

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад.

І.С. Гулого

Кафедра _____ Електропостачання та енергоменеджменту _____

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту(декан факультету)

Завідувач кафедри

(підпис) Сергій БЛАЖЕНКО
прізвище та (ініціали)

(підпис) Сергій БАЛЮТА
(прізвище та ініціали)

« ___ » _____ 2026 р.

« ___ » _____ 2026р.

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 механічного цеху Коростенського заводу хімічного машинобудування та використання технологій блокчейн в енергетиці».

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЗЕЛ 5-3

Гарбаринін Дмитро Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник ст. викл. Копилова Людмила Олександрівна
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти Аліна СІРИК
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Михайло КРАСЮК
(прізвище та ініціали)

(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

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад.

І.С. Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Електротехніка та інформаційні технології»

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Сергій БАЛЮТА

“ ” 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Гарбаринін Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка системи електропостачання механічного цеху Коростенського заводу хімічного машинобудування та використання технологій блокчейн в енергетиці».

керівник роботи ст. викладач Копилова Людмила Олександрівна

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 03.11.2025 року № 899-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 20.01.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Опис цеху і його розміри. Перелік обладнання і його потужність. Розташування технологічного обладнання в цеху. Освітлення цеху.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вибір напруги і електричних схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання механічного цеху. Вибір силових трансформаторів цеху. Компенсація реактивної потужності. Вибір трансформатора цехової трансформаторної підстанції. Вибір схеми та розрахунок цехової мережі. Техніко-економічне порівняння вибору трансформаторів цехової ТП. Розрахунок струмів КЗ. Релейний захист та автоматика трансформаторів цехових ТП. Облік електроенергії. Характеристики показників якості електричної енергії. Розгляд питань охорони праці. Спецпитання.

5. Перелік графічного матеріалу

1. План механічного цеху. 2. Схема електропостачання цеху. 3. План та розріз трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ. 4. Мережі електричного освітлення механічного цеху. 5. Релейний захист трансформатора та кабельної лінії 10 кВ. 6. Використання технологій блокчейн в енергетиці.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 03.11.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ.		
2	Характеристика електроприймачів механічного цеху	15.11.2025 р.	
3	Розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів механічного цеху.	18.11.2025 р	
4	Вибір напруги і електричних схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання механічного цеху.	24.11.2025 р	
5	Компенсація реактивної потужності	02. 12.2025 р	
6	Вибір трансформатора цехової трансформаторної підстанції	09.12.2025 р.	
7	Вибір схеми та розрахунок цехової мережі	12.12.2025 р.	
8	Техніко-економічне порівняння вибору трансформаторів цехової ТП	15.12.2025 р	
9	Розрахунок струмів короткого замикання	20.12.2025 р	
10	Релейний захист та автоматика трансформаторів цехових ТП	25.12.2025 р.	
11	Облік електроенергії	30.12.2025 р.	
12	Характеристики показників якості електричної енергії	10.01.2026 р	
13	Охорона праці	15.01.2026 р	
14	Спецпитання: використання технологій блокчейн в енергетиці	22.01.2026 р.	
15	Оформлення графічної частини проекту	25.01.2026 р.	
16	Оформлення пояснювальної записки проекту	29.01.2026 р.	

Здобувач

_____ (підпис)

Гарбаринін Д.О.

Керівник роботи

_____ (підпис)

Копилова Л.О.

Анотація

Гарбаринін Дмитро Олександрович

Дипломний проєкт на тему:

«Розробка системи електропостачання механічного цеху Коростенського заводу хімічного машинобудування та використання технологій блокчейн в енергетиці.»

Національний Університет Харчових Технологій,

Київ - 2026

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма « Електротехніка та інформаційні технології».

Додається пояснювальна записка складається із вступу, 13 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проєкту становить 100 сторінки.

До записки надається графічна частину, яка складається із шести креслень: план механічного цеху; схема електропостачання цеху; план та розріз трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ; мережі електричного освітлення механічного цеху; релейний захист трансформатора та кабельної лінії 10 кВ; використання технологій блокчейн в енергетиці.

Розрахунки та вибір обладнання виконані із застосуванням діючих нормативів та методик, які представлені у науково-технічній літературі.

У результаті виконання проєкту представлено: характеристика електроприймачів механічного цеху; розраховані електричні навантаження механічного цеху; вибрана напруга і електричні схеми зовнішнього і внутрішнього електропостачання механічного цеху; розроблені заходи з компенсації реактивної потужності у цеху; визначено число й потужність цехових трансформаторних підстанцій; вибрані схеми та виконаний розрахунок цехової мережі; техніко-економічне порівняння вибору трансформаторів цехової ТП; виконаний розрахунок струмів КЗ; релейний захист та автоматика трансформаторів цехових ТП; облік електроенергії у цеху; характеристики показників якості електричної енергії; питання охорона праці та техніки безпеки в електротехнічних установках. В спеціальній частині проєкту розглянуто питання «використання технологій блокчейн в енергетиці»..

Ключові слова: механічний цех, електроприймачі, електричне навантаження, силовий трансформатор, струми короткого замикання, облік електричної енергії, показники якості електричної енергії, компенсація реактивної потужності, блокчейн

Abstract

Garbarinin Dmitry Oleksandrovykh

Thesis project on the topic: "Development of a power supply system for the mechanical workshop of the Korosten Chemical Engineering Plant and the use of blockchain technologies in the energy sector."

National University of Food Technologies,

Kyiv - 2026

Specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics"

Educational program "Electrical Engineering and Information Technologies".

An explanatory note is attached, consisting of an introduction, 13 chapters and a list of used literature. The volume of the project is 100 pages.

The note is accompanied by a graphic part, which consists of six drawings: a plan of the mechanical workshop; a power supply diagram of the workshop; a plan and section of a 10/0.4 kV transformer substation; electric lighting networks of the mechanical workshop; relay protection of a transformer and a 10 kV cable line; the use of blockchain technologies in the energy sector.

Calculations and equipment selection were performed using current standards and methods presented in scientific and technical literature.

As a result of the project, the following were presented: characteristics of electrical receivers in the mechanical shop; electrical loads in the mechanical shop were calculated; voltage and electrical circuits for external and internal power supply of the mechanical shop were selected; measures for reactive power compensation in the shop were developed; the number and power of shop transformer substations were determined; circuits were selected and the shop network was calculated; a feasibility study of the selection of shop transformers for the TP was performed; short-circuit currents were calculated; relay protection and automation of shop transformers for the TP; electricity metering in the shop; characteristics of electrical energy quality indicators; issues of labor protection and safety in electrical installations.

The special part of the project considers the issue of "the use of blockchain technologies in the energy sector".

Keywords: mechanical workshop, electrical receivers, electrical load, power transformer, short-circuit currents, electricity metering, electricity quality indicators, reactive power compensation, blockchain

Зміст

Вступ	7
1. Характеристика електроприймачів механічного цеху мідноплавильного комбінату	8
2. Розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів механічного цеху	11
2.1. <i>Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В</i>	11
2.2. <i>Розрахунок освітлювальних навантажень</i>	14
3. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання токарно-автоматичного цеху	21
4. Компенсація реактивної потужності	24
5. Вибір трансформатора цехової трансформаторної підстанції	27
6. Вибір схеми та розрахунок цехової мережі	28
6.1. <i>Вибір схеми цехової мережі</i>	28
6.2. <i>Розрахунок силової мережі цеху</i>	29
6.2.1. <i>Розрахунок силової мережі на допустиму втрату напруги</i>	34
6.3. <i>Розрахунок освітлювальної мережі цеху</i>	35
7. Техніко-економічне порівняння вибору трансформаторів цехової ТП	37
8. Розрахунок струмів короткого замикання	40
8.1. <i>Розрахунок струмів КЗ на високій стороні</i>	40
8.2. <i>Перевірка електроустаткування на термічну та динамічну стійкість дії струмів КЗ</i>	41

					ДП 2026 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гарбаринін Д.О.			Зміст	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Копилова Л.О.				5	2	
Реценз.		Красюк М.І.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулоого ЗЕЛ-5-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

ВСТУП

Системи електропостачання промислових підприємств та житлових кварталів створюються для забезпечення живлення електроенергією споживачів електричної енергії. З розвитком технологічного прогресу, збільшення енергоспоживання ускладнюються і системи електропостачання.

За обсягами споживаної електроенергії на першому місці знаходяться промислові споживачі, частка яких становить понад 60% вироблюваної країною електроенергії. З використанням електричної енергії приводяться в рух мільйони верстатів, агрегатів, механізмів, забезпечується протікання технологічних процесів, здійснюється освітлення приміщень та автоматизоване управління технологічними процесами.

Також важливим є забезпечення необхідної якості електроенергії. Низька якість електроенергії призводить крім інших небажаних явищ до підвищення втрат електроенергії як і в електроприймачах так і у мережі. Від надійного і безперебійного електропостачання залежать: робота промислових підприємств будь-яких галузей, отриманий прибуток, що залежить від обсягів випуску продукції, дотримання умов зберігання швидкопсувної продукції.

Для ефективного функціонування підприємства, схема електропостачання має забезпечувати належний рівень надійності та безпеки. Розвиток приватного підприємництва припускає використання нових підходів, у створенні, розподілу і обліку електроенергії. Зокрема це теж стосується наявності кількох підприємств біля однієї виробничої зони (ділянки), що належать різним власникам.

					ДП 2026 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ВСТУП	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Гарбаринін Д.О.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Копилова Л.О.</i>					7	1
<i>Реценз.</i>		<i>Красюк М.І.</i>				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						

1. Характеристика електроприймачів механічного цеху

заводу хімічного машинобудування

Механічний цех є додатковим і забезпечує роботу основних цехів підприємства. В цеху проводяться різні технологічні процеси з обслуговування, ремонту електротермічних печей і виготовлення деталей на верстатах. Для цього в цеху передбачені такі ділянки: верстатна, зварювальна, компресорна, виробнича, а також службове і побутове приміщення. Основне обладнання встановлено на верстатній ділянці і: верстати різного призначення і під'ємно-транспортні механізми.

Механічний цех отримує живлення від власної цехової ТП. ТП розміщується на відстані 1,5 км від ГПП підприємства. Напряга живлення ТП 10 кВ. Від районної підстанції до ГПП – 12 км.

Кількість робочих змін – 2.

Каркас приміщення збудований з бетонних блок-секцій довжиною 6 і 8 м кожен. Розмір цеху $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 7$ м. Допоміжні приміщення 2-х поверхові і мають висоту 3,2 м.

На рисунку 1.1 наведені план механічного цеху з розташуванням технологічного обладнання, а в таблиці 1.1 представлені відомості про електричні навантаження цеху.

					ДП 2026 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Характеристика електроприймачів механічного цеху	Літер.	Арк.	Аркушів.
Розроб.		Гарбаринін Д.О.					8	3
Перевір.		Копилова Л.О.				ННІП ім. акад. І.С.Гулоого ЗЕЛ-5-3		
Реценз.		Красюк М.І.						
Н. Контр.								
Затверд.		Балота С.М.						

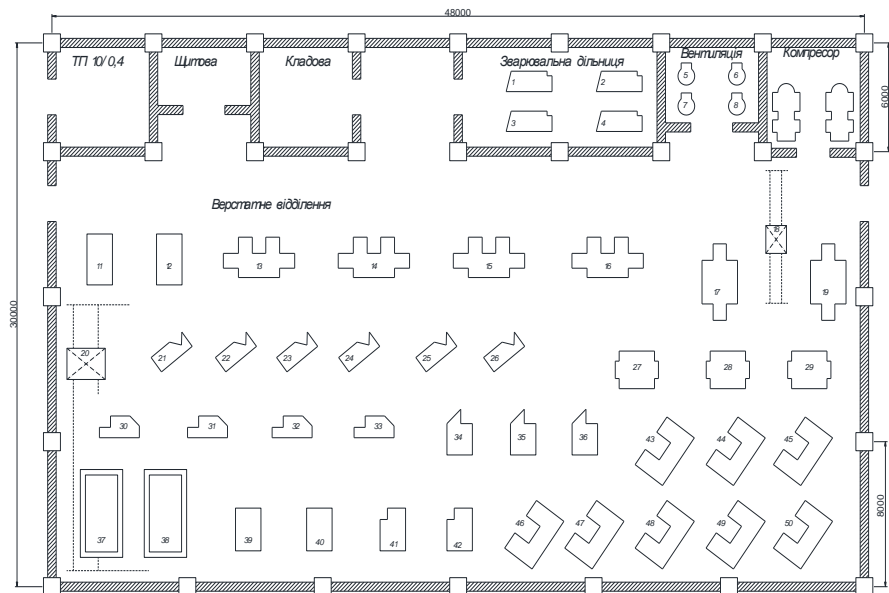


Рисунок 1.1 –План механічного цеху з обладнанням

Таблиця 1.1 - Відомості про електроприймачів цеху

№ на плані	Назва електричного обладнання	P_n , кВт	Примітка
	Зварювальні автомати	42кВА	ПВ=60%
	Вентилятори	4,5	
	Компресори	50	
	Алмазно-розточувальні верстати	2,8	
	Горизонтально-розточувальний верстат	18	
	Повздовжньо-стругальний верстат	30	
	Кран-балка	10	ПВ=60%
	Мостовий кран	45	ПВ=40%
	Розточувальні верстати	10	
	Поперечно-стругальний верстат	7,5	
	Радіально-свердлильний верстат	5	1-фазний
	Вертикально-свердлильний верстат	3	1-фазний
	Електричні печі опору	42	

Арк.

ДП 2026 141

9

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

	Заточувальні верстати	2,5	1-фазний
43...50	Токарно-револьверні верстати	12,5	

					ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

2. Розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричній

мережі цеху напругою до 1000 В

Перед початком розрахунку складається схема цехової мережі. З урахуванням особливостей виробничого процесу та розташування технологічного обладнання цеху приймаємо радіальну схему живлення споживачів. Споживачі згруповані і практично рівномірно розподілені між чотирма РП.

Верстати різного призначення характеризуються низьким коефіцієнтом використання та низьким коефіцієнтом потужності.

Розрахунок електричних навантажень ЕП напругою до 1 кВ проводимо для кожного вузла живлення (розподільного пункту, шафи, збірки, магістрального шинопроводу, цехової трансформаторної підстанції), а також по цеху, корпусу вцілому.

Розрахунок виконуємо за методом впорядкованих діаграм у наступному порядку

1. Для всіх електроприймачів визначається коефіцієнт використання K_B і коефіцієнт потужності $\text{tg}\varphi$. Вибір коефіцієнтів проводимо за [1].

2. Активна потужність споживачів за найбільш завантажену зміну P_{cm} , кВт

$$P_{cm} = K_B \cdot P_H,$$

3. Реактивна потужність Q_{cm} , кВАр за найбільш завантажену зміну

$$Q_{cm} = K_B \cdot P_H \cdot \text{tg}\varphi$$

4. В

де P_H^i - номінальна (встановлена) потужність одного ЕП.

