9.14)$$

Після цього, множачи отримане число рядів N_p на кількість світильників в ряду $N_{св}$, отримуємо загальну кількість світильників

$$N = N_p \cdot N_{св}. \quad (9.15)$$

Для точкових джерел використовують розміщення по вершинах прямокутника (рис. 9.2, б) або квадрата (рис. 9.2, в), або в шаховому порядку (рис. 9.2, г). У будь-якому випадку при комбінованій системі освітлення умовами забезпечення рівномірності є:

$$L_A \leq L_{\max} = 1,4H_p, \text{ та } L_B \leq L_{\max} = 1,4H_p. \quad (9.16)$$

У випадках, що допускають застосування тільки загального освітлення, необхідно додатково зменшувати L_A і L_B для досягнення нормативної величини

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

коефіцієнта пульсації освітленості $K_{\text{п}}$. При цьому обов'язково підключення світильників на різні фази трифазної мережі, а величина L_{max} не повинна перевищувати:

$$0,9N_p - \text{при } K_{\text{п}} \leq 20\%; 0,75N_p - \text{при } K_{\text{п}} \leq 15\%; 0,6N_p - \text{при } K_{\text{п}} \leq 10\%. \quad (9.17)$$

Відстані від крайніх рядів (світильників) до стін у всіх випадках повинні знаходитися в межах:

$$L_{1A} = (0,3 \div 0,5) L_A, \quad L_{1B} = (0,3 \div 0,5) L_B. \quad (9.18)$$

Розрахунок кількості світильників уздовж довгої сторони приміщення (в ряду) N_A і уздовж короткої сторони (рядів) N_B проводиться подібно розрахунку кількості рядів світильників з ЛЛ.

Спочатку за формулами, аналогічним (9.9 та 9.10), розраховуються мінімальні кількості $N_{A\text{min}}$ і $N_{B\text{min}}$:

$$N_{A\text{min}} = \frac{A}{L_{\text{max}}}, \quad \text{та} \quad N_{B\text{min}} = \frac{B}{L_{\text{max}}}. \quad (9.19)$$

Отримані числа округлюються до цілого (тільки у більшу сторону), після чого визначається загальна кількість світильників

$$N = N_A \cdot N_B$$

і уточнюється зменшення в результаті округлення N_A і N_B відстані L_A , L_B , L_{1A} і L_{1B} (спочатку за умови $L_1 = 0,5L$):

$$L_A = 2L_{1A} = A / N_A$$

та

$$L_B = 2L_{1B} = B / N_B.$$

Після цього всі відстані коригуються до більш зручних («округлих») величин з перевіркою співвідношення

$$L_1 = (0,3 \div 0,5) L.$$

5. Після попереднього визначення кількості світильників N розраховується світловий потік однієї лампи за формулою

$$F_{\text{розр}} = \frac{E_n S k_3 z}{N n \eta} \cdot 100\%, \quad (9.20)$$

6. За каталогами підбирають найближчу стандартну лампу. Перевіряється відхилення світлового потоку обраної лампи $F_{\text{ст}}$ від розрахункового $F_{\text{розр}}$:

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

$$\Delta F = \frac{F_{cm} - F_{розр}}{F_{розр}} \cdot 100\% \quad (9.21)$$

Якщо величина відхилення ΔF знаходиться в межах від - 10 до + 20 %, то результат розрахунку можна вважати задовільним. Якщо світловий потік обраної лампи недостатній ($\Delta F < - 10\%$), збільшують число світильників (для ЛЛ - кількість рядів, а для дугових ламп – або число рядів, або число світильників в ряду, або і те й інше, забезпечивши мінімальні відмінності відстаней L_A і L_B) до отримання необхідного результату.

Якщо світловий потік обраної лампи надмірно великий ($\Delta F > + 20 \%$), поступають таким чином:

-для світильників з ЛЛ розміщують число світильників, зробивши їх розташування в кожному ряду переривчастим (збільшивши монтажні зазори) або беруть світильники з лампами меншої потужності;

-при використанні ГЛВТ зменшують число світильників, збільшувати відстані між ними не можна. Тому слід повторити заключну частину розрахунку для ламп меншої потужності, збільшуючи кількість світильників і зменшуючи відстані між ними, – до отримання необхідного результату.

У разі проведення коригування кількості світильників (рядів) слід заново перерахувати відстані між ними.

7. Визначенням потужності освітлювальної установки:

$$P = P_{л} n N, \quad (9.22)$$

де $P_{л}$ – потужність, що споживається однією лампою, Вт.

9.1.2. Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення електродного цеху

Проведемо розрахунок загального рівномірного штучного освітлення електродного цеху розташованого в будівлі з бетонними стінами. Розміри площі освітлення: $A = 50$ м; $B = 25$ м. Приміщення має висоту $H = 6$ м та коефіцієнти відбиття відповідно стелі $\rho_{п} = 50 \%$ (чиста бетонна стеля), стіни $\rho_{с} = 30 \%$ (бетонні

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

стіни) і робочої поверхні (підлога) $\rho_p = 10\%$. На підприємстві виконуються зорові роботи V-VIII розрядів [12, табл.5.1].

Використовуємо для освітлення цеху газорозрядні лампи високого тиску. При відносно невеликій висоті цеху це лампи типу ДРЛ. Використовуємо закріплюються на стелі світильники С34ДРЛ (в цеху використовується емульсія, може проводитися чорнова обробка і обробка чавунних деталей) на одну лампу ($n = 1$) з захисним кутом 15° , розташували їх найбільш раціонально – по кутах прямокутника (рис. 9.2, б).

Площа цеху

$$S = A \cdot B = 50 \cdot 25 = 1250 \text{ м}^2.$$

Для визначення коефіцієнта використання η розрахуємо індекс форми приміщення по формулі (9.3):

$$i = \frac{50 \cdot 25}{5 \cdot (50 + 25)} = 3,33.$$

Визначаємо коефіцієнт використання освітлювальної установки. Для світильника С34ДРЛ: при $i = 3,0$ знаходимо $\eta = 68,5\%$; при $i = 3,5$ знаходимо $\eta = 70\%$; тоді при $i = 3,33$ шляхом інтерполяції знаходимо:

$$\eta = 68,5 + ((70 - 68,5) / (3,5 - 3,0)) (3,33 - 3,0) = 69,5 (\%).$$

Для попереднього визначення числа світильників уздовж довжин-ний боку приміщення N_A приймемо, що відстань від крайніх світильників до стін L_{1A} максимально і дорівнює половині відстані між сусідніми-ми світильниками LA : $L_{1A} = 0,5LA$.

Тоді при найбільшій допустимій відстані між світильниками за формулою (9.19):

$$N_{Amin} = A / L_{max} = A / (1,4H_p) = 50 / (1,4 \cdot 5) = 7,14.$$

Округлюючи (тільки в більшу сторону), отримуємо $N_A = 8$.

Аналогічно визначаємо попереднє число світильників уздовж короткої сторони приміщення N_B по формулі (9.19):

$$N_{Bmin} = B / L_{max} = B / (1,4H_p) = 25 / (1,4 \cdot 5) = 3,57.$$

Округляючи, отримуємо $N_B = 4$.

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

Тоді загальне число світильників

$$N_{\text{св}} = N_A \cdot N_B = 8 \cdot 4 = 32.$$

Визначимо нові величини L_A , L_B , L_{1A} і L_{1B} , як і раніше вважаючи, що відстані від крайніх світильників до стін дорівнює половині відстані між світильниками:

$$L_A = A / N_A = 50/8 = 6,25 \text{ м};$$

$$L_{1A} = 0,5 \cdot 6,25 = 3,125 \text{ м};$$

$$L_B = B / N_B = 25/4 = 6,25 \text{ м};$$

$$L_{1B} = 0,5 \cdot 6,25 = 3,125 \text{ м}.$$

Призначаємо більш зручні відстані між світильниками.

Уздовж довгої сторони приміщення: $L_A = 6,5$ м; тоді

$$L_{1A} = (A - (N_A - 1) L_A) / 2 = (50 - (8 - 1) \cdot 6,5) / 2 = 2,25 \text{ (м)}.$$

Упевняємося, що співвідношення

$$L_{1A} / L_A = 2,25 / 6,5 = 0,346$$

потрапляє в допустимий діапазон ($0,3 \div 0,5$).

Уздовж короткої сторони приміщення: $L_B = 6,5$ м; тоді

$$L_{1B} = (B - (N_B - 1) L_B) / 2 = (25 - (4 - 1) \cdot 6,5) / 2 = 2,75 \text{ м}.$$

Бачимо, що співвідношення

$$L_{1B} / L_B = 2,75 / 6,5 = 0,423$$

також в допустимих межах ($0,3 \div 0,5$).