– кількість приймачів однакової потужності (у вузлі живлення);

P_H^2 - квадрат потужності одного електроприймача.

5. Визначаємо ефективну кількість електроприймачів, тобто кількість електроприймачів однакової потужності, які в процесі роботи створюють такий же графік навантаження як і реальні електроприймачі, за формулою:

$$n_A = \frac{(\sum P_i)^2}{\sum n \cdot P_H^2}$$

з

н

а

ДП 2026 141

Змн.	Лист	Ч № докум.	Підпис	Дата	Розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів	Літер.	Арк.	Аркушів.
Розроб.		Грбаринін Д.О.					11	8
Перевір.		Кушлова Л.О.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Реценз.		Красюк М.І.						
Н. Контр.		я						
Затверд.		Балота С.М.						

PHZ,

де $(\sum D_i)^2$ - квадрат групової сумарної встановленої потужності електроприймачів;

6. Коефіцієнт розрахункової потужності K_M визначається відношення розрахункової активної потужності P_P до середньої потужності $(K_B P_H)$ групи електроприймачів. K_M залежить від ефективної кількості електроприймачів, середньо-приведеного коефіцієнта використання, а також постійної часу нагріву мережі, для якої розраховуються електричні навантаження. Значення K_M для цих мереж приймаються за [2] табл.1 або за номограмою [2].

Для споживачів з тривалим режимом роботи і практично постійним графіком навантаження рекомендується згідно [2] максимальну потужність приймати рівною середній за найбільш завантажену зміну, тобто

$$P_M = P_{CM} = K_B P_H.$$

7. Розрахункова реактивна потужність визначається за наступними виразами:

п
р
и
р
и

8. Повна розрахункова потужність знаходиться за формулою:

$$Q_P = 1.1 \cdot K_e \cdot P_H \cdot \operatorname{tg} \phi$$

Проводимо розрахунок навантажень цехової мережі для СП1.

$$Q_P = K_e \cdot P_H \cdot \operatorname{tg} \phi$$

Розраховуємо середню активну і реактивну потужність для ЕП:

алмазно-розточувальні верстати (11,12)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 2 \cdot 2,8 \cdot 0,15 = 0,84 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \operatorname{tg} \phi = 1 \cdot 2,8 \cdot 0,15 \cdot 1,73 = 1,45 \text{ кВАр};$$

- горизонтально-розточувальний верстат (13,14,15,16)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 4 \cdot 18 \cdot 0,15 = 10,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \operatorname{tg} \phi = 4 \cdot 18 \cdot 0,15 \cdot 1,73 = 18,7 \text{ квар};$$

- розточувальний верстат (21,22,23,24,25,26)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 6 \cdot 10 \cdot 0,15 = 9 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \operatorname{tg} \phi = 4 \cdot 10,7 \cdot 0,15 \cdot 1,73 = 15,57 \text{ квар};$$

Визначаємо розрахункові навантаження СП1:

										ДП 2026 141	Арк.
											12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$\epsilon_{\phi} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{ni}\right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{ni}^2} = \frac{(2,8 \cdot 2 + 18 \cdot 4 + 10 \cdot 6)^2}{2 \cdot 2,8^2 + 4 \cdot 18^2 + 6 \cdot 10^2} = 10$$

де k_B – з таблиці 24-3 [3].

За таблицею 1.1 [1] приймаємо $K_M = 1,0$ і визначаємо розрахункові потужності для електроприймачів РП-1

$$P_M = K_M K_B P_H = 1,0 \cdot 20,64 = 20,64 \text{ кВт};$$

$$Q_M = 1,1 K_B P_H \operatorname{tg}\phi = 1,1 \cdot 20,64 \cdot 1,73 = 39,3 \text{ кВАр}.$$

Визначаємо повну потужність S_M електроприймачів СП1:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{20,64^2 + 39,3^2} = 44,4 \text{ кВА}$$

Визначимо потужності електроприймачів з повторно-короткочасним режимом роботи: кранів та зварювальних автоматів:

де $P_{\text{ном}}$ – потужність ЕП, приведена до тривалого режиму;

S_n – встановлена потужність; ПВ – тривалість увімкнення.

$$P_{\text{ном}1,2,3,4} = 42 \cdot \sqrt{0,6} = 32,5 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ном}20} \equiv 45 \cdot \sqrt{0,4} \equiv 28,5 \text{ кВт}$$

Розрахунок навантаження інших електроприймачів механічного цеху проводяться аналогічно. Результати розрахунків для інших НП представлені в таблиці 2.1.

2.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Окрім силового навантаження в механічному цеху є освітлювальне навантаження (ОН). Розрахункова потужність ОН визначається за формулою:

	$P_{p.o.} = P_{уст} \cdot K_{п} \cdot K_{СПРА}$								Арк.
									13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

де $P_{уст}$ – установлена потужність ламп;

$K_{п}$ – коефіцієнт попиту;

$K_{пра}$ – коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пускорегулюючої апаратурі.

Для визначення установленної потужності ламп необхідно знайти їх кількість, яка залежить від розміщення світильників. Розміщення світильників на плані цеху визначається наступними розмірами:

$H=8\text{м}$ – задана висота цеху; $h_c= 0,21\text{м}$ - відстань світильника від перекриття;

$h_{п}= H - h_c$ – висота світильника над підлогою; $h_p = 0,8 \text{ м}$ – висота розрахункової поверхні над підлогою; $h = h_{п} - h_p$ – розрахункова висота; L – відстань між сусідніми світильниками або рядами ламп; I – відстань від крайніх світильників до стіни.

Основною вимогою при виборі розташування світильників є доступність їх при обслуговуванні. Крім того, схема розміщення світильників обумовлюється умовою економічності. Важливою характеристикою є ідношення відстані між світильниками або рядами світильників до розрахункової висоти $\lambda = L / h$, її зменшення призводить до подорожчання освітлювальної установки і ускладнення при обслуговуванні, а надмірне збільшення призводить до різкої нерівномірності освітлення, а також зростання витрат енергії.

При кращому освітленні легше виявляються недоліки, допущені при обробці деталей і, отже, поліпшується якість продукції. У свою чергу, недостатнє або нераціональне освітлення можуть стати причиною підвищення травматизму, так як при недостатній освітленості утруднюється розрізнення небезпечних частин верстатів.

Для освітлення верстатної ділянки (відділення), зварювальної дільниці, компресорної, вентиляційної цеху мідноплавильного комбінату вибрані світильники ЛСП-04 з люмінесцентними лампами ЛБ-65-7, для яких $\lambda = 0,9$.

Для допоміжних приміщень використані світильники ЛПО-05-2x40 з лампами ЛБ-40.

Знаходимо значення розрахункової висоти h :

для цеху
 h
 для допоміжних приміщень h м ;

Визначаємо відстань між рядами світильників в цеху:
 $2,19$ м

$$L = \lambda \cdot h$$

для основних приміщень:

$$L_{\text{в}} = 0,9 \cdot 5,99 = 5 \text{ м};$$

для допоміжних:

$$L_{\text{в}} = 0,9 \cdot 2,19 = 2 \text{ м}.$$

Використовуючи отримані значеннями L виконуємо розміщення світильників на плані механічного цеху.

Визначимо числові значення коефіцієнтів необхідні для розрахунку формулу.

Для виробничих умов приміщення цеху відомо:

-
 K - норма освітленості для верстатного відділення та зварювальної дільниці становить – $E_{\text{н}} = 300 \text{ лк}$ [3];

e - для вентиляційної, компресорної та приміщення трансформаторної ф. підстанції - $E_{\text{н}} = 200 \text{ лк}$ [3];

i - для допоміжних приміщень $E_{\text{н}} = 75 \text{ лк}$ [3].

					ДП 2026 141	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт використання світлового потоку є функцією індексу приміщення

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

де A – довжина приміщення, м; B – ширина приміщення, м.

Індекс приміщення (згідно плану цеху):

для верстатного відділення цеху

$$i = \frac{48 \cdot 24}{5,99(48 + 24)} = 3$$

для зварювальної дільниці:

$$i = \frac{12 \cdot 6}{2,19(12 + 6)} = 2$$

для вентиляційної, компресорної, кладової та приміщення трансформаторної підстанції:

$$i = \frac{6 \cdot 6}{2,19(6 + 6)} = 1,5$$

Для знаходження коефіцієнта використання світлового потоку вибираємо коефіцієнти відбиття стелі, стін і робочої поверхні відповідно для верстатного відділення, зварювальної дільниці, вентиляційної та компресорної [3]: $p_{\text{ст}}=70\%$, $p_{\text{с}}=50\%$, $p_{\text{р}}=30\%$.

За [4] вибираємо лампи ЛБ-65-7, що мають потужність ламп $P_{\text{ном}} = 65$ Вт і світловий потік $\Phi_{\text{ном}} = 4600$ лм.

Для допоміжних приміщень приймаємо: $p_{\text{ст}}=40\%$, $p_{\text{с}}=30\%$, $p_{\text{р}}=30\%$.

Вибрані лампи ЛБ40-1 мають потужність $P_{\text{ном}} = 40$ Вт і світловий потік $\Phi_{\text{ном}} = 3000$ лм.

З використанням типу світильника, коефіцієнтів відбиття та індексу приміщення приймаємо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta=0,68$.

Розраховуємо кількість світильників

=

$E_n \cdot k \cdot S \cdot Z \cdot \Phi_l \cdot \eta$:

де E_n – нормативна освітленість; $E_n=300$ Лк; k – коефіцієнт запасу: $k=1,5$;

S – площа приміщення, м²; $S=48 \cdot 24=1152$ м²; $Z=1,1$ для люмінесцентних ламп.

Визначаємо кількість світильників :

Для верстатної дільниці:

$$\frac{300 \cdot 1,5 \cdot 1152 \cdot 1,1}{2 \cdot 4600 \cdot 0,68} \approx 90$$

світильників;

для зварювальної дільниці:

$$\frac{300 \cdot 1,5 \cdot 72 \cdot 1,1}{2 \cdot 3000 \cdot 0,68} \approx 8$$

світильників;

для вентиляційної, компресорної, приміщення ТП:

$$\frac{200 \cdot 1,5 \cdot 36 \cdot 1,1}{2 \cdot 3000 \cdot 0,68} \approx 3$$

світильники;

для допоміжних приміщень:

$$\frac{75 \cdot 1,3 \cdot 36 \cdot 1,1}{2 \cdot 3000 \cdot 0,48} \approx 1$$

світильник.

Результати вибору кількості світильників для кожного приміщення представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. - Розрахунок числа світильників для приміщень цеху

Приміщення	Ен, лк	h, м	Тип світильника	Потужність ламп, Вт	η	Φ , лм	N
Верстатне відділення	300	5,99	ЛСП04	2x65	0,68	4600	90
Зварювальна дільниця	300	2,19	ЛСП04	2x40	0,68	3000	8
Вентиляційна	200	2,19	ЛПО12	2x40	0,68	3000	3
Компресорна	200	2,19	ЛПО12	2x40	0,68	3000	3
Щитова	200	2,19	ЛПО12	2x40	0,68	3000	2
Приміщення ТП	200	2,19	ЛПО12	2x40	0,68	3000	3
Комора	75	2,19	ЛПО12	2x40	0,48	3000	1

Загальна кількість ламп ЛБ-65-7 в цеху $N_{65}=180$; загальна кількість ламп ЛБ-40 в цеху $N_{40}=40$ (враховуючи 2-й поверх).

Встановлена потужність ламп:

$$P_{уст} = N_D \cdot P_{Дном} + N_L \cdot P_{Лном}$$

$$P_{уст} = 65 \cdot 180 + 40 \cdot 40 = 11700 + 1600 = 13300 \text{ Вт.}$$

Приймаємо значення коефіцієнтів попиту і врахування втрат потужності в пускорегулюючій апаратурі для люмінесцентних ламп: $K_{п} = 0,95$; $K_{ПРА} = 1,2$.

Розраховуємо освітлювальне навантаження цеху:

$$P_{po} = 13,3 \cdot 0,95 \cdot 1,2 = 15,2 \text{ кВт};$$

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 15,2 \cdot 0,33 = 5,03 \text{ кВАр}$$

Розраховуємо повне навантаження цеху, з урахуванням освітлювального навантаження:

$$P_{p\Sigma} = P_{\text{цех } p} + P_{po}$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_{\text{цех } p} + Q_{po}$$

$$P_{p\Sigma} = 240,54 + 15,2 = 255,74 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p\Sigma} = 278,39 + 5,03 = 283,42 \text{ кВАр.}$$

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{255,74^2 + 283,42^2} = 381,7 \text{ кВА}$$

Змін.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

ДП 2026 141

19

Арк.

Таблиця 2.1 - Розрахунок електричних навантажень низьковольтної мережі по групах підключення

Вихідні дані						Змінна потужність ЕП		n	К _м	Розрахункова потужність		S _p , кВ А	
По завданню				Довідкові дані		P _{см} , кВт	Q _{см} , кВАр			P _p ,кВ т	Q _p , кВАр		
Найменування	№ на плані	Кіль кість	Номинальна потужність, кВт		K _в			tgφ					
			одного ЕП	загальна									
Алмазно-розточувальний верстат	11,12	2	2,8	5,6	0,15	1,73	0,84	1,5					
Горизонтально- розточувальний верстат	13,14,1 5,16	4	18	72	0,15	1,73	10,8	18,68					
Розточувальні верстати	21,22,2 3, 24,25,2 6	6	10	60	0,15	1,73	9	15,57					
Всього по СП1		12	30,8	137,6	0,15	1,73	20,64	35,75	10	1	20,64	39,33	44,4
Мостовий кран	20	1	28,5	28,5	0,15	1,73	4,3	7,4					
Радіально-свердлильний верстат	30,31,3 2, 33	4	5	20	0,15	1,73	3	5,19					
Вертикально- свердлильний верстат	34	1	3	3	0,15	1,73	0,45	0,78					
Заточувальний верстат	41,42	2	2,5	5	0,15	1,73	0,75	1,3					
Алмазно-розточувальний верстат	39,40	2	2,8	5,6	0,15	1,73	0,84	1,5					

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2026 141																		
Електричні печі опору	37,38	2	42	84											0,8	0,75	67,2	50,4					
Всього по СП2		12	55,3	117,6											0,26	1,57	76,54	66,57	3	1	76,54	73,2	105,9
Вертикально-свердлильний верстат	35,36	2	3	6											0,15	1,73	0,9	1,6					
Токарно-револьверний верстат	43...50	8	12,5	100											0,15	1,73	15	25,9					
Поперечно-стругальний верстат	27,28,2	3	7,5	22,5											0,15	1,73	3,4	5,84					
Токарний восьмишпindelний горизонтальний напівавтомат	18	1	7,7	7,7											0,15	1,73	1,16	2					
Поздовжньо-стругальний верстат	17,19	2	30	60											0,15	1,73	9	15,57					
Всього по СП3		16	60,7	196,2											0,15	1,73	29,46	50,91	12	1	29,46	50,91	58,8
Зварювальні автомати	1,2,3,4	4	32,5	130											0,15	1,73	19,5	33,7					
Вентилятори	5,6,7,8	4	4,5	18											0,8	0,75	14,4	10,8					
Компресори	9,10	2	50	100											0,8	0,75	80	60					
Всього по СП4		10	87	248											0,54	1,08	113,9	104,5	7	1	113,9	114,95	161,8
Всього навантаження по цеху				699,4							240,54	278,39	370,9										
20	Арк.																						

3. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання цеху

Вибір схеми обумовлюється категорією надійності електропостачання споживачів електроенергії, їх територіальним розміщенням, особливостями режимів роботи та значеннями електричних навантажень.

На стороні НН для живлення трансформаторів механічного цеху обирається напруга 10 кВ.

Вибір та аналіз схем розподілу електроенергії в цеху проводимо з врахуванням особливостей роботи пристроїв релейного захисту, автоматики і величини значень струмів короткого замикання.

При побудові загальної схеми електропостачання необхідно забезпечити раціональне використання розподільних пристроїв, максимальне використання апаратів і кабелів, зниження загальної вартості електрообладнання.

Схеми цехових мереж поділяються на магістральні і радіальні. Лінію цехової електричної мережі, що відходить від розподільного пристрою НН цехової ТП і забезпечує живлення окремих найбільш потужних приймачів електроенергії та розподільчої мережі цеху, називають головною магістральною лінією (або головною магістраллю). Головні магістралі розраховуються на великі робочі струми (до 6300 А) і мають невелику кількість приєднань. Рекомендується застосовувати магістральні схеми з числом відходящих від ТП магістралей, що не перевищує числа силових трансформаторів.

Магістральні схеми використовують у випадках, коли споживачів багато і вони рівномірно розподілені по території підприємства.

					ДП 2026 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гарбаринін Д.О.			Вибір напруги і схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання цеху	Літер.	Арк.	Аркушів.
Перевір.		Копилова Л.О.					21	2
Реценз.		Красюк М.І.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балота С.М.						

Розподільні магістралі призначені для живлення електроприймачів невеликої і середньої потужності, які рівномірно розподілені уздовж лінії магістралі. Такі схеми виконують з використанням комплектних розподільних шинопроводів серії ШРА на струми до 630А. Живлення ШРА проводиться від головних магістралей або РП НН цехової ТП.

Магістральні схеми забезпечують високу надійність електропостачання, універсальність і гнучкість (дозволяють замінювати технологічне обладнання без особливих змін електричної мережі). Тому їх застосування рекомендується у всіх випадках, якщо тому не перешкоджають територіальне розташування навантажень, умови середовища і техніко-економічні показники.

Радіальна схема електропостачання - сукупність ліній цехової електричної мережі, що відходять від РП нижчої напруги ТП і призначених для живлення невеликих груп електроприймачів, розташованих у різних місцях цеху. Розподіл електроенергії між окремими споживачами при радіальних схемах відбувається окремими лініями від силових пунктів, які розташовують у центрі електричних навантажень даної групи споживачів.

Цехові мережі розподілу електроенергії відповідати наступним вимогам:

- забезпечувати надійність живлення електроприймачів в залежності від категорії надійності електропостачання;
- бути зручними та безпечними в експлуатації;
- відповідати критерію оптимальності техніко-економічних показників (мінімум приведених витрат);
- мати конструктивне виконання, що забезпечує застосування індустріальних і швидкісних методів монтажу.

Для даного проекту вибрана радіальна схема електропостачання.

Для електропостачання цеху використовується змінний трифазний струм напругою 10 кВ промислової частоти 50 Гц.

									ДП 2026 141	Арк.
										22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Для живлення цеху використовується власна цехова ТП 10/04, кВ. ТП знаходиться на відстані 1,5 км від ГПП підприємства. Відстань від районної підстанції (центра живлення підприємства) до ГПП 12км.

Від цехової ТП двома паралельними кабельними лініями забезпечується живлення ГРП цеху. Від ГРП за радіальною схемою проводиться живлення силових пунктів (СП), встановлених на окремих дільницях цеху.

Від силових пунктів забезпечується живлення електроприймачів верстатного відділення, зварювальної дільниці, компресорної та вентиляції.

Від цехової ТП двома паралельними кабельними лініями забезпечується живлення ГРП цеху. Від ГРП за радіальною схемою проводиться живлення силових пунктів (СП), встановлених на окремих дільницях цеху.

Від силових пунктів забезпечується живлення електроприймачів верстатного відділення, зварювальної дільниці, компресорної та вентиляції.

					ДП 2026 141				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Гарбаринін Д.О.			Компенсація реактивної потужності		Літер.	Арк.	Аркушів.
Перевір.		Копилова Л.О.						24	3
Реценз.									
Н. Копр.					ДП 2026		ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5		Арк.
Затверд. Змн.	Арк.	Валета С.М. № докум.	Підпис	Дата					

В умовах збільшення вартості електричної енергії, зростання обсягів промислового та розширення інфраструктури міст все більш актуальною стає проблема енергозбереження і зокрема, раціонального використання електроенергії. Більшість електричних установок і пристроїв разом з активною потужністю споживають реактивну потужність, яка використовується на створення електромагнітних полів в установках і забезпечує їх роботу. При наявності реактивної потужності знижується якість електроенергії, а також збільшується оплата за електроенергію за рахунок додаткових втрат електричної енергії, відбувається перегрів проводів, перевантаження трансформаторів підстанцій, необхідність збільшення потужності трансформаторів і перетину кабелів, зростання падіння напруги в електромережі і зниження рівня напруги у споживачів. Для зниження рівня реактивної потужності застосовують конденсаторні установки.

Одним з основних питань, що вирішуються при проектуванні систем промислового електропостачання, є питання компенсації реактивної потужності, що передбачає розрахунок і вибір компенсуючих пристроїв, способів регулювання їх потужності і розміщення на території підприємства.

Для забезпечення ефективності компенсації реактивної потужності проводять підключення конденсаторів до різних точок мережі. Найбільш ефективними є автоматичні установки компенсації реактивної потужності (УКРП), які забезпечують підключення необхідної кількості конденсаторів (їх реактивної потужності) у відповідності до реактивного навантаження мережі.

За типом регуляторів компенсуючі установки діляться на:

- звичайні (релейні) - в яких комутація конденсаторів проводиться за допомогою магнітних пускачів;

- статичні (тиристорні) - в яких застосовуються тиристорні ключі для комутації окремих ступенів конденсаторів.

У статичних (тиристорних) установках комутація конденсаторів відбувається в момент проходження напруги через нуль, внаслідок чого такі установки в порівнянні з звичайними мають такі переваги: висока швидкодія - до 14 комутацій в секунду замість одного в 5 ... 20 секунд; невисокий рівень перешкод внаслідок відсутності кидків струму в момент комутації ; малий знос конденсаторів з тієї ж причини; висока надійність апаратури внаслідок відсутності механічних частин; знижені втрати при відсутності розрядних резисторів.

Сучасні установки мають захист, що вимикає конденсатори при перевищенні встановленої границі гармонік (виключає перевантаження конденсаторів і вихід їх з ладу).

Оскільки вимогою енергосистеми є повна компенсація реактивної потужності, потужність компенсуючих пристроїв вибираємо такою, щоб компенсувати всю реактивну потужність навантаження. Для зменшення втрат в мережі компенсуючі пристрої передбачаємо встановити на стороні 0,4 кВ цехової ТП. Враховуючи, що для ТП реактивна потужність становить $Q_{\max}=283,42$ кВАр, для встановлення вибираємо дві конденсаторні установки: КРМ-0,4-125-7,5УЗ та КРМ-0,4-180-15УЗ сумарною потужністю $Q_{\text{факт}}=180+105=285$ кВАр.

Конденсаторні установки типу КРМ призначені для підвищення коефіцієнта потужності $\cos\phi$ електроустановок промислових підприємств і розподільних мереж, а також автоматичної підтримання його на заданому рівні.

					ДП 2024 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Автоматичне регулювання потужності здійснюється спеціальним електронним регулятором реактивної потужності, що відрізняється високою чутливістю і точністю регулювання.

Апаратура установки складається з модульних конденсаторних батарей, які вмикаються і вимикаються автоматично за допомогою контакторів, оснащених пристроєм, здатним обмежувати пік струму увімкнення на основі необхідної для установки ємнісної реактивної потужності.

Конденсатори, що входять до складу конденсаторні батареї, оснащені металізованим пластмасовим діелектриком, розрядними резисторами і роз'єднувачами для захисту від надлишкового тиску.

Апаратура установки розміщена в металевій шафі, пофарбованій епоксидною смолою, з мінімальним ступенем захисту IP31.

Основні параметри установки КРМ-0,4-105-7,5 УЗ:

КРМ - компенсатор реактивної потужності;

0,4 – номінальна напруга, кВ;

105 – номінальна потужність установки, кВАр;

7,5 – точність регулювання, кВАр;

УЗ – кліматичне виконання і категорія розміщення за ГОСТ 15150-69 і ГОСТ 15543-70.

Визначаємо уточнене розрахункове навантаження цехової ТП з урахування компенсації реактивної потужності:

$$S_{p \text{ дійсне}} = \sqrt{\sum (\Delta \delta)^2 + \sum (Q\delta - Q\delta)^2} = \sqrt{255,74^2 + (283,42 - 285)^2} = 255,7 \text{ кВА.}$$

					ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

5. Вибір трансформаторів цехової трансформаторної підстанції

Визначення числа і потужності трансформаторів цехових ТП необхідно проводити для забезпечення:

- а) надійності електропостачання;
- б) економічності роботи цехових і заводських мереж;
- в) уніфікації підстанцій щодо потужності трансформаторів, що дозволить використати менше число резервних трансформаторів.

Номінальна потужність трансформаторів цехової ТП визначається за формулою:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_M / N \cdot \beta_T,$$

де $S_{\text{ном.т.р}}$ – повна номінальна розрахункова потужність ;

N – кількість трансформаторів ТП;

β_T – оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора цехової ТП.

$$S_{\text{ном.т}} \geq 255,7 / 2 \cdot 0,7 = 182,6$$

Вибираємо два трансформатори ТМ-250/10

$$S_{\text{ном.т}} = 2 \cdot 250 \text{кВА} \geq 255,7 \text{кВА}$$

Номінальні параметри трансформаторів наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Номінальні параметри трансформатора

Тип	S_N , кВА	U_1/U_2	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	I_{xx} , %	U_k , %	Кількість
ТМ-250	250	10/0,4	0,65	3,9	0,9	4,5	2

Отже, виходячи з розрахунку вибираємо двотрансформаторну ТП з потужністю кожного трансформатора 250 кВА. Коефіцієнт завантаження $K_3=0,6$.

					ДП 2026 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гарбаринін Д.О			Вибір трансформаторів цехової трансформаторної підстанції	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Копилова Л.О.					27	1
Реценз.		Красюк М.І.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

6. Вибір схеми та розрахунок цехової мережі

6.1 Вибір схеми цехової мережі

ТП механічного цеху отримує живлення від РП 10 кВ мідноплавильного комбінату.

Вибираємо високовольтні вимикачі на стороні 10 кВ за номінальною напругою і розрахунковим струмом з врахуванням післяаварійних режимів та можливих нерівномірностей розподілу струмів між лініями і секціями шин:

$$U_{ном.в} \geq U_{ном. мережі},$$

$$I_{ном.в} \geq I_{м.ав},$$

де $I_{м.ав}$ - розрахунковий максимальний струм для післяаварійного режиму.

Розрахуємо струм для нормального режиму для ТП, що живить цех:

$$I_M = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_H} = \frac{255,7}{2 * \sqrt{3} * 10} = 7,39 A;$$

Розрахуємо струм для післяаварійного режиму (2 трансформатора на ТП):

$$I_{м.ав} = \frac{1,4 * S_{нтр}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{1,4 * 250}{\sqrt{3} * 10} = 20,23 A ;$$

Для встановлення на стороні 10 кВ вибираємо вакуумні вимикачі з типу ВВ/TEL-10-12,5/630 У2. Номінальний струм вимикачів 630А. Власний час відключення вимикача 0,07 с.

Для даної ділянки високовольтної мережі вибираємо броньовані кабелі з паперовою ізоляцією в алюмінієвій оболонці типу ААБ. Вибір перерізу жил виконаємо за економічною густиною струму. Для кабелів з паперовою ізоляцією $j_{ек}=1,4 \text{ А/мм}^2$ при $T_M=3500$ год [1].

					ДП 2026 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Вибір схеми та розрахунок Визначення економічного перерізу провідників для живлення ТП	Літер.	Арк.	Аркушів.
Розроб.		Гарбаринін Д.О.				ТП	28	9
Перевір.		Копилова Л.О.			ДП 2026 141			Арк.
Реценз.		Красюк М.І.						5-3 29
Н. Контр.								
Відвердк.		Балюк М.	Підпис	Дата				

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{7,39}{1,4} = 5,3 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель ААБ перерізом 3x35 мм² з I_{доп} = 125 А.

Вибираємо вимикач навантаження типу ВНПз М1-10/630-20 та запобіжник ПКТ101-10-31,5-31,5У3.

Вимикачі навантаження ВНП - це простота конструкції, надійність і безпека. Вимикачі навантаження призначені для увімкнення (вимкнення) електричного кола, що перебуває під навантаженням. З переваг даного вимикача навантаження слід зазначити:

- простоту конструкції пружинного триполюсного роз'єднувача, що забезпечує високу надійність і довговічність в експлуатації;
- відносно невелика вартість;
- зведені до мінімуму габаритні розміри, що полегшують монтаж.

6.2 Розрахунок силової мережі цеху

Живлення обладнання в залежності від його розташування здійснюється від силових пунктів СП-1, СП-2, СП-3, СП-4, які в свою чергу живляться від розподільчого пристрою. РП 0,4 кВ отримує живлення від цехової ТП.

При виборі автоматичних вимикачів повинні виконуватись такі умови

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} I_M,$$

$$I_{с.в} \geq K_n I_n,$$

де $I_{н.розч}$ - номінальний струм самозапуску;

$I_{с.в}$ - струм спрацювання відсічки;

$K_{відс}$ - коефіцієнт відстроювання, що визначається з умов надійності відстроювання захисту від перевантажень і його неспрацювання (повернення) при (після) пуску або самозапуску.

$I_m = \frac{S_m}{\sqrt{3}U_n}$ - розрахунковий струм окремого електроприймача чи РП в цілому

при $U_n = 0,38 \text{ кВ}$;

K_n - коефіцієнт надійності відстроювання струмової відсічки;

I_n - піковий (пусковий) струм.

Вибір комутаційно-захисної апаратури механічного цеху.

Виберемо автоматичний вимикач для лінії від ТП до РП-0,4 кВ.