Врахуємо, що для точкових джерел, якими є світильники з дуговими лампами, коефіцієнт $z = 1,15$. Підставляючи числові значення всіх відомих параметрів в формулу (9.20), отримаємо:

$$F_{\text{розр}} = 100 (200 \cdot 1250 \cdot 1,5 \cdot 1,15) / (32 \cdot 1 \cdot 69,5) = 19391 \text{ лм}.$$

Найближчими за світловим потоком є стандартні вітчизняні лампи ДРЛ-250 ($F_{\text{ст}} = 13000$ лм) і ДРЛ-400 ($F_{\text{ст}} = 22000$ лм).

Для отримання $F_{\text{розр}}$, максимально наближеного до світлового потоку лампи ДРЛ-250 (13000 лм) число $N_{\text{нов}}$ визначаємо з пропорції:

$$N_{\text{нов}} = (N \cdot F_{\text{розр}}) / F_{\text{ст}} = (32 \cdot 19391) / 13000 = 47,7.$$

Приймаємо $N_{\text{нов}} = N = 48$. Можливі два поєднання: $N_A = 12$ і $N_B = 4$, а також $N_A = 8$ і $N_B = 6$. Нескладні розрахунки показують, що різниця між L_A і L_B в обох

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

випадках однаково (4,17 і 6,25 м – див. нижче – і навпаки). Приймаємо варіант розташування з $N_A = 12$ і $N_B = 4$.

Уточнимо величини L_A , L_B , L_{1A} і L_{1B} знову-таки з умови $L_1 = 0,5L$:

$$L_A = A / N_A = 50/12 = 4,17 \text{ м};$$

$$L_{1A} = 0,5 \cdot 4,17 = 2,08 \text{ м};$$

$$L_B = B / N_B = 25/4 = 6,25 \text{ м};$$

$$L_{1B} = 0,5 \cdot 6,25 = 3,125 \text{ м}.$$

Призначаємо більш зручні відстані між світильниками. Уздовж довгої сторони приміщення: $L_A = 4,2$ м; тоді

$$L_{1A} = (A - (N_A - 1) L_A) / 2 = (50 - (12 - 1) \cdot 4,2) / 2 = 1,9 \text{ м}.$$

Відношення:

$$L_{1A} / L_A = 1,9 / 4,2 = 0,452$$

потрапляє в допустимий діапазон (0,3 ÷ 0,5).

Уздовж короткої сторони приміщення: $L_B = 6,6$ м; тоді

$$L_{1B} = (B - (N_B - 1) L_B) / 2 = (25 - (4 - 1) \cdot 6,6) / 2 = 2,6 \text{ м}.$$

Відношення:

$$L_{1B} / L_B = 2,6 / 6,6 = 0,394$$

потрапляє в допустимий діапазон (0,3 ÷ 0,5).

При цьому розрахунковий світловий потік однієї лампи:

$$F_{\text{розр}} = 100 (200 \cdot 1250 \cdot 1,5 \cdot 1,15) / (48 \cdot 1 \cdot 69,5) = 12927 \text{ лм}.$$

Відхилення світлового потоку стандартної лампи ДРЛ-250 від розрахункового:

$$\Delta F = 100 (F_{\text{ст}} - F_{\text{розр}}) / F_{\text{розр}} = 100 (13000 - 12927) / 12927 = - 0,06 \%,$$

тобто є мінімальним.

Потужність освітлювальної установки:

$$P = P_{\text{л}} n N = 250 \cdot 1 \cdot 48 = 12000 \text{ Вт}.$$

9.2. Вибір щитків освітлення, апаратів захисту та провідників

Щитки освітлення серії ЩА призначені для прийому і розподілу електричної енергії в освітлювальних установках виробничих, громадських, адміністративних

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

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

Для вибору апаратів захисту та перерізу провідника для живлення щитків освітлення струми

- для ввідного автоматичного вимикача:

$$I_{\text{в}}^2 = \frac{P_{\text{с}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{в}} \cdot \cos\varphi} = \frac{12000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 21,45 \text{ А}; \quad (9.23)$$

- для вихідної групової лінії

$$I_{\text{д}}^2 = \frac{P_{\text{д}}}{U_{\text{д}} \cdot \cos\varphi} = \frac{1000}{220 \cdot 0,85} = 5,35 \text{ А}, \quad (9.24)$$

де $P_{\text{д}}$ – потужність найбільш завантаженої фази, в даному випадку це лінія з 4 лампами типу ДРЛ-250.

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

Отже, за отриманими розрахунками вибираємо ввідний триполюсний автоматичний вимикач серії SACE Tmax XT4 з напівпровідниковим розчіплювачем Ekip LS/I

$$I_{\text{н.д.і.с.і}} = 25 \text{ А}; I_{\text{н.л.л.}} = 160 \text{ А}; I_{\text{ел.магн.}} = 100 \text{ А.}$$

Для вихідної групової лінії вибираємо однополюсний автоматичний вимикач серії AE1031

$$I_{\text{н.д.і.с.і}} = 6,3 \text{ А}; I_{\text{н.л.л.}} = 16 \text{ А}; I_{\text{ел.магн.}} = 37,8 \text{ А.}$$

Для захисту освітлювальних мереж слід застосовувати автоматичні вимикачі з розчеплювачами, що мають зворотньо-залежну від струму характеристику, а саме тепловими нерегульованими або комбінованими (теповими 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 кабель ВВГ 3×1,5 мм² з $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$.

Щиток робочого освітлення – ЩА-1211 на 12 приєднань.

За способом включення, аварійне освітлення може бути нормально включеним (так як, включається з основним, робочим освітленням) і нормально відключеним. У другому випадку аварійне освітлення вмикається при припиненні живлення робочого. З метою економії ресурсів, частина світильників в системі нормально включеного аварійного освітлення може використовуватися в якості додаткового робочого освітлення, резервного або чергового.

Для аварійного освітлення в цеху електродів вибираються вісім світильників із числа робочого освітлення.

Потужність аварійного освітлення у відсотках від робочого приймається:

Для продовження роботи – 20 %;

Для евакуації – 5 %.

Щиток аварійного освітлення – ЩА-1211 на 6 приєднань.

Щиток аварійного освітлення заживлюємо від сусідньої підстанції.

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

10. ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі розроблені заходи з охорони праці під час монтажу системи електропостачання гірничого підприємства. На електротехнічний будівельно-монтажний персонал, який здійснює монтаж інженерного обладнання системи електропостачання, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [15, 16]:

- фізичні:
 - підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
 - рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
 - підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
 - підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
 - недостатнє освітлення робочої зони;
 - нестача природного освітлення;
 - небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якого може відбутися через тіло людини;
 - підвищений рівень шуму на робочому місці;
 - підвищений рівень вібрації;
 - підвищена вологість повітря;
 - підвищена та знижена рухливість повітря;
- психофізіологічні:
 - фізичні перевантаження (динамічні);
 - нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
<i>Розроб.</i>		<i>Шарапа О.П.</i>			10. Охорона праці	Лім.	Арк.	Аркушів
<i>Перевір.</i>		<i>Сірик А.О.</i>					85	
<i>Реценз.</i>		<i>Якимчук М.В.</i>				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						

10.1. Технічні рішення з безпечної експлуатації гірничого підприємства

10.1.1. Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Живлення системи електропостачання та системи освітлення гірничого підприємства здійснюється від підстанції напругою 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення споживачів електричної енергії підприємства використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Категорія умов по небезпеці електротравматизму, відповідно до [17], залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмопровідними частинами в різних приміщеннях гірничого підприємства, їх можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії: зі зняттям напруги; без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них; без зняття напруги на відстані від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV з електробезпеки, інші – групу III.

Роботою без зняття напруги на відстані від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, вважається робота, під час якої є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмопровідних частин на відстань, меншу від допустимих, проведення технічних або організаційних заходів для запобігання такому наближенню не потрібно.

В електроустановках напругою понад 1000 В роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них слід виконувати із застосуванням засобів захисту для ізоляції працівника від струмопровідних частин або від землі.

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

У випадку ізоляції працівника від землі роботи слід виконувати згідно зі спеціальними інструкціями або технологічними картами, в яких передбачено необхідні заходи безпеки.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах чи поблизу від них необхідно: обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні 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 струмопровідних 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 струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям. В разі виявленні порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту, користування ними забороняється.

В процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів. Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

В електроустановках забороняється працювати у зігнутому стані, якщо в разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде меншою від допустимих. В процесі виконання робіт біля необгороджених струмопровідних частин

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

забороняється розташовуватися таким чином, щоб ці частини знаходилися позаду чи з двох боків.