Розрахунковий струм для цієї лінії:

$$I_M = \frac{S_m}{\sqrt{3}U_n} = \frac{381,7}{2 * \sqrt{3} * 0,38} = 290 \text{ А.}$$

Піковий струм визначаємо за формулою:

$$I_n = I_M - K_{\epsilon} I_{n.макс} + I_{п.макс} ,$$

де $I_{n.макс}$, $I_{п.макс}$ - номінальний і піковий струми найбільш потужних електроприймачів, а K_{ϵ} - коефіцієнт використання найбільш потужного електроприймача.

$$I_{п} = 290 - 0,8 \frac{42}{\sqrt{3} * 0,38 * 0,5 * 0,87} + 5 \frac{42}{\sqrt{3} * 0,38 * 0,5 * 0,87} = 906,8 \text{ А.}$$

Вибираємо для встановлення на лініях від ТП до РП автоматичні вимикачі ВА77В-1000А. Розрахуємо номінальний струм розчіплювача та струм спрацювання відсічки для лінії ТП – РП:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} I_M = 1,1 * 290 = 319 \text{ А};$$

$$I_{с.в} \geq K_n I_{п} = 1,5 * 906,8 = 1360,2 \text{ А.}$$

Номінальний струм вимикача 1000 А, номінальним струмом розчіплювача 1250 А та струмом спрацювання відсічки 1500 А.

Для приєднань РП-СП1, РП-СП2, РП-СП3, РП-СП4 вибираємо автоматичні вимикачі типу ВА 77. Результати розрахунків наведено в таблиці 6.1.

					ДП 2026 141	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 – Розрахунок комутаційно-захисної апаратури цеху

Лінія	S_M , кВА	I_M , А	I_{II} , А	Тип захисного апарата	$I_{ном.в.}$, А	$I_{н розч}$ (розр), А	$I_{н розч}$, А	$I_{св}$ (розр), А	$I_{св}$, А
РП - СП1	44,4	33,7	50,6	ВА77С-40А	40	37,07	40	75,9	80
РП - СП2	105,9	80,47	155,4	ВА77С- 100А	100	88,5	100	233,1	250
РП - СП3	58,8	44,68	75,1	ВА77С-50А	50	49,1	50	112,8	115
РП - СП4	161,8	122,9	254,65	ВА77С- 160А	160	135,19	160	381,98	400

На лініях, що підходять безпосередньо до електроприймачів вибираємо автоматичні вимикачі серії з тепловим і електромагнітними розчіплювачами.

Виберемо автоматичний вимикач для лінії від СП1 до ЕП-11.

Розрахунковий та піковий струми для цієї лінії:

$$I_M = \frac{2,8}{\sqrt{3} * 0,38 * 0,5 * 0,87} = 9,8 \text{ А.}$$

$$I_{II} = 5 * I_M = 5 * 9,8 = 49 \text{ А.}$$

За умовами вибору автоматичних вимикачів розрахуємо номінальний струм розчіплювача та струм спрацювання відсічки:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} I_M = 1 * 9,8 = 9,8 \text{ А,}$$

$$I_{с.в} \geq K_H I_{II} = 2,1 * 49 = 102,9 \text{ А.}$$

За розрахованими значеннями струмів вибираємо автоматичний вимикач АЕ 2046М-25А з тепловим і електромагнітними розчіплювачами з номінальним струмом вимикача 25 А, номінальним струмом розчіплювача 25 А та струмом спрацювання відсічки 115 А.

Аналогічно проводимо вибір автоматичних вимикачів з тепловими і електромагнітними розчіплювачами для решти ліній, що підходять безпосередньо до електроприймачів. Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.2.

									Арк.
									31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 6.2 – Розрахунок комутаційно-захисної апаратури цеху

Лінія	P_m , кВт	I_m , А	I_p , А	Тип захисного апарата	$I_{ном.в.}$, А	I_n розч (розр), А	I_n розч, А	$I_{св}$ (розр), А	$I_{св}$, А
СП1-11,12	2,8	9,8	49	АЕ 2046М-25А	25	9,8	10	102,9	115
СП1-13,14,15,16	18	62,9	314,69	ВА77С-80А	80	62,9	80	660,8	700
СП1-21,22,23,24,25,26	10	34,97	174,8	ВА77С-40А	40	34,97	40	367,08	400
СП2-20	28,5	99,65	498,25	ВА77С-125А	125	99,65	100	1046,3	1050
СП2-30,31,32,33	5	17,4	87,4	ВА51-31-1-25А	25	17,4	20	183,57	200
СП2-34	3	10,5	52,4	ВА51-31-1-25А	25	10,5	20	110,1	115
СП2-41,42	2,5	8,74	43,7	ВА51-31-1-10А	10	8,74	10	91,8	100
СП2-39,40	2,8	9,8	49	АЕ 2046М-25А	25	9,8	10	102,9	115
СП2-37,38	42	146,85	734,27	ВА77С-160А	160	146,85	150	1541,9	1600
СП3-35,36	3	10,5	52,4	ВА51-31-1-25А	25	10,5	20	110,1	115
СП3-43,44,45,46,47,48,49,50	12,5	43,7	218,5	ВА77С-50А	50	43,7	50	458,9	500
СП3-27,28,29	7,5	26,2	131,1	ВА77С-32А	32	26,2	30	275,35	300
СП3-18	10	34,9	174,8	ВА77С-63А	63	34,9	50	174,8	180
СП3-17,19	30	104,9	524,5	ВА77С-125А	125	104,9	110	1101,4	1120
СП4-1,2,3,4	32,5	114,4	572,2	ВА77С-125А	125	114,4	125	1201,6	1210
СП4-5,6,7,8	4,5	15,7	78,7	ВА77С-20А	20	15,7	20	165,2	170
СП4-9,10	50	174,8	874	ВА77С-200А	200	174,8	180	1836	1900

					ДП 2026 141				Арк.
									32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Вибір магнітних пускачів проводимо для вентиляторів. Струм даного електроприймача $I_m=3,9A$. В залежності від розрахункового значення струму обираємо магнітні пускачі першої величини (струм до 16 А).

Результати вибору магнітних пускачів наведені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4.-Результати вибору магнітних пускачів

Електроприймач	Розрахунковий струм, А	Тип пускача	Номінальна напруга котушки, В	Номінальний струм пускача, А	Струм теплового реле пускача, А
Вентилятор (5,6,7,8)	3,9	ПМ 12-010200	380	10	11

Підібрані теплові реле захищають електродвигун не тільки від перевантаження, а й від заклинювання ротора, перекосу фаз і від затягнутого пуску.

6.2.1 Розрахунок силової мережі цеху на допустиму втрату напруги

Перевіримо втрати напруги на найбільш віддаленому споживачеві СП1-ЕП-16:

$$\Delta U = \frac{P_{num} R_{num} + Q_{num} X_{num}}{U_{ном}} I$$

$$\Delta U_{ТП-ЕП-16} = \Delta U_{РП-СП-1} + \Delta U_{СП-1-ЕП-16};$$

$$\Delta U_{РП-СП-1} = \frac{20,64 * 0,276 + 39,33 * 0,07}{0,38} * 0,0103 = 2,3 \text{ В};$$

$$\Delta U_{СП-1-ЕП-16} = \frac{10,8 * 4,3 + 18,68 * 0,1}{0,38} * 0,0416 = 5,3 \text{ В};$$

$$\Delta U_{ТП-ЕП-16} = 2,3 + 5,3 = 7,6 \text{ В}$$

Для СП2

$$\Delta U_{ТП-СП-2} = \frac{76,54 * 0,35 + 73,2 * 0,07}{0,38} * 0,020 = 1,7 \text{ В};$$

$$\Delta U_{СП-2-ЕП-42} = \frac{0,75 * 7,3 + 1,3 * 0,1}{0,38} * 0,037 = 0,5 \text{ В};$$

$$\Delta U_{ТП-ЕП-42} = 1,7 + 0,5 = 2,2 \text{ В}$$

Для СП3

$$\Delta U_{ТП-СП-3} = \frac{29,46 * 0,35 + 50,91 * 0,07}{0,38} * 0,057 = 2 \text{ В};$$

						ДП 2026 141	Арк.
							34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$\Delta U_{\text{СП-3-ЕП-35}} = \frac{0,9 * 7,3 + 1,6 * 0,1}{0,38} * 0,023 = 0,4 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\text{ТП-ЕП-35}} = 2 + 0,4 = 2,4 \text{ В}$$

Для СП4

$$\Delta U_{\text{ТП-СП-4}} = \frac{113,9 * 0,35 + 114,95 * 0,07}{0,38} * 0,034 = 4,3 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\text{СП-4-ЕП-1}} = \frac{19,5 * 7,3 + 33,7 * 0,1}{0,38} * 0,009 = 3,5 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\text{ТП-ЕП-1}} = 4,3 + 3,5 = 7,8 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{ТП-ЕП-16}} = \frac{7,6}{380} * 100 = 2\% ;$$

$$\Delta U_{\text{ТП-ЕП-42}} = \frac{2,2}{380} * 100 = 0,6\% ;$$

$$\Delta U_{\text{ТП-ЕП-35}} = \frac{2,4}{380} * 100 = 0,6\% ;$$

$$\Delta U_{\text{ТП-ЕП-1}} = \frac{7,8}{380} * 100 = 2,1\% - \text{дана втрата напруги є допустима, оскільки}$$

відповідає вимогам ГОСТ 13.109-97 і становить <5%.

6.3. Розрахунок освітлювальної мережі цеху

Освітлювальна мережа механічного цеху мідноплавильного комбінату живиться від щитка робочого освітлення ЩО.

Вибір провідників для освітлювальних мереж проведений за умовою мінімуму витрати провідникового матеріалу. Освітлювальна мережа виконується однофазною.

Вибір перерізу провідників для кожного з ділянки проведемо за формулою:

$$F = \frac{M}{C \cdot \Delta U_{\text{доп}}},$$

де F – переріз даної ділянки мережі;

M - момент навантаження даної ділянки;

C – коефіцієнт, що залежить від матеріалу провідника, C =42 для алюмінію;

						ДП 2026 141	Арк.
							35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$\Delta U_{\text{доп}} = 4,3 \%$ - втрати напруги освітлювальної мережі, в залежності від потужності трансформатора (250 кВА), його коефіцієнта завантаження (0,6) і коефіцієнта потужності (0,85).

Визначаємо моменти навантаження ділянок освітлювальної мережі.

$$M_i = P_{\text{сві}} \cdot N_{\text{сві}} \cdot L_{\text{прив}},$$

де $P_{\text{св}}$ – потужність світильника, рівна потужності лампи.

$N_{\text{св}}$ – Число світильників на ділянці;

$$L_{\text{прив}} = L_{0i} + 0,5 \cdot L_i,$$

де L_{0i} – довжина від ЩО до першого світильника, м;

L_i – довжина від першого світильника до i -го світильника, м;

Визначаємо момент і переріз провідника на ділянці ЩО – 1:

$$M_{\text{ЩО-1}} = 0,065 \cdot 2 \cdot 36 \cdot (26 + 0,5 \cdot 94) = 341,64 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$F = \frac{341,64}{42 \cdot 4,3} = 1,9$$

Визначаємо струм для ділянок освітлювальної мережі:

$$I_p = \frac{P_{\text{осв}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{0,065 \cdot 2 \cdot 36}{0,22} = 21,3 \text{ А}$$

Приймаємо найближчий більший за стандартом переріз $2,5 \text{ мм}^2$. Вибираємо кабель АППВ 3х2,5.

Аналогічно робимо розрахунок для інших ділянок, розрахунки зводимо в таблицю 6.5.

Таблиця 6.5 - Вибір перерізу провідників для освітлення

Дільниця	М, кВт·м	Ip, А	Тип кабелю	Ідоп. А
ЩО-1	341,64	21,3	АВВГнг-3х2,5	27
ЩО-2	101,79	10,6	АВВГнг-3х2,5	27
ЩО-3	341,64	21,3	АВВГнг-3х2,5	27
ЩО-4	59,2	7,3	АВВГнг-3х2,5	27
ЩО-5	59,2	7,3	АВВГнг-3х2,5	27
РП-ЩО	854,47	38,9	АВВГнг-4х6	41

Від щитка освітлення відходять 5 групових ліній. 5 група – другий поверх допоміжних приміщень.

Отже, виходячи з розрахункових струмів вибираємо щиток освітлення типу ОЩВ6-УХЛ4, що має

										ДП 2026 141	Арк.
											36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

7. Техніко-економічне порівняння вибору трансформаторів цехової ТП

Потужність силових трансформаторів в нормальних умовах повинна забезпечувати живлення всіх електроприймачів цеху. Вибір потужності силових трансформаторів слід здійснювати з урахуванням економічно доцільного режиму їх роботи та відповідного забезпечення резервування живлення споживачів. Намічаються два варіанти числа і потужності трансформаторів. Номінальні параметри трансформаторів наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Номінальні параметри трансформаторів

Варіант	Тип	S_{H1} , кВА	U_1/U_2	ΔP_{xx} , кВт	ΔP_{k3} , кВт	I_{xx} , %	U_k , %	Кіл-ть
I	ТМ-250	250	10/0,4	0,65	3,9	0,9	4,5	2
II	ТМ-630	630	10/0,4	1,05	7,6	1,8	5,5	1

Варіант I

Коефіцієнт завантаження

$$\beta_1 = \frac{S_p''}{n_1 \cdot S_{H1}}$$

где S_{H1} - номінальна потужність трансформатора, кВА

$$\beta_1 = \frac{255,2}{2 \cdot 250} = 0,6$$

Втрати активної потужності:

$$\Delta P_I = n_I \cdot (\Delta P_{xxI} + \beta_I^2 \cdot \Delta P_{k3I}),$$

					ДП 2026 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Гарбарині Д.О.				Техніко-економічне порівняння вибору трансформаторів цехової ТП	Літер.	Арк.	Аркушів.
Перевір.	Копилова Л.О.						37	3
Реценз.	Красюк М.І.					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Н. Контр.								
Затверд.	Балюта С.М.							

де ΔP_I - втрати активної потужності, кВт;

n_I - кількість трансформаторів;

ΔP_{xxI} - втрати холостого ходу, Вт;

$\Delta P_{кз}$ - втрати короткого замикання, Вт

$$\Delta P_I = 2 \cdot (0,65 + 0,6^2 \cdot 3,9) = 5,66 \text{ кВт}$$

Втрати активної енергії за рік:

$$\Delta W_{\Gamma I} = n_I (\Delta P_{xxI} \cdot T_B + \beta_I^2 \cdot \Delta P_{кз I} \cdot \tau_H),$$

где $\Delta W_{\Gamma I}$ - втрати активної енергії за рік, кВт·год;

T_B - час увімкнення обладнання за рік, год;

τ_H - години втрати в режимі навантаження, год;

$$T_B = 3500 \text{ год [8]}$$

$$\tau_H = 700 \text{ год [8]}$$

$$\Delta W_{\Gamma I} = 2 \cdot (0,85 \cdot 3500 + 0,6^2 \cdot 3,9 \cdot 700) = 8722 \text{ кВт·год /рік}$$

Вартість втрат активної енергії за рік:

$$C_{nI} = t \cdot \Delta W_{\Gamma I},$$

где $t = 9,5$ грн/кВт·год - тариф на електричну енергію

$$C_{nI} = 9,5 \cdot 8722 = 82859 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати на придбання та монтаж трансформаторів

$$K_I = C_I \cdot n_I$$

где $C_I = 90000$ грн. - номінальна вартість трансформатора на момент установки з урахуванням монтажу.

$$K_I = 90000 \cdot 2 = 180000 \text{ грн.}$$

Приведені річні витрати

$$Z_{\Gamma I} = 0,15 \cdot K_I + C_{nI}$$

$$Z_{\Gamma I} = 0,15 \cdot 90000 + 82859 = 96,359 \text{ тис. грн.}$$

Аналогічно проводимо розрахунок другого варіанту: один трансформатор потужністю 630 кВА. Результати заносимо до таблиці 7.1.

						ДП 2026 141	Арк.
							38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

8. Розрахунок струмів короткого замикання

8.1. Розрахунок струмів КЗ на високій стороні

Розрахунок струмів КЗ виконаємо у відносних одиницях, для цього приймемо базисну потужність $S_{\sigma} = 1000 \text{ МВА}$. За базисну напругу приймаємо напругу ступеня, на якому виникає КЗ $U_{\text{сер}} = 10,5 \text{ кВ}$, $X_c = 15$.

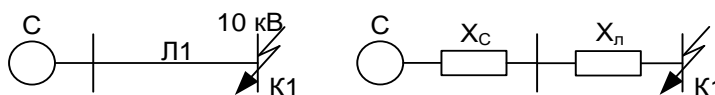


Рисунок 8.1. – Розрахункова схема та схема заміщення для розрахунку струму КЗ на стороні 10 кВ

На рисунку 8.1 показана схема заміщення системи електропостачання. За базовими значеннями потужності і напруги визначимо базовий струм:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА} .$$

Розрахуємо опори елементів кабельної лінії.

Для вибраної кабельної лінії ААБ 3х35 $X_0 = 0,894 \text{ Ом/км}$, $r_0 = 0,087 \text{ Ом/км}$; $l = 1,5 \text{ км}$ – відстань від ГПП до ТП [8].

$$X_{\text{л}} = X_0 l \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{сер}}^2} = 0,894 \cdot 1,5 \frac{1000}{10,5^2} = 12,16$$

$$R_{\text{л}} = R_0 l \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{сер}}^2} = 0,087 \cdot 1,5 \frac{1000}{10,5^2} = 1,2$$

Визначаємо результуючий опір:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{(X_c + X_{\text{л}})^2 + R_{\text{л}}^2} = \sqrt{(15 + 12,16)^2 + 1,2^2} = 27,6$$

Початкове діюче значення струму трифазного КЗ:

					ДП 2026 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гарбаринін Д.О.			Розрахунок струмів короткого замикання	Літер.	Арк.	Аркушів.
Перевір.		Копилова Л.О.					40	6
Реценз.		Красюк М.І.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

$$I_{no.C} = \frac{E_C''}{X_c} I_{\sigma} = \frac{1}{27,6} 55 = 2 \text{ кА}$$

Періодична складова струму від енергосистеми не змінюється, тому

$$I_{n.\tau.C} = I_{no.C} = 2$$

Розрахунковий час складає

$$\tau = t_{pz.min} + t_{B.B} = 0,01 + 0,105 = 0,115 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму КЗ при $t = \tau = 0,115 \text{ с}$ визначаємо:

$$i_{ax.C} = \sqrt{2} I_{no.C} \left(1 + e^{-\frac{\tau}{T_{oc}}} \right) = \sqrt{2} * 2 * e^{-\frac{0,115}{0,03}} = 0,056 \text{ кА}$$

де T_{oc} - постійна часу аперіодичної складової.

Визначаємо ударний струм КЗ

$$i_{y\delta.C} = \sqrt{2} I_{no.C} \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_{oc}}} \right) = \sqrt{2} * 2 \left(1 + e^{-\frac{-0,01}{0,03}} \right) = 3,61 \text{ кА}$$

Визначаємо тепловий імпульс:

$$B_K = I_{no.C}^2 (t_{відкл} + T_{oc}) = 2^2 (0,6 + 0,03) = 2,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де $t_{відкл} = t_{pz} + t_{ПВ} = 0,5 + 0,1 = 0,6 \text{ с}$ - час відключення КЗ.

8.2. Перевірка електроустаткування на термічну та динамічну стійкість дії струмів КЗ

Перевіримо вимикачі ВВ/TEL-10-12,5/630 У2, що встановлені на ГПП, на комутаційну здатність і стійкість до дії струмів КЗ.

Перевірку комутаційної здатності здійснюємо за умовами:

$$\begin{cases} I_{n.відкл} \geq I_{нт}, \\ \sqrt{2} I_{n.відкл} \left(1 + \frac{\beta_n}{100} \right) \geq \sqrt{2} I_{нт} + i_{ат}, \end{cases}$$

оскільки $\tau = 0,115 \text{ с} > 0,09 \text{ с}$, то приймаємо $\beta_n = 0$ і перевірку вимикача здійснюємо за наступними умовами:

						ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			41

$$\begin{cases} I_{н.відкл} \geq I_{нт}, \\ \sqrt{2}I_{н.відкл} \geq \sqrt{2}I_{нт} + i_{ат}, \end{cases}$$

$$\{I_{н.відкл} = 20кА \geq I_{нх} = 2кА$$

$$\sqrt{2}I_{н.відкл} = \sqrt{2} * 20 = 28,3кА \geq \sqrt{2}I_{нх} + i_{ах} = \sqrt{2} * 2 + 0,056 = 2,9кА$$

Умови перевірки обраного вимикача на комутаційну здатність виконуються.

Перевірку вимикачів на динамічну стійкість до дії струмів КЗ здійснюємо за умовами:

$$\begin{cases} i_{дин} \geq i_{уд}, \\ I_{дин} \geq I_{но}, \end{cases}$$

$$i_{дин} = 51кА \geq i_{уд} = 3,61кА$$

$$I_{дин} = 20кА \geq I_{но} = 2кА$$

Умови перевірки обраного вимикача на динамічну стійкість до дії струмів КЗ теж виконуються. Перевірку вимикачів на термічну стійкість до дії струмів КЗ здійснюємо за умовою:

$$I_T^2 t_T \geq B_K$$

$$I_T^2 t_T = 12,5^2 * 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \text{с} \geq B_K = 2,52 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Умови перевірки обраного вимикача на термічну стійкість до дії струмів КЗ виконуються також. Отже, даний тип вимикачів може бути використаний для встановлення на ГПП.

Перевіримо вибрані кабельні лінії, що відходять від ГПП до ТП, на термічну стійкість до дії струмів КЗ за умовою:

$$s_{ТП} = 35 \text{ мм}^2 \geq s_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T} = \frac{\sqrt{2,52 \cdot 10^3}}{92} = 17,3 \text{ мм}^2$$

де C_T - термічний коефіцієнт.

Умова перевірки кабельних ліній від ГПП до ТП на термічну стійкість до дії струмів КЗ виконується. Отже, кабельні лінії відповідають умовам перевірки.

					ДП 2026 141	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.3. Розрахунок струмів КЗ на напрузі 0,4 кВ

Розраховуємо струми КЗ на стороні 0,4 кВ.

Розрахункова схема та схема заміщення подані на рисунку 8.2.

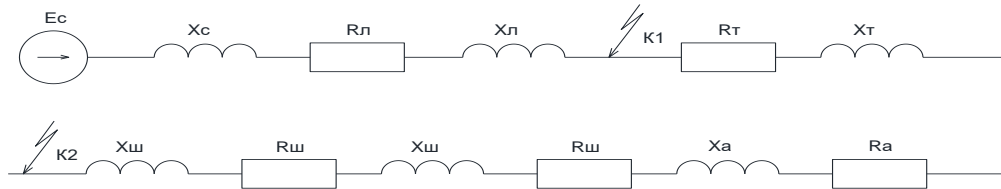


Рисунок 8.2 - Схема заміщення для розрахунку струму короткого замикання на напрузі 0,4 кВ

Визначимо максимальний струм трансформатора:

$$I_{\max} = \frac{1,4 * S_{\text{нтр}}}{\sqrt{3} * U_{\text{н}}} = \frac{1,4 * 250}{\sqrt{3} * 0,4} = 507,2 \text{ A}$$

Розрахунок струмів КЗ в точці К2 виконуємо в системі іменованих одиниць.

Опір схеми заміщення, приведеній до базисної напруги

$$X_c = \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{нотк}}} = \frac{400^2}{1000} = 0,62 \text{ МОм}$$

Знаходимо опір трансформатора:

$$U_{\text{кр}} = 100 \sqrt{\left(\frac{U_{\text{к}}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{\text{м}}}{S_{\text{н}}}\right)^2} = 100 \sqrt{0,045^2 - \left(\frac{3,9}{250}\right)^2} = 4,36$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кр}}}{100} * \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{н}}} = \frac{4,36}{100} * \frac{400^2}{250} = 27,9 \text{ МОм}$$

$$R_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{м}} \left(\frac{U_{\delta}}{S_{\text{н}}}\right)^2 = 3,9 * \left(\frac{400}{250}\right)^2 = 9,98 \text{ МОм}$$

Опір автоматичних вимикачів [6].

$$X_{\text{ав}} = 0,094 \text{ МОм}$$

$$r_{\text{ав}} = 0,12 \text{ МОм}$$

$$r_{\text{ка}} = 0,25 \text{ МОм}$$

$$r_{\text{кр}} = 0,15 \text{ МОм}$$

										ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							43

Визначаємо опір шин: $X_{\text{ош}}=0,163 \text{ мОм/м}$; $r_{\text{ош}}=0,099 \text{ мОм/м}$ [6], $L_{\text{ш}}=4\text{м}$.

$$X_{\text{ш}}=X_{\text{ош}} * L = 0,163 * 4 = 0,652 \text{ мОм};$$

$$r_{\text{ш}}=r_{\text{ош}} * L = 0,099 * 4 = 0,396 \text{ мОм}.$$

Опір трансформаторів струму

$$X_{\text{ТТ}}=0,07 \text{ мОм}$$

$$r_{\text{ТТ}}=0,05 \text{ мОм}.$$

Визначимо результуючий опір та струм короткого замикання в точці К2.

$$r_{\text{рез}} = r_{\text{ш}} + r_{\text{ТТ}} + r_{\text{а}} + r_{\text{ка}} + r_{\text{кр}} + r_{\text{ТТ}} = 0,396 + 9,98 + 0,094 + 0,25 + 0,15 + 0,05 = 10,92 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{рез}} = X_{\text{с}} + X_{\text{ш}} + X_{\text{ТТ}} + X_{\text{а}} + X_{\text{ТТ}} = 0,62 + 0,652 + 27,9 + 0,094 + 0,07 = 29,34 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} = \sqrt{10,92^2 + 29,34^2} = 31,3 \text{ мОм}$$

$$\text{Струм КЗ в точці К2: } I_{\text{к2}} = \frac{250}{\sqrt{3} * 31,3} = 4,6 \text{ кА}$$

Миттєве значення ударного струму:

$$i_{\text{у}} = \sqrt{2} * k_{\text{у}} * I_{\text{к}} = \sqrt{2} * 1,4 * 4,6 = 9,1 \text{ кА}$$

Потужність КЗ в точці К2

$$S_{\text{к2}} = \sqrt{3} * U_{\text{б}} * I_{\text{к2}} = \sqrt{3} * 0,4 * 4,6 = 3,2 \text{ МВА}$$

Відповідно до величини визначеного струму вибираємо трансформатори струму.

Трансформатори струму ТНШЛ – 0,66 $I_{\text{н}} = 300 \text{ А}$.

Шини АТ (60*6) мм² $I_{\text{доп}} = 1125 \text{ А}$.

Перевіряємо вибраний автоматичний вимикач ВА77В-1000А

$$I_{\text{отк}} = 31,5 \text{ кА} > i_{\text{уд}} = 9,1 \text{ кА}$$

$$I_{\text{н}} = 1000 \text{ А} > I_{\text{рмах}} = 290 \text{ А}$$

Уставки струму спрацювання захисту від короткого замикання 34,2 кА.

Для живлення електроспоживачів механічного мідно плавильного комбінату приймаємо двотрансформаторну підстанцію ТП-250/10 напругою 10/0,4 кВ, що призначена для прийому, розподілення електроенергії змінного трифазного струму промислової частоти 50 Гц в системах з глухозаземленою нейтраллю трансформатора. ТП призначені для сільськогосподарських

					ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		44

споживачів, окремих населених пунктів і невеликих промислових об'єктів в районах з помірним кліматом (від - 45°С до+ 45°С). Вид кліматичного виконання У1 по ГОСТ 15150.

					ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

9. Релейний захист та автоматика трансформаторів цехових ТП

Для захисту силових трансформаторів ТП використовуються наступні види захистів:

- струмова відсічка від міжфазних коротких замикань;
- максимальний струмовий захист від зовнішніх коротких замикань;
- максимальний струмовий захист від перевантажень.

Струмова відсічка

Первинний струм спрацьовування струмової відсічки визначається з умови надійної відстройки від КЗ на стороні низької напруги трансформатора.

$$I_{\tilde{n},\zeta} \geq \hat{E}_{\text{відн}} \cdot I_{\hat{A}I}^{(1) \text{ max}},$$

де $K_{\text{отс}} = 1,4$ - коефіцієнт відстройки [6].

$$I_{c.з} = 1,4 * 4600 = 6440A$$

$$I_{cp} = \frac{I_{c.з}}{K_m}$$

$$I_{c.p.} = \frac{6440}{300} = 21,5A$$

Приймаємо $I_{c.p.} = 22A$

Чутливість перевіряється при двофазному КЗ на початку лінії до трансформатора:

$$K_{ч.р.} > 1,5$$

$$K_{ч.р.} = \frac{I_{\kappa}^{(2)}}{I_{c.з}}$$

$$K_{ч.р.} = \frac{12230}{6440} = 1,9 > 1,5$$

					ДП 2026 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Релейний захист та автоматика трансформаторів цехових ТП	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Гарбаринін Д.О.						
Перевір.		Копилова Л.О.					46	3
Реценз.		Красюк М.І.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

Умова виконується.

Максимальний струмовий захист

Максимальний струмовий захист виконаний на реле типу РТ40. Контакти реле струму МТЗ захисного елемента в нормальному режимі роботи розімкнуті. При збільшенні струму в обмотці реле до певного значення реле спрацьовує і замикає своїми контактами ланцюг обмотки реле часу. Останнє приходить в дію і через встановлену на ньому витримку часу замикає контактами ланцюг - увімкненої котушки приводу вимикача.

$$I_{c.p} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сзп} \cdot I_{н max}}{K_{в} \cdot K_{т}}$$

$$I_{c.p} = \frac{1,2 \cdot 4 \cdot 290}{0,85 \cdot 300} = 5,5 A$$

Приймаємо, $I_{c.p} = 6 A$.