Заносити довгі предмети (труби, драбини тощо) та працювати з ними в розподільчих пристроях (РП), в яких унеможливлено випадковий дотик до частин, що перебувають під напругою, потрібно вдвох під постійним наглядом керівника робіт. Риштування та драбини, що застосовуються для ремонтних робіт, мають бути виготовлені за ДСТУ чи ТУ на них. Опорна частина драбин, що встановлюються на гладких поверхнях, має бути оббита гумою, а на опорних частинах драбин, що встановлюються на землі, мають бути гострі металеві наконечники. Драбини повинні верхнім кінцем надійно спиратися на міцну опору. У разі необхідності обіперти драбину на провід, вона повинна бути обладнана гачками в верхній частині. Зв'язані драбини застосовувати забороняється. В разі встановлення приставних драбин на підкранових балках, елементах металевих конструкцій тощо необхідно надійно закріпити верхівку і низ драбини на конструкціях. В процесі обслуговування та ремонту електроустановок застосування металевих драбин забороняється.

Роботу із застосуванням драбин виконують два працівники, один з яких перебуває знизу. Стоячи на ящиках та інших сторонніх предметах виконувати роботи забороняється.

Роботи на кінцевих опорах ПЛ, що перебувають на території відкритих розподільчих пристроїв (ВРП), слід виконувати за правилами роботи на ВРП. Ремонтні працівники ліній перед тим, як зайти у ВРП, повинні бути проінструктовані і заходити до місця робіт у супроводі оперативного працівника з групою III; виходити з ВРПУ після закінчення роботи чи під час перерви працівникам дозволяється під наглядом керівника робіт.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами, – приміщення можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

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

10.1.2. Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні – написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги.

2) При живленні споживачів струму від мережі трипровідної з глухо-заземленою нейтраллю, при напрузі до 1000 В, використовується занулення – навмисне електричне з'єднання нормально не струмопровідних елементів устаткування із заземленим нульовим проводом. При зануленні, пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів до занулення, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений засобами захисту, що попередньо пройшли випробування. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється. Електрозахисні засоби поділяються на основні та допоміжні.

Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі;

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

показчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

10.2. Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [18, 19]. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за [20], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [21].

Пожежо-вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо-вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується II ступенем вогнестійкості.

До II ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за [22] наведено в табл. 10.1.

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за [22] наведено в табл. 10.2.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за

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

табл. 10.3 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у табл. 10.3. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за табл. 10.3 (знаменник) [22].

Таблиця 10.1

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між по-верхові (у т.ч. горищні та над підва-лами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зов-нішні не-несучі	внут-рішні не-несучі (пере-город-ки				пли-ти, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Таблиця 10.2

Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	4	REI 15	3	2

На території гірничого підприємства встановлено 15 вогнегасників ВВП-5 (ВП-5) [23].

У випадку виникнення пожежі на підприємстві робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасниками; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки порошковими вогнегасниками ВП-5 або піском; зупинити обладнання.

Таблиця 10.3

Противопожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
II	6/9	8/9	10/12

10.3. Розрахунок контуру захисного заземлення підстанції

Територія, на якій розміщується підстанція, обладнується заземлюючим пристроєм, основною функцією якого є захист обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом. І у зв'язку з тим, що підстанція є прибудованою, необхідно розрахувати виносне заземлення.

При виносній системі заземлення заземлювачі розташовуються на деякій відстані від устаткування, що заземляється. Тому заземлене обладнання знаходиться поза полем розтікання струму і людина, торкаючись його, опиниться під повною напругою щодо землі. Виносне заземлення захищає лише за рахунок малого опору ґрунту.

Відповідно до діючих нормативних документів, при використанні заземлювального пристрою одночасно для електроустановок напругою понад 1000 В мережі з ізольованою нейтраллю і для електроустановок до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю, опір заземлювального пристрою повинен бути не більше 4 Ом при лінійній напрузі 380 В.

Передбачуваний контур штучного заземлювача має форму прямокутника. Заземлювач передбачається виконати із вертикальних сталевих електродів завдовжки 3 метри. Верхні кінці вертикальних електродів з'єднуються за

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

допомогою горизонтального електрода – сталевій смуги розміром 40×4 мм, що закладається в землю на глибині 0,5 м.

Вихідні дані для розрахунку штучних заземлювачів зведено до табл. 10.4.

Таблиця 10.4

Вихідні дані для розрахунку заземлення

Вид заземлення	виносне
Довжина вертикального електрода l , м	3
Діаметр вертикального електрода (пруток), м	0,016
Глибина закладання заземлювача в ґрунт h , м	0,5
Питомий опір ґрунту ρ , Ом·м	50
Кліматична зона	III
Розміри горизонтального електрода $b \times c$, мм	40 × 4
Опір заземлювального пристрою $R_{з.у.}$, Ом	4

Розрахунок заземлювача (за допустимим опором заземлювача).

I. Визначаємо значення електричного опору розтіканню струму в землю з одиночного заземлювача:

$$R_{\zeta} = \frac{\rho \cdot K_c}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4t + l}{4t - l} \right), \quad (10.1)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, Ом · м;

K_c – коефіцієнт сезонності, що враховує промерзання і просихання ґрунту, в нашому випадку дорівнює 2;

l – довжина вертикального електрода, м;

d – діаметр вертикального електрода, м;

t – відстань від поверхні ґрунту до середини вертикального електрода, м.

$$t = h + 0,5 \cdot l, \quad (10.2)$$

де h – глибина закладання заземлювача в ґрунт, м.

$$t = 0,5 + 0,5 \cdot 3 = 2, \text{ м};$$

$$R_{\zeta} = \frac{50 \cdot 2}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,016} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 33,6 \hat{\Omega} .$$

II. Розраховуємо кількість заземлювачів без урахування взаємних перешкод, що чинять заземлювачі один на одного, так званого явища взаємного екранування:

$$n' = \frac{R_{\epsilon}}{R_{\zeta\delta}}; \quad (10.3)$$

$$n' = \frac{33,6}{4} = 8,4 \approx 8 \text{ } \phi\delta .$$

III. Визначаємо кількість вертикальних електродів з урахуванням екранування.

$$n = \frac{n'}{\eta_{\epsilon}}, \quad (10.4)$$

де η_{ϵ} – коефіцієнт екранування.

Коефіцієнт екранування приймаємо за довідниковими матеріалами, за умови, що відстань між вертикальними електродами $a = l = 3$ м (рис. 10.1).

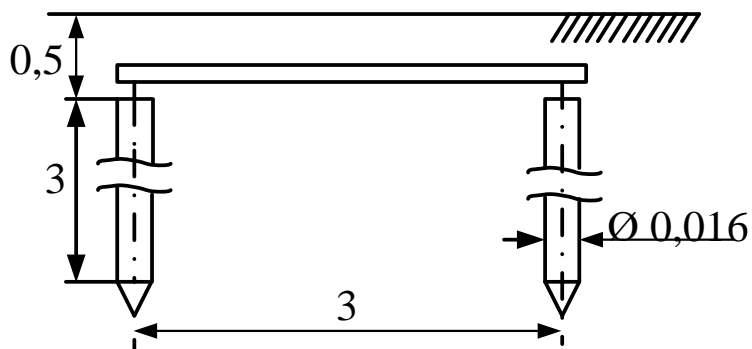


Рис. 10.1. Схема розташування вертикальних електродів

$$n = \frac{n'}{0,58} = \frac{8}{0,58} = 13,8 \approx 14 \text{ } \phi\delta .$$

IV. Визначаємо довжину з'єднувальної смуги:

$$l_{\bar{r}} = 1,05 \cdot n \cdot \delta; \quad (10.5)$$

$$l_{\bar{r}} = 1,05 \cdot 14 \cdot 3 = 44,1 \text{ м} .$$

V. Розраховуємо повне значення опору розтіканню струму зі з'єднувальної смуги:

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

$$R_{\bar{r}} = \frac{\rho \cdot \hat{E}_{\bar{r}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\bar{r}}} \ln \frac{l_{\bar{r}}^2}{0,5 \cdot b \cdot h}, \quad (10.6)$$

де b – ширина з'єднувальної смуги, м.

$$R_{\bar{r}} = \frac{50 \cdot 2}{2 \cdot 3,14 \cdot 44,1} \ln \frac{44,1^2}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,5} = 4,4 \hat{h}.$$

VI. Обчислюємо повне значення опору заземлювального пристрою:

$$R_{\zeta\phi} = \frac{R_{\zeta} \cdot R_{\bar{r}}}{R_{\zeta} \cdot \eta_{\bar{r}} + R_{\bar{r}} \cdot \eta_{\zeta} \cdot n}, \quad (10.7)$$

де η_{Π} – коефіцієнт екранування смуги;

$$R_{\zeta\phi} = \frac{33,6 \cdot 4,4}{33,6 \cdot 0,46 + 4,4 \cdot 0,58 \cdot 14} = 2,9 \hat{h}.$$

Опір $R_{\text{зу}} = 2,9$ Ом менше опору, що допускається, рівного 4 Ом. Отже, розрахована система заземлення забезпечує захист при виносній схемі розташування заземлювачів.