де $K_{отс} = 1,2$ - коефіцієнт відстройки [6];

$K_{сзп} = 4$ - коефіцієнт самозапуску електродвигунів [6];

$K_{в} = 0,85$ - коефіцієнт повернення реле [6].

Чутливість перевіряється при КЗ на виводах нижчої напруги трансформатора:

$$K_{ч.р} \geq 1,2$$

$$K_{ч.р} = \frac{I_{к}^{(2)}}{K_{т} \cdot I_{c.p}} > 1,2$$

$$K_{ч.р} = \frac{6440}{300 \cdot 5,5} = 3,9 > 1,2$$

Умова виконується.

Захист від перевантаження

					ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Захист трансформатора від перевантаження виконується максимально струмовим захистом з одним струмовим реле в одній фазі трансформатора, так як перевантаження як правило симетричні.

Захист від перевантаження діє через реле часу на сигнал.

$$I_{c.p.} = \frac{K_n \cdot K_{cx} \cdot I_{н1}}{K_\epsilon \cdot K_m}$$
$$I_{c.p.} = \frac{1,4 \cdot 1 \cdot 290}{0,85 \cdot 300} = 1,6 A$$

Приймаємо $I_{c.p.} = 1,6 A$.

Застосування пристроїв автоматизації на підстанціях підвищує надійність роботи систем електропостачання, дає можливість застосовувати більш прості схеми, покращує якість електроенергії та оперативність управління системами електропостачання.

Безперебійність електропостачання споживачів в електричних системах забезпечується не тільки пристроями релейного захисту, але і системами протиаварійної автоматики.

При проектуванні підстанцій для безперебійного електропостачання, застосовують пристрій автоматичного включення резерву (АВР), автоматичне повторне включення (АПВ), автоматичне частотне розвантаження (АЧР), автоматичне регулювання напруги.

АВР повинно відповідати наступним вимогам:

а) діяти у всіх випадках зникнення напруги на шинах, в тому числі і при коротких замиканнях, оскільки короткі замикання можуть самоліквідуватися після зняття напруги з шин;

б) для запобігання включення на пошкоджене джерело живлення, останній повинен бути вимкнений до включення резервного джерела живлення;

в) для скорочення часу перерви живлення споживачів резервне джерело живлення повинно включатися одразу після вимкнення робочого джерела;

					ДП 2026 141	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

г) увімкнення резервного джерела повинно бути одноразовим, щоб при включенні на коротке замикання на шинах, резервне джерело відключалося релейного захистом без подальшого увімкнення;

д) АВР повинно включатися лише в тому випадку, якщо джерело живлення готове прийняти на себе навантаження. Зазвичай умова готовності резервного джерела контролюється наявністю на ньому напруги.

Автоматичне повторне увімкнення вимикача повинно здійснюватися після неоперативного відключення вимикача, за винятком випадку відключення від релейного захисту приєднання, на якому встановлено пристрій АПВ, безпосередньо після включення вимикача оперативним персоналом або засобами телеуправління, після дії захистів від внутрішніх пошкоджень трансформаторів або пристроїв протиаварійної системи автоматики. Час дії АПВ повинно бути не менше необхідного для повної деіонізації середовища в місці короткого замикання і для підготовки приводу вимикача до повторного увімкнення, а також має бути узгоджене з часом роботи інших пристроїв

						ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			49

10. Облік електроенергії

Вирішення питання раціональної організації обліку витрати енергоресурсів на промислових підприємствах можливо лише на основі системного підходу, в комплексі з іншими елементами раціональної організації енерговикористання (впорядкуванням і аналізом енергобалансів підприємства, окремих цехів і найбільше енергоємних агрегатів, розробкою і проведенням організаційно-технічних заходів щодо поліпшення енерговикористання; організацією діючої системи матеріального заохочення за раціональне використання й економію енергії).

Одержання достовірної інформації вимагає визначених витрат, що збільшуються зі збільшенням об'єму інформації і швидкості доставки. Якщо інформація необхідна з метою підтримки параметрів електроспоживання для забезпечення надійної роботи енергосистеми, швидкість її доставки повинна бути максимальної і якість інформації досить вірогідною для ухвалення рішення оперативного впливу на систему.

В системі електропостачання, що проектується, є необхідність вимірювання параметрів режиму. Перш за все необхідно виконувати вимірювання на трансформаторній підстанції. Вимірюванню підлягають величини струму, напруги, активної та реактивної енергії. Амперметри, які використовуються для вимірювання струму, включаються через трансформатори струму. До цих же трансформаторів струму повинні бути підключені також і струмові обмотки лічильників активної та реактивної енергії. Вольтметр на низькій стороні трансформаторів може бути підключено безпосередньо.

					ДП 2026 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Облік електроенергії	Літер.	Арк.	Аркушів.
Розроб.		Гарбаринін Д.О.						
Перевір.		Копилова Л.О.					50	6
Реценз.		Красюк М.І.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

Багатофункціональний електронний лічильник електроенергії СЕ 304 є трифазним, універсальним трансформаторного або прямого включення (залежно від варіанту виконання) і призначений для вимірювання активної та реактивної електричної енергії, активної, реактивної і повної потужності, енергії питомих втрат, частоти напруги, кута зсуву фаз, середньоквадратичного значення напруги і сили струму в трифазних чотирипровідних ланцюгах змінного струму та організації багатотарифного обліку електроенергії.

Багатофункціональний лічильник СЕ 304 є представником нової серії мікропроцесорних приладів для обліку електроенергії та контролю за її якістю в мережах низької та високої напруги, розроблені із застосуванням спеціальних мікроелектронних компонентів. Це гарантує високу надійність приладів і точність вимірювань, що особливо важливо для приладів, розрахованих на роботу в складі автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем обліку і контролю енергоресурсів. Основним призначенням приладів СЕ 304 є вимірювання параметрів електричної мережі й облік активної, реактивної і повної енергії в чотирьох тарифних зонах у складі сучасних АСКОЕ.

Особливості даних лічильників:

- паралельна робота по двом інтерфейсам;
- наявність IrDA-каналу передачі даних;
- до 16 незалежних профілів параметрів з різним інтервалом усереднення;
- зберігання профілів навантажень;
- облік втрат в лініях електричної мережі;
- реле управління навантаженням;
- стійкість до кліматичних, механічних і електромагнітних впливів.

						ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			51

Функціональні можливості відповідають вимогам європейських стандартів, ДСТУ та ГОСТ.

Для підключення до системи АСКОЕ в лічильниках передбачені інтерфейсні виходи: RS-232, RS-485, «струмова петля». Електронний лічильник із вбудованим мікроконтролером вимірює, обробляє, відображає на ЖКД й передає на зовнішні обладнання напругу, струм, потужність, енергію, cos і частоту мережі. Параметризація й збір показань лічильника здійснюється персональним комп'ютером через оптичний інтерфейс. Інтерфейси "струмова петля" дозволяють одержувати дані через двухпровідні лінії зв'язку, включаючи міжмодемний телефонний зв'язок". На рисунку 10.1 показано зовнішній вигляд лічильника електроенергії СЕ 304.



Рисунок 10.1. - Зовнішній вигляд лічильника електроенергії СЕ 304

Дані лічильники електричної енергії забезпечують високоточне вимірювання, обчислення, відображення, зберігання та передачу великої кількості електричних величин, що характеризують роботу приєднань трифазного змінного струму електричних станцій, розподільчих підстанцій всіх класів напруги, великих і дрібних споживачів. Виконують багатотарифний інтервальний облік електроенергії у двох напрямках, контролює показники якості електроенергії, проводить моніторинг положення комутаційних апаратів та стану релейних захистів приєднання, а також

									ДП 2026 141	Арк.
										52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

забезпечують прийом і виконання команд диспетчерського управління комутаційними апаратами приєднання.

Лічильник забезпечує облік і виведення на індикацію: кількість спожитої і відпущеної активної (реактивної) електроенергії з наростаючим підсумком сумарно і роздільно за чотирма тарифами; кількість спожитої і відпущеної активної (реактивної) електроенергії за поточний і минулі 12 місяців окремо за чотирма тарифами; кількість спожитої і відпущеної активної (реактивної) електроенергії за поточні і минулі 45 діб роздільно за чотирма тарифами; активних потужностей, усереднених на заданому інтервалі часу, в кожному напрямку обліку електроенергії; чинного тарифу та напрямки електроенергії (відпустка, споживання); енергії втрат у ланцюгах струму наростаючим підсумком для кожного напрямку електроенергії.

Характеристики надійності:

- середнє спрацювання до відмови - 120000 годин;
- термін служби - 30 років;
- міжповірочний інтервал - 8 років.

Гарантійний термін (термін зберігання та термін експлуатації сумарно) - 4 роки з дати випуску.

В багатофункціональному лічильнику передбачений обмін інформацією з зовнішніми пристроями обробки даних через оптичний або інфрачервоний порт і / або 1 або 2 незалежно працюючих інтерфейсу EIA485, EIA232, ИРПС, CAN, а також через GSM-модем і радіо модем, можливість перевірки порогу чутливості.

Лічильник CE 304 вимірює електричну енергію. Параметри, розрахунок яких забезпечується тарифним модулем, зведені в таблицю 10.1.

						ДП 2026 141	Арк.
							53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 10.1.- Функціональні можливості лічильника

Найменування параметра	Кількість параметрів
Витрата сумарної (активної і реактивної, прямої і зворотної) енергії з моменту включення лічильника наростаючим підсумком.	4
День тижня, дата, діюча тарифна зона і час (години, хвилини, секунди), стан реле. -	-
Поточні активна і реактивна миттєві потужності.	2
Витрата сумарної енергії по тарифних зонах наростаючим підсумком	16
Витрата сумарної енергії і по тарифних зонах за поточну добу і 63 попередніх діб	1280
Витрата сумарної енергії і по тарифних зонах за поточний місяць і 2 попередніх місяця.	60
Витрата сумарної енергії і по тарифних зонах за поточний і попередній рік.	40
Значення максимальних усереднених потужностей за поточну добу і за 63 попередніх діб по кожній тарифній зоні і підсумкові.	1280
Значення півгодинних потужностей за поточні і попередні 40 діб.	7872
Значення усереднених за хвилину потужностей за останню годину по кожному виду енергії.	(240) (20)
Дата, час включення/виключення живлення, з фіксацією відключення однієї або двох фаз	100 (80)
Дата параметризації.	20
Дата переходу на нову параметризацію	1
Діючі фазні (лінійні) напруги, діючі фазні струми, $\cos \varphi$ по кожній фазі, потужності по кожній фазі.	18
Перша гармоніка фазної (лінійної) напруги, струму, коефіцієнт несинусоїдальності напруги, струму, зсуву фаз між струмом і напругою.	12
Повна потужність трифазної системи	1
Симетричні складові трифазної системи.	11
Частота напруги мережі	1

Лічильник забезпечений автономними годинниками, які показують поточні час (година, хвилини, секунди) і дату (рік, місяць, день місяця і тижня), формує сигнали управління, відповідні часу дії 4-х тарифних зон. При вимкненій мережі годинник працює не менше 10 років (при цьому час

										ДП 2026 141	Арк.
											54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

11. Характеристики показників якості електричної енергії

Для нормалізації параметрів якості електроенергії важливе значення має організація апаратного контролю показників якості електроенергії (ПЯЕ), організаційний і економічний механізм впливу на винуватця погіршення якості електроенергії, розробка методів та технічних способів усунення спотворень. В силу взаємного впливу споживачів одного на іншого важливе значення має вірне формулювання умов приєднання до мережі нових споживачів.

Основні стандарти, що визначають вимоги до якості електроенергії:

ДСТУ EN 50160: Визначає характеристики напруги в мережах загального призначення, включаючи відхилення, частоту, змінання, гармоніки, небаланс, та тимчасові відхилення, що є основним орієнтиром для постачальників енергії;

ДСТУ EN 62586 (Part 1 & 2): Стосується приладів для вимірювання якості електроенергії (PQI) та функціональних випробувань, забезпечуючи точність вимірювань;

серія ДСТУ ІЕС 61000: Фокусується на електромагнітній сумісності (ЕМС) і встановлює норми якості електроенергії для систем загального постачання, як-то ДСТУ ІЕС 61000-2-4;

Кодекс систем розподілу (КСР) та СОУ НЕК: Визначають критерії та показники якості електроенергії для українських мереж, регулюючи такі параметри, як частота (50 Гц), номінальна напруга (230 В), провали/перенапруги та флікери..

Якість електричної енергії та основні неполадки живлення, які становлять небезпеку для роботи електрообладнання.

					ДП 2026 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Гарбаринін Д.О.			Облік електроенергії	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Котилова Л.О.					56	5
<i>Реценз.</i>		Красюк М.І.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		Балюта С.М.						

Якість електричної енергії - це ступінь відповідності фактичних значень параметрів електричної енергії встановленим ГОСТ 13109-97 значенням, основні з яких наведено нижче у таблиці 11.1.

Проблеми живлення - будь-які відхилення параметрів напруги від встановлених стандартом значень якості електроенергії.

Основні неполадки живлення, які становлять небезпеку для роботи електрообладнання відповідно наведеної класифікації (у дужках наведені найбільш поширені англійські еквіваленти) відображає вимоги міжнародного стандарту ДСТУ EN 62586.

Таблиця 11.1 Параметри електричної енергії

Найменування показника	Допустиме значення показника	
	нормальне	граничне
Відхилення напруги	$\pm 5_{-}^{**}$	$\pm 10^{*}$
Доза флікера, відн. од.: короткочасна тривала		1,38 1,00
Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги, %, не більше,	8	12
Коефіцієнт гармонійної складової напруги непарного (парного) порядку, %, не більше	5 (2)	7,5 (3)
Несиметрія напруги, %	2	4
Тривалість провалу напруги, с		30
Відхилення частоти, Гц	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$

1. Зникнення напруги (Power Failure, Loss of Voltage) - відсутність напруги в електромережі протягом більше двох періодів (40 мс). Наслідками зникнення напруги можуть бути: втрата, пошкодження даних на серверах і поточної інформації на робочих станціях, пошкодження файлової системи, порушення технологічного процесу, вихід з ладу апаратури.

2. Провал напруги (Power Sag, Voltage Dip) - раптове зниження напруги в електричній мережі нижче величини 90% від номінального значення, за яким слідує відновлення напруги до початкового або близького до нього рівня за проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд. Причиною

провалу напруги можуть бути: включення енергоємного обладнання, запуск потужних електродвигунів, робота зварювальних апаратів і т.д. Можливі наслідки: скидання оперативної пам'яті; виникнення помилок, вихід з ладу апаратури, мерехтіння освітлення.

3. Перенапруга (Power Surge, Over Voltage) - раптове підвищення напруги в електричній мережі вище величини 110% від номінального значення, за яким слід відновлення напруги до початкового або близького до нього рівня за проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд. Причиною виникнення перенапруг може бути відключення енергоємного обладнання. Можливі наслідки: скидання оперативної пам'яті; виникнення помилок, вихід з ладу апаратури, мерехтіння освітлення.