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

11. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ АВАРІЙНИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ

11.1. Основні вимоги до надійності та ефективності систем енергопостачання

Надійність систем електропостачання є фундаментальною передумовою стабільного функціонування економічних галузей і забезпечення нормального рівня життя населення. Особливу важливість ця тема набуває в умовах підвищеного ризику аварійних знеструмлень, що можуть виникати як унаслідок технічних несправностей, так і через зовнішні загрози, зокрема військові конфлікти або кібернетичні атаки. Завданням даного розділу кваліфікаційної роботи є дослідження основних підходів до забезпечення надійності електропостачання, а також аналіз ефективності технічних і організаційних рішень, які застосовуються в умовах кризових ситуацій.

У професійному середовищі давно встановлено, що якісне проектування й організація енергетичних систем є одним із ключових чинників безперебійної діяльності промислових об'єктів. Основна мета, яка ставиться при створенні системи електропостачання на підприємстві, полягає в гарантованому забезпеченні внутрішніх споживачів електроенергією заданої якості з дотриманням необхідного рівня надійності.

При цьому важливо зазначити, що рівень надійності повинен бути не максимальним, а раціональним – тобто таким, що відповідає прийнятним техніко-економічним показникам. Це пояснюється тим, що основною метою діяльності більшості організацій, включаючи промислові підприємства, є отримання прибутку. Підвищення рентабельності можливе як за рахунок зростання доходів, так і шляхом скорочення витрат – бажано без негативного впливу на якість продукції або послуг. Тому до систем енергозабезпечення висувуються вимоги не тільки високої надійності, а й економічної доцільності їх експлуатації.

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шарапа О.П.			11. Індивідуальне завдання. Забезпечення надійності електропостачання в умовах аварійних відключень	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Романюк В.Т.					96	
Реценз.		Якимчук М.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

допомогою автоматичного вводу резерву (АВР). При цьому обов'язковою умовою є наявність двох незалежних джерел живлення, тобто таких, які не впливають одне на одного при зникненні напруги на одному з них.

У складі першої категорії споживачів електроенергії виокремлюється **особлива група**, до якої належать об'єкти, безперебійне живлення яких є критично важливим для безпечного зупинення виробничих процесів. Порушення електропостачання в таких умовах може призвести до надзвичайно серйозних наслідків: загрози життю та здоров'ю людей, вибухів, пожеж або значних технологічних руйнувань.

Для споживачів цієї особливої групи передбачається наявність **третього, додаткового незалежного джерела живлення**, що повинно бути завжди у готовності:

- або в режимі **"гарячого резерву"** – тобто бути готовим до негайного включення у разі відмови одного з основних джерел;
- або **автоматично підключатися** при повному знеструмленні обох основних каналів живлення.

В якості такого третього джерела можуть використовуватися дизель-генераторні установки (ДГУ), системи безперебійного живлення (UPS) або інші автономні енергетичні установки [24].

Основна мета введення третього резервного джерела – **забезпечити контрольовану, безпечну зупинку виробництва**, з уникненням будь-яких небезпечних подій або техногенних інцидентів.

Друга категорія споживачів електропостачання

До цієї категорії належать електроприймачі, відключення яких може спричинити суттєві труднощі у виробничих процесах, масові простої персоналу, а також негативно вплинути на функціонування важливих інфраструктурних об'єктів у великих населених пунктах або в численних менших населених одиницях.

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

Для другої категорії передбачене живлення від двох незалежних джерел електроенергії. У разі зникнення напруги на одному з них допускається короткочасна перерва, необхідна для виконання ручного або напівавтоматичного перемикавання живлення обслуговуючим персоналом.

Споживачі цієї категорії не потребують спеціального технічного резервування або використання автоматичних систем введення резерву (АВР) на рівні електроприймачів, оскільки допустимий короткий час простою не призводить до критичних наслідків.

Третя категорія електропостачання

До третьої категорії належать усі споживачі електроенергії, які не включені до першої або другої категорій. Це, як правило, споживачі, для яких короткочасні відключення електроенергії не призводять до серйозних наслідків або критичних збоїв у роботі.

Такі споживачі живляться від одного джерела живлення, і перерви в електропостачанні допускаються – на період, необхідний для проведення аварійно-відновлювальних або планових ремонтних робіт.

Третя категорія вважається найменш вимогливою до надійності системи енергозабезпечення і не потребує резервних джерел або спеціальних заходів для безперебійного живлення.

З огляду на те, що реальне промислове підприємство є складною та багатофункціональною системою, необхідно враховувати, що в його енергетичній структурі можуть одночасно бути присутні споживачі всіх категорій надійності електропостачання. Тому організація внутрішньої системи енергозабезпечення повинна базуватися на принципі пріоритетного забезпечення електроживленням.

Зокрема, у разі зникнення напруги (або навіть за наявності ризику її зникнення), першочергове перемикавання на резервні джерела живлення здійснюється для обладнання першої та другої категорій. При цьому споживачі третьої категорії виводяться з експлуатації в найпершу чергу, а за необхідності – також поступово відключаються споживачі другої категорії. Основна мета такої

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

стратегії – максимально продовжити безперебійну роботу або забезпечити коректне аварійне вимкнення обладнання першої категорії, яке є критично важливим для безпеки та стабільної роботи підприємства.

Наприклад, в системах безперебійного живлення (ДБЖ) виробництва *Riello* подібний алгоритм реалізується як на апаратному, так і на програмному рівнях – за допомогою функції *EnergyShare*, яка забезпечує інтелектуальне керування розподілом навантаження [24].

Загалом, базовий принцип побудови надійних систем електропостачання залишається незмінним: **мінімізація кількості послідовно з'єднаних елементів при максимальному збільшенні числа паралельних каналів**, що підвищує гнучкість і стійкість системи до збоїв.

Однією з ключових ознак якісного та раціонального проектування систем електропостачання є **відсутність "холодних", неактивних резервних елементів**, які не залучаються до роботи у звичайному режимі. Хоча на етапі початкового аналізу такі рішення можуть здаватися економічно доцільними, їх практична ефективність часто виявляється сумнівною. Виняток становлять дизель-генераторні установки (ДГУ), які з міркувань надійності обов'язково проходять регулярні планові випробування з імітацією реальних умов роботи.

Таким чином, **усі компоненти системи електроживлення повинні бути залучені до роботи навіть у нормальних умовах експлуатації**, хоча б на мінімальному навантаженні. Це не лише забезпечує їх постійну готовність, а й дозволяє вчасно виявити потенційні відмови або зниження ресурсу обладнання.

Крім цього, до базових («золотих») принципів проектування промислових систем енергозабезпечення відносяться [24]:

- простота – за можливості слід уникати надмірно складних схем, обираючи найефективніші, але при цьому максимально прості рішення.

- масштабованість і можливість модернізації – система має передбачати легке розширення або адаптацію без значних перебудов.

- адаптивність – здатність реагувати на зміни в характеристиках навантаження або параметрах вхідної напруги.

									Арк.
									100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- безпека – проектування повинно гарантувати безпеку як для персоналу, так і для довкілля відповідно до чинних стандартів та нормативів.

Особливої уваги заслуговує **поточний стан мереж електропостачання**, який, на жаль, не можна назвати задовільним. І, зважаючи на існуючі реалії, **не варто очікувати суттєвого покращення** у найближчому майбутньому – принаймні у середньостроковій перспективі (протягом декількох наступних років).

Виходячи з цього, можна з упевненістю стверджувати, що **керівництво підприємств і надалі буде змушене самостійно впроваджувати додаткові технічні та організаційні рішення**, які підвищують надійність, а в окремих випадках і **забезпечують безперервність** виробничих процесів. Робити ставку виключно на стабільність зовнішнього електропостачання – недоцільно, особливо в умовах, коли **якість та безперервність енергопостачання не гарантуються на 100% з боку енергопостачальних компаній**.

Ситуацію ще більше ускладнюють **екстремальні погодні умови**, що стали звичним явищем для нашого регіону. Повідомлення на кшталт *«В Україні через негоду знеструмлено 20 населених пунктів»* більше не дивують – вони стали частиною інформаційного фону [24].

Класична структурна схема системи гарантованого електроживлення промислових підприємств, представлена в [24], є однією з її "максимальних версій", яка показана на рис. 11.1.