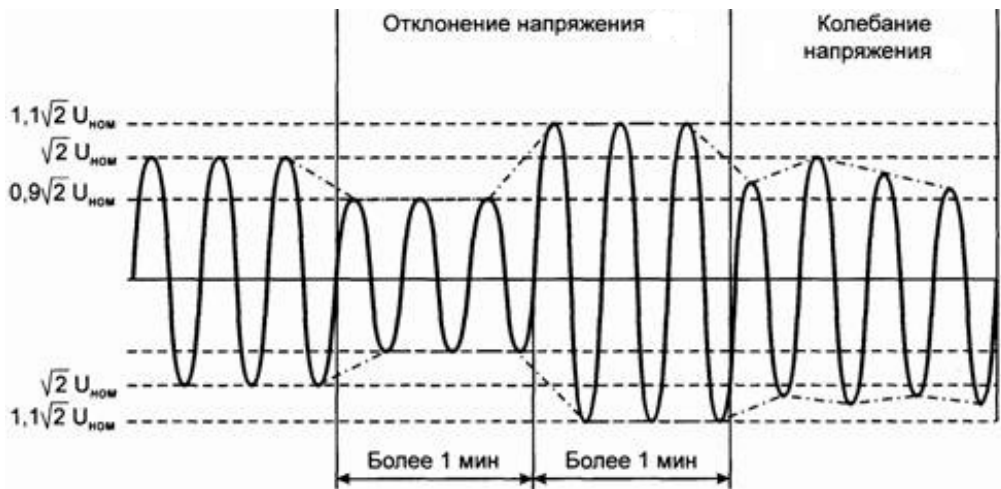


Рисунок 11.1 Відхилення та коливання напруги

4. Відхилення напруги (Brownout, Voltage Deviation) - відхилення (зниження / підвищення) напруги в мережі від допустимих стандартом значень на тривалий час (більше десятків секунд). Виникає зазвичай через зростання споживання електроенергії в певні періоди часу при обмеженій потужності джерела електроенергії або довгих лініях електроживлення. Можливі негативні наслідки: додаткові втрати потужності в стабілізаторах, скорочення терміну служби блоків живлення, збої у виконанні програм.

5. Електромагнітна перешкода (Electrical Line Noise) - виникнення у мережі високочастотних імпульсів, що накладаються на синусоїдальну форму

напруги. Основними причинами виникнення електромагнітних перешкод є робота потужних електродвигунів, перемикання релейної апаратури і силової комутаційної електроніки, мовлення суміжних станцій, магнітні бурі. Можливі наслідки - виникнення помилок, скидання оперативної пам'яті, "зависання" операційної системи, вихід з ладу накопичувачів на жорстких дисках

6. Імпульс напруги (High Voltage Spikes, Voltage Impulse) - це короткочасне перевищення напруги вище 110% від номінального значення тривалістю 10-50 мкс (з часом фронту імпульсу 1-10 мкс). При цьому, амплітуда імпульсів перенапруги може досягати величин 6000 В. Причиною їх появи можуть бути удари блискавок, розряди статичної електрики. Такі високовольтні імпульси з дуже крутим переднім фронтом без перешкод минають захисні фільтри блоків живлення ПЕОМ і потрапляючи в ланки системних плат, викликають скидання оперативної пам'яті і вихід з ладу мікросхем.

7. Відхилення частоти (Frequency Variations, Frequency Deviation) - відхилення частоти на величину більше 0,2 Гц від номінального значення (50 Гц). Причиною появи можуть бути: нестабільність джерела електроенергії, нестабільність частоти обертання ротора дизель-генератора. Можливі наслідки: перегрів і вихід з ладу блоків живлення, «зависання» операційної системи, програмні збої, втрата даних.

8. Тимчасова перенапряга (Switching Transient) - це короткочасне перевищення напруги вище 110% від номінального значення тривалістю 1000-5000 мкс. При цьому, амплітуда імпульсів перенапруги може досягати величин 4500 В. Причиною їх появи є комутаційні процеси потужнострумових ланцюгів електропостачання, іскріння комутаційних апаратів. Можливі наслідки: скидання оперативної пам'яті і вихід з ладу мікросхем.

9. Несинусоїдальність напруги (Harmonic Distortion) - характеризується двома основними показниками: а) коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги (струму) - відношення діючих значень суми вищих гармонік

						ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			59

напруг (струмів) до діючого значення напруги (струму) основної гармоніки або у спрощеному варіанті до номінальної напруги (струму).

Коефіцієнтом гармоніки напруги (струму) - відношення діючого значення аналізованої гармоніки напруги (струму) до діючого значення змінної напруги (струму) або у спрощеному варіанті до номінальної напруги (струму). Крім перерахованих використовуються такі показники якості електроенергії, як: коефіцієнти форми і амплітуди кривих змінної напруги (струму), гармоніка напруги (струму), джерело гармонік напруги, струму (Source of Harmonic Voltage, Current), гармонійний резонанс (Harmonic Resonance). Небезпеку для електрообладнання представляють спотворення синусоїдальності кривої напруги більше 8% або наявність в кривій напруги гармонійних складових напруги непарного (парного) порядку, з коефіцієнтом гармонік більше 5%.

Причиною їх появи є наявність споживачів з нелінійним навантаженням, таких як комп'ютери, тиристорні перетворювачі і т.п. При цьому поряд із спотворенням відбувається генерування значного потоку реактивної потужності в зовнішню електромережу, що погіршує якість роботи інших споживачів електроенергії та вимагає використання пристроїв автоматичної компенсації реактивної потужності або інших пристроїв, що коректують форму вхідного струму.

										ДП 2026 141	Арк.
											60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

12. ОХОРОНА ПРАЦІ

Дослідження та розв'язання питань, пов'язаних із забезпеченням здорових і безпечних умов праці, в яких здійснюється виробнича діяльність за участю людини, є одним із найважливіших завдань під час розроблення сучасних технологій і виробничих систем. Аналіз та виявлення можливих причин виробничого травматизму, професійних захворювань, аварій, вибухів і пожеж, а також розроблення заходів і вимог, спрямованих на усунення цих причин, дають змогу сформуванню безпечні та сприятливі умови праці для працівників.

12.1. Безпека праці при виконанні електромонтажних робіт

Безпека праці в механічному цеху Коростенського заводу хімічного машинобудування є складовою частиною загальної системи заходів з охорони праці, спрямованих на створення здорових, раціональних і безпечних умов праці на виробництві. До комплексної системи охорони праці, окрім заходів безпеки, також належать виробнича санітарія та норми трудового законодавства. Вони охоплюють вимоги до рівнів освітленості робочих місць, організації вентиляції, розмірів проходів між працюючим обладнанням, конструкції шаф для зберігання спеціального одягу, наявності душових і умивальників, а також інші умови, що сприяють поліпшенню виробничого середовища.

Забезпечення повної безпеки працівників також включає впровадження протипожежних заходів, які регламентуються відповідними правилами та нормативними вимогами.

Електромонтажний персонал повинен чітко знати та неухильно дотримуватися правил техніки безпеки під час виконання різних видів робіт.

					ДП 2026 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гарбаринін			Охорона праці	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Сірик А.О.					61	11
Реценз.		Красюк М.І.				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

У процесі трудової діяльності електромонтажники працюють в умовах переміщення мостових кранів з великогабаритними та важкими вантажами, перебувають у безпосередній близькості до електроустановок, а також у виробничих приміщеннях з можливими виділеннями токсичних парів або з підвищеним рівнем пожежної небезпеки.

Працівники заводу хімічного машинобудування зобов'язані пройти інструктаж щодо загальних правил безпеки праці, правил електробезпеки, поведінки на робочому місці при монтажі електрообладнання та внутрішнього трудового розпорядку. Забороняється перебувати під піднятим вантажем або на шляху його переміщення, проходити або перебігати попереду автокарів, вагонеток та візків у русі, перелазити через конвеєри та рольганги або підлізати під них, заходити за огороження машин і механізмів, а також торкатися рухомих частин обладнання.

У вечірній та нічний час проходи та робочі місця повинні бути належним чином освітлені. У небезпечних зонах обов'язково розміщуються попереджувальні та заборонні плакати.

Електроустановки та пристрої механічного цеху повинні перебувати у справному стані. Для цього відповідно до правил експлуатації їх необхідно регулярно перевіряти. Не струмопровідні частини, на яких може з'явитися напруга у разі пошкодження ізоляції, повинні бути надійно заземлені. Забороняється торкатися електропроводки, затискачів, корпусів працюючих машин, апаратів та електрошаф.

Проводити роботи або випробування електрообладнання, апаратів чи їх вузлів, що перебувають під напругою, забороняється при відсутності або несправності засобів захисту, блокувань огорожень чи заземлювальних кіл. Для місцевого переносного освітлення слід використовувати переносні світильники з лампами напругою 12 В. Користування несправним або неперевіреним електроінструментом, таким як електросвердлильні машини, паяльники, зварювальні та інші трансформатори, забороняється.

									Арк.
									62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДП 2026 141

У приміщеннях із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом роботи виконуються з особливими заходами обережності. Велику увагу приділяють застосуванню засобів індивідуального захисту, до яких належать діелектричні рукавиці, боти, калоші, килимки, ізолюючі підставки та інструмент із ізольованими ручками.

Основні вимоги з техніки безпеки при монтажі силових електроустановок у механічному цеху:

1) Транспортування та розвантаження обладнання. Електричні машини, деталі та пускозахисну апаратуру необхідно транспортувати, розвантажувати та встановлювати з використанням механізмів і підйомних пристроїв.

2) Заборона скидати обладнання. Розвантаження шляхом скидання машин та апаратів забороняється, незалежно від прийнятих заходів для запобігання пошкодженням обладнання або травмам працівників.

3) Стропування обладнання. Під час підйому стропування слід виконувати за рим-болти, призначені для цієї мети, а у разі їх відсутності – за раму або несучу конструкцію.

4) Робота на піднятому обладнанні. Виконувати будь-які роботи на деталях машин у піднятому стані категорично забороняється.

5) Переміщення електромашин та апаратів. Переміщення машин і апаратів вагою до 300 кг дозволяється лише з використанням лебідок, талей, кранів, автонавантажувачів та інших механізованих засобів.

6) Чистка та обробка деталей. Чистка і промивання частин машин і апаратів спиртом, бензином або гасом, а також покриття обмоток лаком повинні проводитися тільки при наявності вентиляції або на відкритому повітрі. Під час цих робіт категорично забороняється використання відкритого вогню поблизу робочого місця.

7) Перевірка конструкцій перед встановленням. Перед монтажем електромашин та апаратів необхідно перевірити міцність фундаментів та конструкцій, на яких вони будуть встановлені. Встановлення невеликих

					ДП 2026 141	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

машин або апаратів вагою до 50 кг на низькі фундаменти допускається вручну, але виконувати його повинні щонайменше двоє працівників.

8) Закріплення обладнання. Після підняття та встановлення машин і апаратів їх слід одразу закріпити на фундаменті або конструкції. Залишати обладнання незакріпленим забороняється.

9) Підготовка до пробного пуску. Перед пробним пуском необхідно перевірити надійність кріплення фундаментних гвинтів та інших елементів обладнання, відсутність сторонніх предметів всередині машин, наявність заземлення, а також огорож рухомих частин.

10) Виправлення дефектів під час випробувань. Якщо під час випробування виявляються дефекти чи неполадки, електродвигун слід вимкнути, а на вимикаючих апаратах вивісити попереджувальний плакат: «Не вмикати – працюють люди».

12.2. Безпека праці при роботі з електроінструментом

Застосування електроінструменту визначається категорією приміщення за ступенем небезпеки ураження електричним струмом, яка зазначається на дверях. Для будівельно-монтажних робіт дозволяється використовувати інструмент класів II та III лише з індивідуальними засобами захисту.

Робота на відкритому повітрі дозволяється лише інструментом, захищеним від вологи (маркування – «крапля в трикутнику» або «дві краплі»). Інструмент без маркування можна застосовувати тільки в суху погоду або під навісом у дощ та сніг.

Перед початком роботи необхідно перевірити освітлення робочого місця та при потребі використовувати переносний світильник із захисною сіткою, рефлектором і гачком, переконавшись у справності його проводу. У приміщеннях підвищеної небезпеки застосовуються світильники до 42 В, в особливо небезпечних приміщеннях і на відкритому повітрі – до 12 В.

Перед підключенням інструменту слід перевірити затягування гвинтів, стан проводу, відсутність зовнішніх пошкоджень ізоляції та жил, справність

					ДП 2026 141	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12.3. Електробезпека приміщення

Електрообладнання електромашин, електротеплових, освітлювальних та інших установок має експлуатуватися з дотриманням вимог електробезпеки відповідно до Правил технічної експлуатації електроустановок у приміщеннях із підвищеним ризиком ураження електричним струмом. Апарати керування та захисту повинні застосовуватися лише у закритому виконанні. Корпуси електромашин, ручного електроінструменту, кожухи розподільчих щитів, рубильників, електромагнітних пускачів, вимикачів, освітлювальної арматури, металева оболонка кабелів, труби для прокладки проводів та інші струмопровідні елементи повинні бути надійно заземлені.

Своєчасне проведення планово-попереджувального обслуговування електрообладнання, електропроводки та заземлення, а також використання засобів індивідуального захисту є основою забезпечення електробезпеки.

У приміщенні електрощитової механічного цеху Коростенського заводу хімічного машинобудування, відповідно до правил технічної експлуатації та вимог техніки безпеки, повинні бути наявні всі необхідні засоби захисту, перелік яких наведено в табл. 12.1.

Таблиця 12.1

Засоби захисту

№ п/п	Засоби захисту	Кількість	Одиниця вимірювання
1	Ізольовані кліщі на напругу до 1000 В	1	шт.
2	Електровимірювальні кліщі	За місцевими умовами	
3	Інструменти з ізольованими рукоятками	1	комплект
4	Переносні заземлення	За місцевими умовами але не менше 2	шт.
5	Діелектричні килими та ізольовані накладки	За місцевими умовами	
6	Плакати і знаки безпеки	За місцевими умовами	
7	Захисні каски	1 на кожного працівника	шт.
8	Респіратор	2	шт.
9	Захисні каски	2	шт.
10	Діелектричні рукавички	2	шт.
11	Діелектричне взуття	2	шт.

										Арк.
										66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ДП 2026 141

12.4. Пожежна безпека

Відповідальність за забезпечення пожежної безпеки в механічному цеху Коростенського заводу хімічного машинобудування покладається на керівників цеху. Найпоширенішими причинами пожеж у приміщеннях заводу є недбале поводження з вогнем, куріння в невідведених місцях, іскроутворення, несправність електрообладнання та короткі замикання.

Для куріння мають бути визначені спеціальні місця, обладнані необхідним протипожежним інвентарем. Протипожежні розриви між будівлями не можна використовувати для складування кормів або інших матеріалів. Проходи, виходи, коридори та тамбури повинні постійно утримуватися в справному стані. Ворота та двері повинні відкриватися назовні та закриватися лише за допомогою крічків або засувів, використання замків забороняється.