Варто зазначити, що для забезпечення безперебійного живлення різних типів обладнання можуть використовуватися ДБЖ різних типів, що відповідають потребам конкретних споживачів.

Вже в найближчому майбутньому, а для багатьох і в даний момент, основним етапом розвитку промислових підприємств стане роботизація. Це поєднання дорогих машин і високоточних процесів, де будь-які збої в живленні, стрибки або провали напруги є неприязними і неприпустимими. Тому застосування високоякісних ДБЖ, розроблених для промисловості, є необхідністю, а не просто бажаною опцією.

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

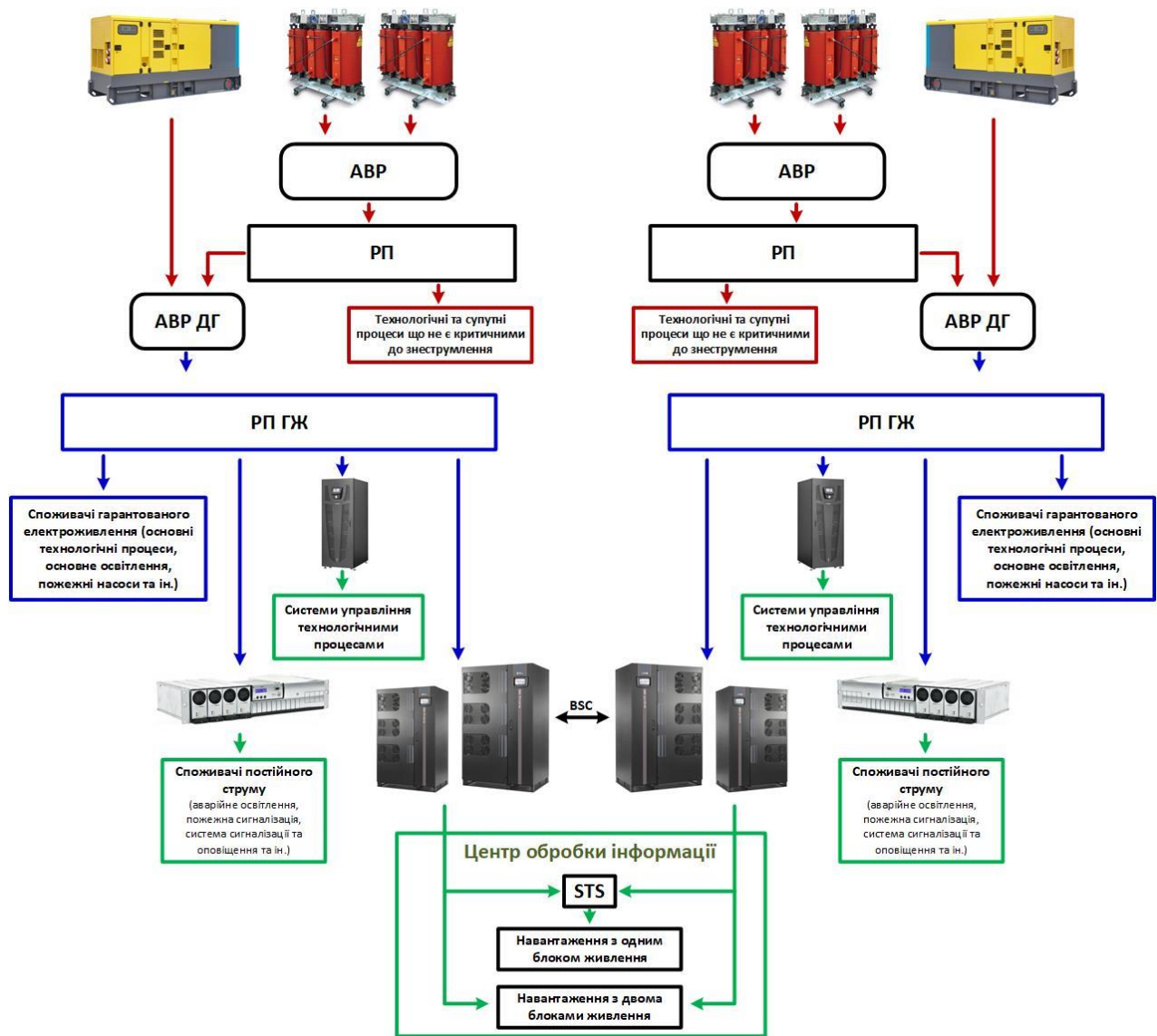


Рис. 11.1. Традиційна структурна схема системи гарантованого електроживлення для промислових підприємств

Використання "Інтернету речей" (IoT, або Internet of Everything, IoE) у виробництві поки що не є поширеним, але ця ситуація зміниться найближчим часом. Технологічність і рентабельність виробництва (більше за менші витрати) завжди були важливі для промисловості, але сьогодні вони стали життєво важливими для підприємств, які хочуть зберегти конкурентоспроможність або просто вижити в умовах сучасного ринку.

Хоча системи IoT ще не є стандартом, це "поки" дуже швидко перетвориться на усвідомлену необхідність для виживання в умовах високої конкуренції. З часом це може стати основою стабільного та прибуткового бізнесу. Тому інтерес

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

11.2. Основні причини, що призводять до аварійних відключень електроенергії

Аварійні відключення електроенергії можуть бути спричинені винятковими чинниками. Їх умовно можна поділити на технічні, природні, людські та сторонні втручання.

До основних технічних причин можна віднести пошкодження обладнання (трансформаторів, кабелів, вимикачів, генераторів через зношеність, перегрів, коротке замикання), перевантаження мережі (коли споживання електроенергії перевищує проєктну потужність мережі), збої в роботі автоматики та релейного захисту (помилки у роботі пристроїв захисту, які повинні запобігти аваріям), вихід з ладу енергоблоків (наприклад, несправність турбіни або генератора на електростанції).

До основних природних причин слід віднести буревії, блискавки, обледеніння проводів, повені. Зокрема, грози і блискавки можуть спричинити перенапругу або механічне ураження ЛЕП, шквали, буревії, урагани – до повалення дерев, обриву проводів, падіння опор, снігопади та обледеніння до значних навантажень на проводи, утворення бурульок і намерзань, повені та зсуви до руйнування інфраструктури й підтоплення трансформаторних підстанцій.

До основних чинників людського характеру слід віднести помилки персоналу (неправильне перемикання, порушення інструкцій), неналежне обслуговування (несвоєчасна профілактика та ремонт обладнання), Незаконні підключення (створюють додаткові навантаження та небезпеку) неналежним чином оформлені будівельні роботи (пошкодження кабелів при земляних роботах).

До основних факторів сторонніх втручань належать ДТП, наприклад, зіткнення автомобілів з електроопорами, акти вандалізму або крадіжки (зрізання кабелів, крадіжка трансформаторної олії тощо), кібератаки, що призводять до збоїв внаслідок хакерських втручань в автоматизовані системи управління.

					ДП 2025 141	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11.3. Використання джерел резервного живлення для забезпечення надійності електропостачання

11.3.1. Дизельні або газові генераторні установки

Дизель-генераторні установки (ДГУ) [25] є поширеним і ефективним рішенням для організації резервного електропостачання, а також можуть використовуватись як основне джерело живлення в умовах відсутності доступу до централізованої мережі.

Газові генератори [26], своєю чергою, активно застосовуються в когенераційних і тригенераційних системах, які забезпечують виробництво не лише електроенергії, а й тепла та/або холоду. Завдяки цьому досягається надзвичайно високий коефіцієнт корисної дії (ККД) – до 90%.

У генераторних установках Teksan застосовуються двигуни провідних світових виробників, які відповідають міжнародним стандартам ISO 8528, ISO 3046, BS 5514, DIN 6271 та оснащені сучасними технологіями. Ці двигуни мають низьке споживання палива, забезпечують точне регулювання частоти обертання, кріпляться до паливного насоса та оснащені механічними або електронними регуляторами.

Генератори, що використовуються у складі продукції Teksan, також належать до провідних брендів, вирізняються високою надійністю, довговічністю та ефективністю. Усі генератори змінного струму проходять необхідні випробування та сертифіковані згідно з нормами EC 60034-1, CEI EN 60034-1, BS 4999-5000, VDE 0530, NF 51-100,111, OVE M-10, NEMA MG 1.22. Вони обладнані системою регулювання напруги з електронним контролем та не потребують регулярного обслуговування.

Стандартна панель керування, встановлена на генераторних установках Teksan, забезпечує зручне та безпечне керування обладнанням. Через панель користувач має доступ до всіх вимірювальних та статистичних даних, режимів роботи, повідомлень і сигналів тривоги, а також стану генератора.

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

На передній панелі металевого корпусу розміщено електронний блок управління та кнопку аварійної зупинки. Корпус виготовлений зі сталевого листа та покритий електростатичним порошковим фарбуванням для захисту від корозії.

Teksan також пропонує як стандартні панелі, так і індивідуальні рішення, адаптовані під потреби клієнтів.

Шасі генераторної установки виготовлено зі сталі високої міцності, здатної витримувати вагу обладнання. Жорстка конструкція та антивібраційні елементи мінімізують вібрації. Усі шасі оснащені вушками для підйому.

Окрім стандартних шасі, що виготовляються компанією Teksan, передбачені також спеціальні конструктивні рішення, які розробляються індивідуально за вимогами замовника. Це значно полегшує транспортування та монтаж генераторних установок.

У моделях потужністю до 1600 кВА паливний бак інтегровано безпосередньо в шасі. Для генераторних установок потужністю понад 1600 кВА використовується окремий паливний бак прямокутної форми. Усі види баків оснащені рівнеміром та індикатором рівня пального.

Система охолодження включає високоякісний промисловий радіатор, розширювальний бак і вентилятор охолодження, що забезпечують стабільне підтримання робочої температури генераторної установки.

Загальне компонування подібної установки наведено на рис. 11.2.

Caterpillar пропонує широкий спектр перевірених рішень для генерації електроенергії на основі газового палива. Серед них – установки для комбінованого виробництва електроенергії та тепла (КПТЕ) на природному газі, резервні джерела живлення для підприємств, а також системи на біогазі, здатні підтримувати локальні електромережі або використовувати метан, що виділяється з вугільних пластів [26].

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



Рис. 11.2. Загальний вигляд генераторів фірми Teksan

Газовий двигун CAT G520E

- Високошвидкісний, блочний двигун забезпечує довговічність і зниження витрат на обслуговування.
- Оптимізований для роботи на природному газі з низьким тиском у трубопроводі.
- Відкрита камера згоряння спрощеної конструкції забезпечує надійність та сумісність з різними видами пального.
- Сучасні системи запалювання та регулювання паливної суміші мінімізують викиди та підвищують ефективність.
- Усі функції контролюються єдиним електронним блоком управління: запалювання, дозування, захист і керування паливною сумішшю.

Генератор SR5

- Повністю сумісний з газовими двигунами Caterpillar.
- Відзначається передовою конструкцією – як у механічному, так і в електротехнічному плані.
- Має високий коефіцієнт корисної дії.

									Арк.
									107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДП 2025 141

Панель керування ЕМСР 4.2

- Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та зручна навігація.
- Гнучкість системи дає змогу адаптувати її до різних сценаріїв використання.
- Підтримує додаткові модулі для налаштувань під конкретні вимоги об'єкта.

Електронна система керування САТ

- Просте управління, цифровий моніторинг та точне вимірювання ключових параметрів.
- Повний контроль над параметрами потужності, сигналізація, релейний захист.
- Передбачено можливості для дистанційного керування та моніторингу.

Зовнішній вигляд газової генераторної установки САТ G520E наведено на рис. 11.3.



Рис. 11.3. Газова генераторна установка G3520E з максимальною номінальною потужністю в резервному режимі 2022 кВт

11.3.2. Акумуляторні системи безперебійного живлення

Акумуляторні батареї для джерел безперебійного живлення (ДБЖ) призначені для накопичення енергії постійного струму та її подальшого використання для живлення електронного або електротехнічного обладнання.

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

Принцип їх роботи базується на перетворенні хімічної енергії в електричну під час розрядки, і зворотному процесі – при заряджанні.

Такі акумулятори широко застосовуються для забезпечення резервного живлення котлів електричного опалення, комп'ютерів, серверів, систем охорони, телекомунікаційного обладнання та іншої критичної електроніки [27].

У разі зникнення основного джерела електроенергії, акумулятори стають резервною підтримкою, забезпечуючи безперебійну роботу важливих пристроїв. Це особливо актуально для об'єктів, де навіть короткочасна зупинка може призвести до втрати даних або порушення технологічного процесу.

Наприклад, підключення комп'ютера до ДБЖ з акумуляторною батареєю дозволяє продовжити роботу навіть після раптового відключення електроенергії, зберігаючи відкриті документи та не втрачаючи важливу інформацію.

Акумулятори для джерел безперебійного живлення (ДБЖ) випускаються у широкому діапазоні потужностей, напруг, ємностей та показників пускового струму. Завдяки цьому вони залишаються надзвичайно гнучкими у застосуванні та здатними задовольнити потреби найрізноманітніших користувачів – від побутових до промислових.

Ключовими параметрами при виборі акумуляторів для ДБЖ є:

- Номінальна напруга – найбільш поширеними є моделі на 6 В та 12 В;
- Ємність (Ah) – визначає, як довго пристрій зможе забезпечувати живлення;
- Пусковий струм – важливий для живлення обладнання з високим стартовим навантаженням.

Наприклад:

Акумулятори на 6 В ідеально підходять для мопедів, мотоциклів або легких електропристроїв.

Батареї на 12 В використовуються для автомобільної електроніки, аварійного живлення котлів опалення, серверного обладнання та систем безпеки.

Однією з головних переваг акумуляторів для джерел безперебійного живлення є їхня тривала експлуатація – такі пристрої здатні працювати стабільно

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

протягом кількох років без збоїв. До того ж, вони працюють абсолютно безшумно, що робить їх комфортними у використанні навіть у приміщеннях з постійною присутністю людей.

На ринку представлено чимало відомих брендів, що спеціалізуються на виробництві акумуляторів для ДБЖ. Серед них варто відзначити:

- Iron – популярний серед користувачів завдяки високій якості та надійності,
- Powerman – зарекомендував себе як оптимальний варіант для малого та середнього бізнесу,
- Powercom і Powerware – бренди, що користуються довірою у професійному середовищі.

Перед придбанням важливо уважно ознайомитися з технічними характеристиками обраної моделі. Особливу увагу варто приділити сумісності акумулятора з конкретною моделлю ДБЖ, що зазвичай зазначається в інструкції від виробника. Такий підхід гарантує, що пристрій буде працювати коректно та ефективно у складі вашої системи безперебійного живлення.

Також важливо правильно визначити оптимальну потужність акумулятора для джерела безперебійного живлення. Вибір потужності має забезпечити достатнє живлення для техніки або обладнання, яке буде підключено до ДБЖ. Це дозволить уникнути ситуацій, коли акумулятор не зможе забезпечити належний рівень енергії для безперебійної роботи.

Не менш важливими є відгуки користувачів, які вже скористалися цією технікою. Вони поділяться своїм досвідом, оцінять переваги та можливі недоліки пристрою, що допоможе вам прийняти обґрунтоване рішення перед покупкою.

Загальний вигляд станції резервного живлення «Eco mini plus» можна побачити на рис. 11.4.

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



Рис. 11.4. Загальний вигляд «Есо mini plus»

11.3.3. Розвиток локальних сонячних або вітрових електростанцій як резервних джерел

Розвиток сонячних електростанцій (СЕС) в Україні відбувається значно швидше, ніж розвиток вітрових електростанцій (ВЕС). Причиною такої різниці є різний термін підготовки документів для реалізації проєктів: для СЕС цей процес займає 6-9 місяців, тоді як для ВЕС – понад рік. Термін служби установок для обох типів електростанцій складає в середньому 25 років, і хоча для ВЕС можливе проведення капітального ремонту 2-3 рази, обидва типи енергетичних установок мають окупність від 5 до 7 років.

Розглянемо основні параметри, які впливають на девелопмент СЕС:

- Площа для розміщення станції: для її будівництва необхідно відвести близько 20 000 м² на землях, непридатних для сільськогосподарської діяльності (наприклад, заболочених чи ерозійних ґрунтах). Важливо, щоб ці ділянки не були в зоні потенційного затемнення.
- Інсоляція в Україні дозволяє будувати сонячні станції на більшості територій без необхідності проведення додаткових замірів.
- Вартість девелопменту: на вартість проєкту впливає також вартість підключення, оскільки «зелений тариф» для СЕС вищий за тариф для ВЕС.
- Будівництво СЕС є менш витратним у порівнянні з будівництвом ВЕС.

										Арк.
										111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Основними параметрами девелопменту для вітрових електростанцій (ВЕС) є:

1) Площа для розміщення станції складає від 3000 до 5000 м², з обов'язковим врахуванням відсутності лісосмуг поблизу. Вітроенергетична установка (ВЕУ) займає відносно невелику ділянку землі, тому прилегла територія може бути використана для сільськогосподарської діяльності.

2) Кліматичні характеристики: при виборі місця для розміщення станції враховуються дані з вітрової карти України та проводяться річні заміри швидкості вітру. Доцільно встановлювати ВЕУ в місцевості з середньою швидкістю вітру понад 4,5 м/с. Вітрові електростанції мають перевагу перед сонячними, оскільки вони можуть працювати цілодобово, незалежно від пори року або часу доби.

3) Складність проєктів ВЕС: через високі вимоги до точних замірів вітрових характеристик та складність девелопменту, проєкти ВЕС є більш затратними порівняно з сонячними електростанціями.

4) Виробництво електроенергії: Вітрові електростанції забезпечують вищу вироблену електроенергію на 1 МВт встановленої потужності, майже в 2 рази більше, ніж сонячні електростанції.

Встановлення сонячних панелей залишається популярним вибором для приватного використання. За даними, опублікованими Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України, на кінець 2020 року більше 29 900 сімей в Україні встановили сонячні панелі загальною потужністю 780 МВт.

Ці дані свідчать про зростання інтересу до відновлювальних джерел енергії серед українців, зокрема через можливість економії на електричних рахунках та зменшення екологічного сліду. Сонячні панелі стають ефективним рішенням для приватних домогосподарств, бажаючих знизити залежність від централізованого енергопостачання та сприяти розвитку «зеленої» енергетики в Україні.

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

11.4. Цифровий пристрій АВР секційного вимикача

Автоматичне включення резерву (АВР) використовується для автоматичного перемикання споживачів знеструмленої секції шин 10 кВ на резервне живлення за допомогою секційного вимикача (рис. 11.5) [28, с. 127].

Основні ознаки функціонування АВР секційного вимикача для двотрансформаторної підстанції:

Пуск АВР здійснюється від:

- газового захисту трансформатора;
- диференційного захисту трансформатора;
- мінімальної напруги на секціях 10 кВ.

Контроль для АВР:

- мінімальна напруга на секціях 10 кВ.

Блокування АВР здійснюється від:

- максимального струмового захисту з боку високої напруги (ВН);
- максимального струмового захисту з боку низької напруги (НН);
- логічного захисту системи шин;
- пристрою резервування відмови вимикача.

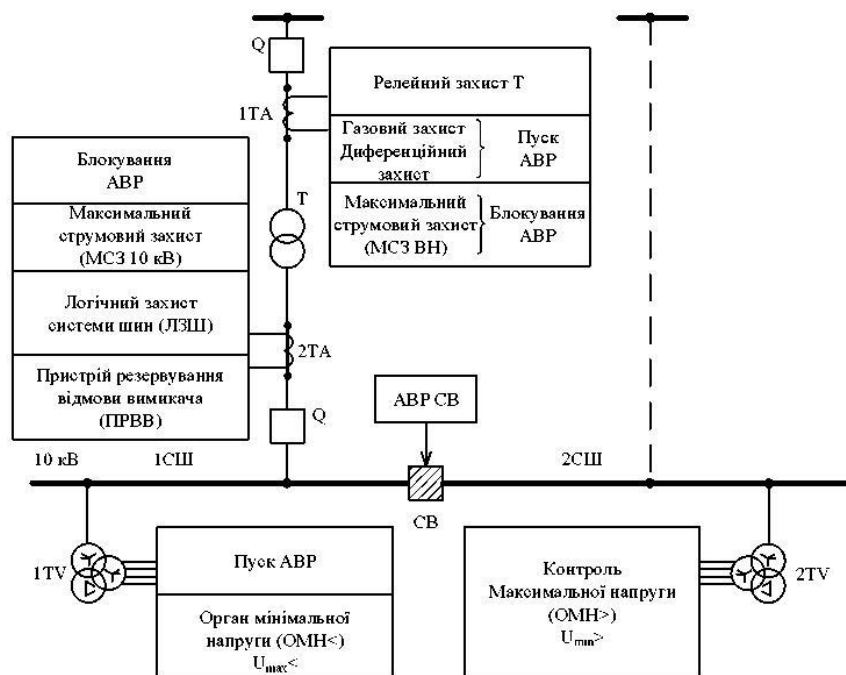


Рис. 11.5. Характеристики роботи АВР секційного вимикача

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 2025 141

Арк.

113

Дія пускового органу (ПО) АВР зображена на рис. 11.6 [28, с. 128].

Основні функції пускового органу:

- контроль напруги на першій секційній шиною (1 СШ) через вимірювальний трансформатор 1TV (рис. 11.5);
- контроль напруги на другій секційній шиною (2 СШ) через вимірювальний трансформатор 2TV (рис. 11.5);
- формування уставки часу для АВР секційного вимикача (СВ).

Процес контролю напруги на 2 СШ:

- обчислення аналогового сигналу U_{\min} за вхідними фазовими напругами (U_A , U_B , U_C) вимірювального трансформатора 2TV;
- порівняння значення U_{\min} з уставкою ПО;
- якщо напруга на 2 СШ перевищує уставку (наприклад, більше ніж $U_{\text{НОМ}}$), формується сигнал «Норма напруги на системі 2СШ».

Процес контролю напруги на 1 СШ:

- обчислення аналогового сигналу U_{\max} за вхідними фазовими напругами (U_A , U_B , U_C) вимірювального трансформатора 1TV;
- порівняння значення U_{\max} з уставкою ПО.

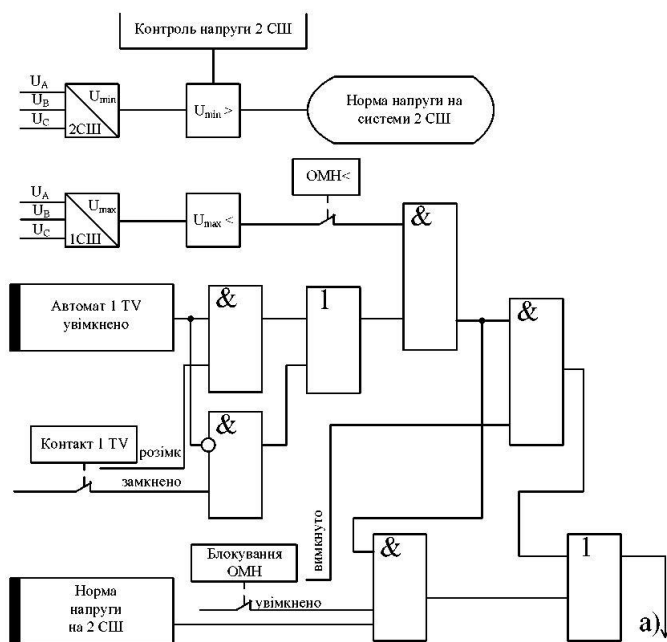


Рис. 11.6. Принципова схема функціонування автоматичного введення резерву секційного вимикача з пусковими органами

У випадку стійкого зниження напруги на першій системі шин, яке триває довше за задану «витримку часу за уставкою АВР», і при падінні напруги нижче встановленого порогу (наприклад, $<0,25U_{ном}$), формується сигнал на перший вхід логічного елемента «І» (логічна операція, яка видає значення «істина» лише тоді, коли всі вхідні умови є істинними).

На другий вхід цього логічного елемента «І» подається сигнал, який підтверджує справність шинного вимірювального трансформатора напруги 1TV (зокрема, сигнали «Автомат 1TV увімкнений» та «Контакт 1TV вимкнений»).

У разі одночасного надходження сигналів на обидва входи логічного елемента «І» активується вихід, що запускає фіксовану затримку перед передачею сигналу відповідно до параметра «Витримка часу. Уставка АВР» (рис. 11.7) [28, с. 130]. На даній схемі також представлені елементи, які виконують функцію блокування роботи пристрою АВР секційного вимикача.

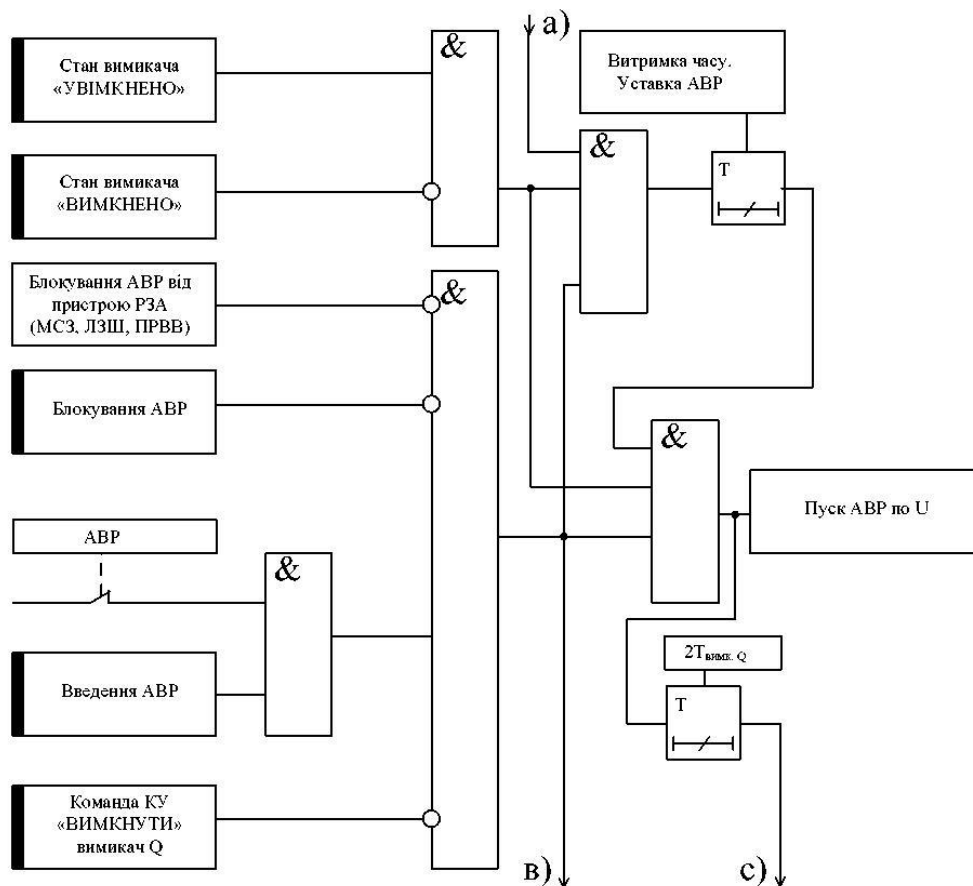


Рис. 11.7. Функціональна схема дії АВР секційного вимикача з відображенням функції блокування

На перший вхід логічного елемента «І» подається дозвіл на спрацювання пристрою АВР у випадку, коли вимикач Q увімкнений – це підтверджується зовнішнім дискретним сигналом «Стан вимикача – увімкнено» (імовірно, від реле РПВ).

Блокування за станом вимикача Q реалізується через інверсний вхід логічного елемента «І», куди надходить сигнал «Стан вимикача – вимкнено» (імовірно, від реле РПО).

На інверсні входи другого логічного елемента «І» можуть подаватися сигнали блокування від пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА), ключа управління та інших елементів керування.

Блокування з боку пристроїв РЗА включає:

- спрацювання максимального струмового захисту (МСЗ) – виконує резервну функцію у разі короткого замикання (КЗ) на приєднання 1СШ. У такому випадку спрацювання АВР недоцільне.

- спрацювання логічного захисту шин (ЛЗШ) – основний захист при КЗ на шині 1СШ. Дія АВР також є недоречною.

- спрацювання пристрою резервування відмови вимикача (ПРВВ) – активується у разі неспрацювання вимикача на приєднанні 1СШ. У цій ситуації спрацювання АВР також виключається.

Блокування АВР може також здійснюватися зовнішнім сигналом від інших РЗА-систем, наприклад, блокуванням від АПВ (автоматичного повторного включення).

Ще один сценарій блокування – це ручне керування оператором, коли надається команда «Вимкнути» вимикач Q за допомогою ключа управління.

На рис. 11.7 також відображено, як пусковий орган АВР (ПО АВР) подає команду на відключення вимикача Q, причому з урахуванням затримки початку передачі сигналу, яка дорівнює подвоєному паспортному часу вимикання вимикача (позначено як « $2T_{\text{ВІМ}}, Q$ »).

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

Якщо на момент спрацювання АВР секційний вимикач (СВ) уже перебуває у ввімкненому стані («Стан вимикача – Увімкнено»), його дія автоматично блокується за допомогою інверсного сигналу (рис. 11.8) [28, с. 131].

Аналогічне блокування виконується у випадку ручного включення вимикача за допомогою команди «Команда КУ – Увімкнути», а також коли сам вимикач уже знаходиться у стані «Увімкнено».

Команда «Увімкнути СВ» для подачі напруги на електромагніт включення секційного вимикача формується за таких умов:

- спрацював пусковий орган АВР;
- після затримки згідно з уставкою часу АВР був вимкнений вимикач Q («Стан вимикача – Вимкнено»);
- на другій системі шин (2СШ) зафіксовано нормальний рівень напруги («Норма U на 2СШ»);
- СВ перебуває у вимкненому стані («Стан СВ – Вимкнено»).

Тривалість імпульсу на включення СВ забезпечується короткочасним сигналом, сформованим на передньому фронті вхідного сигналу, з урахуванням подвоєного паспортного часу вмикання вимикача (« $2T_{\text{вмк}}, Q$ »).

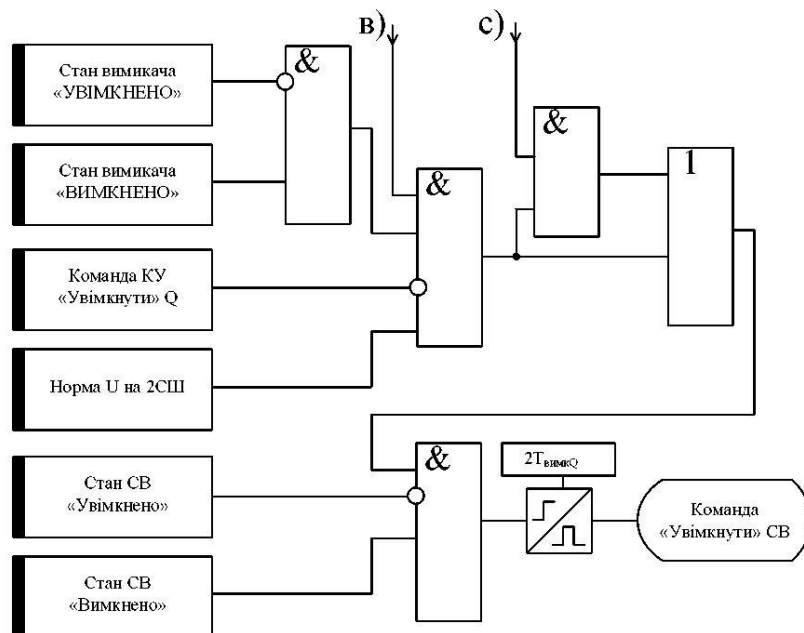


Рис. 11.8. Алгоритм подачі команди на автоматичне вмикання секційного вимикача у системі АВР

ЛІТЕРАТУРА

1. Шестеренко В.Є. Системи електрозабезпечення: Підручник (Модернізований). [Електронний ресурс]. – К.: НУХТ, 2022. – 335 с.
2. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств: Навч. Посібник /О.М.Сірий, В.Є.Шестеренко. – К.: ІСДО, 1993. – 592 с.
3. 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.
4. Т.В. Чуприна, В.А. Сокол, С.В. Сміщук. Електропостачання промислових підприємств і цивільних будівель. – К.: Ліра-К, 2017. – 352 с.
5. В.М. Богачов, А.В. Курбатов. Електропостачання промислових підприємств: теорія і практика. – Харків: Національний технічний університет "ХПІ", 2018. – 410 с.
6. І.Г. Журба. Проектування систем електропостачання промислових підприємств. – К.: Ліра-К, 2017. – 288 с.
7. Михайло Кондратенко. Релейний захист та автоматика електроенергетичних систем. – К.: «КНТЕУ», 2017. – 458 с.
8. Ігор Вільнер. Системи релейного захисту і автоматики електричних мереж. – Харків: «Політехніка», 2016. – 512 с.
9. Олександр Кулик. Релейний захист електричних мереж та систем автоматики. – К.: Наукова думка, 2018. – 386 с.
10. Валентин Прокопов. Теорія і практика релейного захисту. – Львів: «Львівська політехніка», 2017. – 390 с.
11. Технічна колекція Schneider Electric. Випуск №3 – Методика розрахунку захисту Seram.

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Література	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Шарапа О.П.</i>					118	
<i>Перевір.</i>		<i>Романюк В.Т.</i>				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3</i>		
<i>Реценз.</i>		<i>Якимчук М.В.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						

22. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

23. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

24. <https://bestpower.com.ua/implementation/promyslovist-ta-ups>.

25. <https://meridian34.com/generatory-dyzelni-benzynovi-gazovi/>.

26. <https://power-ua.com/products/gas-generator-sets/g3516c/>.

27. <https://warmtap.com.ua/shop/category/bbzh-ta-akumulatori>.

28. Автоматика електроустановок електроенергетичних систем: Навчальний посібник /В.М. Баженов, М.М. Одегов. – Харків: Планета-Прінт, 2022. – 186 с.

					ДП 2025 141	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		