Кожен працівник цеху зобов'язаний знати свої дії у разі пожежі.

Причини пожеж на промислових підприємствах, як правило, пов'язані з експлуатацією електроустановок. Пожежі можуть виникати через тривалі перевантаження, перегрів або загорання ізоляції, короткі замикання, пробої обмоток на корпус та високий перехідний опір у точках приєднання проводів до електричних машин.

Рівень пожежної небезпеки приміщень залежить від експлуатації електричних машин та мереж. Основними причинами пожеж від електроустановок є короткі замикання, невідповідність апаратів захисту вимогам експлуатації та перевантаження мережі.

Головним заходом запобігання пожежам від електроустановок є суворе дотримання правил монтажу та експлуатації електрообладнання.

У цеху необхідно організувати два пожежні пости з повним комплектом інвентарю (див. табл. 10.2) та створити добровільну пожежну дружину.

					ДП 2026 141	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік інвентарю для гасіння пожежі

№ п/п	Назва інвентарю	Кількість	Одиниця випромінювання
1	Лопата	2	шт.
2	Відро	2	шт.
3	Сокира	1	шт.
4	Вогнегасник порошковий	2	шт.
5	Рухома насосна установка	1	шт.
6	Дзвін або рейка	1	шт.
7	Ящик із піском	1	шт.
8	Бак із водою об'ємом 250 л	1	л

12.5. Покращення умов праці на підприємстві за допомогою впровадження технологій Blockchain

Впровадження технологій Blockchain на підприємствах, у тому числі в енергетиці та промисловості, відкриває нові можливості для підвищення безпеки, прозорості та ефективності робочих процесів, що безпосередньо впливає на умови праці. Основні напрямки покращення умов праці можуть включати:

Завдяки прозорому та незмінному запису даних про технологічні процеси, стан обладнання та дотримання процедур безпеки, Blockchain дозволяє своєчасно відстежувати потенційні ризики. Наприклад, у електроустановках або на промислових підприємствах робітники можуть отримувати автоматичні повідомлення про небезпечні ситуації чи перевантаження систем, що зменшує ймовірність аварій та травм.

Завдяки використанню розумних контрактів (smart contract) можна автоматизувати контроль за виконанням норм праці, робочих інструкцій та процедур безпеки. Це знижує паперову роботу та дозволяє працівникам більше часу приділяти безпечному виконанню своїх обов'язків.

Використання Blockchain забезпечує надійний облік робочих годин, завдань та дотримання нормативів безпеки. Працівники можуть контролювати

					ДП 2026 141	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

власні показники та перевіряти правильність нарахування зарплати або бонусів, що підвищує соціальну захищеність і знижує конфліктність на робочому місці.

За допомогою Blockchain можна створювати безпечні цифрові платформи для взаємодії між підрозділами підприємства, забезпечуючи оперативний обмін даними та прогнозування навантажень. Це дозволяє більш ефективно планувати роботу персоналу, уникати перевантажень та стресових ситуацій.

Blockchain може зберігати сертифікати про проходження навчання, інструктажів з безпеки та кваліфікаційні допуски. Це дозволяє роботодавцю та працівникам мати точну і прозору інформацію про рівень підготовки кожного співробітника, що безпосередньо впливає на безпечні умови праці.

У поєднанні з IoT Blockchain забезпечує віддалене спостереження за станом обладнання, виконанням технологічних процедур та дотриманням стандартів безпеки. Це зменшує ризик для працівників у небезпечних зонах і сприяє впровадженню принципів «розумного підприємства».

12.6. Розрахунок захисного заземлення

Розрахуємо заземлення для стаціонарної установки механічного цеху, заземлювачі якої розміщені в один ряд і занурені в ґрунт на глибину $h_3 = 0,8$ м (рис. 12.1). Заземлювачі виготовлені у вигляді труб довжиною 4 м та діаметром 5 см, з'єднані між собою металевою смугою шириною 5 см.

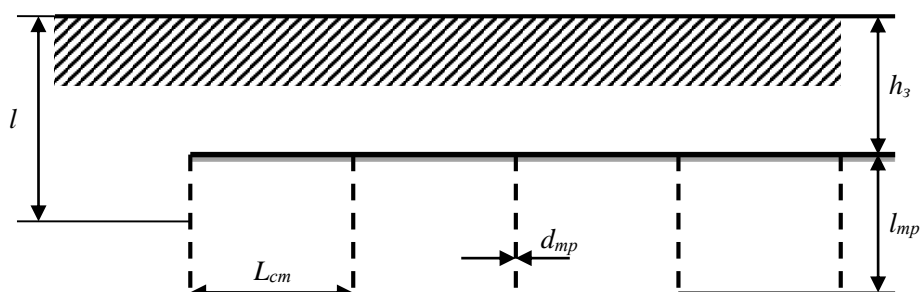


Рис. 12.1. Схема заземлюючого пристрою

У відповідності до вимог ПУЕ визначаємо допустимий опір розтіканню струму в заземленні: $R_3 = 4$ Ом (для мереж з напругою до 1000 В).

					ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Визначаємо питомий опір ґрунту, який рекомендовано для розрахунків. Місто Коростень, в якому знаходиться цех, розташоване в III кліматичному районі, питомий опір ґрунту в зоні ферми $\rho_{табл} = 60 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (чорнозем).

Визначаємо підвищувальні коефіцієнти для труб вертикальних заземлювачів та для з'єднувальної полоси, які враховують зміну опору ґрунту в різні пори року залежно від наявності опадів: $K_{П.Т} = 1,5$; $K_{П.С} = 3,0$.

Знаходимо питомий розрахунковий опір ґрунту для вертикальних електродів (труб) з урахуванням несприятливих умов за допомогою підвищувального коефіцієнта:

$$\rho_{розр.т} = \rho_{табл} \cdot K_{П.Т},$$

$$\rho_{розр.т} = 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Визначаємо питомий розрахунковий опір ґрунту для горизонтального заземлювача (з'єднувальної смуги):

$$\rho_{розр.н} = \rho_{табл} \cdot K_{П.С},$$

$$\rho_{розр.н} = 60 \cdot 3,0 = 180 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Обчислюємо відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$t = h_3 + \frac{l_{мп}}{2}, \text{ м.}$$

де h_3 – глибина заглиблення труб, м;

$l_{мп}$ – довжина вертикального заземлювача.

$$t = 0,8 + \frac{4,0}{2} = 2,8 \text{ м.}$$

Знаходимо опір розтіканню струму для одиночного вертикального заземлювача, який розташований нижче поверхні землі:

$$R_{розр.Т} = 0,366 \frac{\rho_{розр.т}}{l_{мп}} \left(\lg \frac{2l_{мп}}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + l_{мп}}{4t - l_{мп}} \right),$$

$$R_{розр.Т} = 0,366 \frac{90}{4} \left(\lg \frac{2 \cdot 4}{0,05} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,8 + 4}{4 \cdot 2,8 - 4} \right) = 19,5 \text{ Ом.}$$

Визначаємо відстань між вертикальними заземлювачами $L_{см}$ із співвідношення $c = \frac{L_{см}}{l_{мп}}$. Для стаціонарних заглиблених заземлювачів це співвідношення береться таким: $c = 1$.

$$L_{см} = l_{мп} \cdot c,$$

									Арк.
									70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2026 141				

$$R_{з.с} = 0,366 \frac{180}{25,2} \cdot \lg \frac{2 \cdot 25,2^2}{0,8 \cdot 0,05} = 11,8 \text{ Ом.}$$

Знаходимо коефіцієнт екранування для з'єднувальної смуги $\eta_{Е.З.С} = 0,66$.

Визначаємо розрахунковий опір для розтікання електричного струму в з'єднувальній смугі з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$R_{розр.С} = \frac{R_{з.с}}{n_{ЕС} \cdot \eta_{Е.З.С}},$$

де $n_{ЕС}$ – дорівнює 1,

$$R_{розр.С} = \frac{11,8}{1 \cdot 0,66} = 17,9 \text{ Ом.}$$

Знаходимо загальний розрахунковий теоретичний опір розтіканню струму від вертикальних заземлювачів та з'єднувальної смуги:

$$R_{заг.розр} = \frac{1}{\frac{1}{R_{розр.п.т.Е}} + \frac{1}{R_{розр.С}}},$$

$$R_{заг.розр} = \frac{1}{\frac{1}{3,98} + \frac{1}{17,9}} = 3,25 \text{ Ом.}$$

Отриманий результат порівнюємо із допустимим за вимогами ПУЕ значенням опору розтіканню струму в заземленні: $R_{заг.розр} \leq R_{дон}$,

$$3,25 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом.}$$

Умова виконується.

					ДП 2026 141	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Спецпитання. Використання технологій блокчейн в енергетиці

13.1. Технологія блокчейну

Блокчейн сьогодні вважається однією з найбільш перспективних технологій, здатних істотно трансформувати різні сфери людської діяльності, підвищивши рівень їх безпеки, швидкості та ефективності. За своєю суттю блокчейн є базою даних, проте принципи її побудови та функціонування суттєво відрізняються від традиційних інформаційних сховищ. У класичних базах даних відомості зберігаються на централізованому сервері та можуть змінюватися авторизованими користувачами. Натомість у блокчейні дані розподілені між великою кількістю пристроїв учасників мережі.

Завдяки використанню спеціального програмного забезпечення інформація в блокчейні зберігається у незмінному вигляді: вже внесені записи не можуть бути видалені або відредаговані, можливим є лише додавання нових даних. Сам термін «blockchain» перекладається як «ланцюг блоків» і означає цифровий реєстр, сформований у вигляді безперервної послідовності блоків, що одночасно зберігається на багатьох комп'ютерах. Така структура забезпечує прозорість та постійний облік дій усіх учасників системи.

Механізми блокчейну унеможливають внесення несанкціонованих транзакцій, оскільки будь-які зміни в уже записаних даних є технічно неможливими. Це значно знижує ризики взаємодії між територіально віддаленими або незнайомими сторонами та створює основу для децентралізованої моделі взаємовідносин. Наявність інформації про транзакції одразу у кількох учасників мережі забезпечує високий рівень довіри між ними без потреби в центральному посереднику.

Принцип роботи показаний на рис. 13.1.

					ДП 2026 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Спецпитання. Використання технологій блокчейн в енергетиці	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Гарбаринін						
<i>Перевір.</i>		Копилова Л.О.					73	
<i>Реценз.</i>		Красюк М.І.				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		Балюта С.М.						

спеціальними алгоритмами. Вузли, які беруть участь у перевірці транзакцій, називаються валідаторами або майнерами.

2. *Розподілені вузли та сховища.* Blockchain гарантує незалежність і самокерованість кожного вузла мережі. Вузли функціонують автономно та можуть бути розміщені в будь-якій географічній точці. Завдяки розподіленій архітектурі технологія забезпечує децентралізоване зберігання даних про всі транзакції: кожен вузол має власну копію бази даних, яка оновлюється під час додавання нових блоків.

3. *Консенсус і smart contracts.* Blockchain об'єднує всі вузли мережі в процесі підтвердження блоків з метою формування надійного та довіреного середовища. Рішення щодо додавання нових блоків приймаються колективно шляхом досягнення консенсусу. На сьогодні існує багато алгоритмів консенсусу, однак найбільш поширеними є Proof of Work (PoW) та Proof of Stake (PoS). Інші підходи здебільшого є їх модифікаціями або поєднують елементи обох. Важливим напрямом розвитку технології Blockchain також є використання смартконтрактів – програмних механізмів автоматичного виконання угод.

Ідею smart contract вперше сформулював американський криптограф і програміст Нік Сабо у 1996 році, тобто задовго до появи технології blockchain. Згідно з його підходом, інтелектуальні контракти є цифровими протоколами обміну інформацією, які за допомогою математичних алгоритмів автоматично виконують транзакції після настання визначених умов і забезпечують повний контроль над процесом. Це визначення, що значно випередило свій час, залишається актуальним і сьогодні. Проте на момент його появи практична реалізація цієї концепції була неможливою через відсутність необхідних технологічних рішень, зокрема розподілених реєстрів. У сучасному розумінні smart contract найчастіше асоціюється з платформою Ethereum, оскільки саме на ній у 2015 році Віталіком Бутеріним було вперше реалізовано та представлено цей підхід [9].

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

Smart contract є програмним кодом, що зберігається у Blockchain та описує всі умови договору між сторонами. Обов'язки учасників формалізуються у вигляді логічних конструкцій типу «якщо – то». Виконання такого контракту відбувається автоматично й гарантує дотримання всіх визначених умов без необхідності залучення третьої сторони для контролю.

4. *Асиметричність і шифрування.* Оскільки розподілена система є повністю автономною, у Blockchain застосовуються надійні криптографічні механізми захисту даних. Асиметричне шифрування є однією з базових складових цієї технології. Кожен вузол мережі володіє парою криптографічних ключів — відкритим і закритим. Відкритий ключ є загальнодоступним та використовується як ідентифікатор (ID) користувача, тоді як закритий ключ відомий лише власнику та слугує засобом автентифікації вузла.

Під час передачі даних відправник шифрує інформацію за допомогою відкритого ключа отримувача та доповнює її цифровим підписом, після чого транзакція поширюється серед усіх вузлів мережі. Водночас розшифрувати повідомлення може лише той вузол, якому воно адресоване, оскільки тільки він володіє відповідним закритим ключем. Приклади асиметричних криптографічних алгоритмів наведено в [10], серед найбільш поширених – SHA-256, RIPEMD-160, RSA, ElGamal, алгоритм Рабіна, Diffie–Hellman та ECC.

13.2. Енерго-проекти, засновані на блокчейні

Починаючи з 2016 року й до сьогодні у сфері енергетики було ініційовано понад 40 блокчейн-проектів, а близько 120 енергетичних компаній у різних країнах світу працюють над стартапами із застосуванням смартконтрактів. Розглянемо кілька перших практичних прикладів упровадження цих ідей.

США

Першим блокчейн-проектом в енергетичній галузі став Brooklyn Microgrid, який розробляється компаніями LO3 Energy та ConsenSys.

					ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Основною метою проєкту є дослідження можливостей використання смартконтрактів для організації продажу електроенергії, виробленої сонячними панелями, безпосередньо між мешканцями сусідніх будинків. Технологічною основою рішення є платформа Ethereum. Як зазначає співзасновник LO3 Energy Лоуренс Орсіні, усі розробки компанії спрямовані на формування розподіленої економіки, розвиток P2P-моделі та децентралізацію активів у межах локальних спільнот.

У межах проєкту фотоелектричні установки, розміщені на дахах п'яти будівель, перетворюють сонячну енергію на електроенергію. Надлишок виробленої енергії, що не споживається безпосередньо, реалізується п'ятьом сусіднім домогосподарствам. При цьому всі будівлі залишаються підключеними до традиційної електромережі, а облік і керування транзакціями здійснюються за допомогою блокчейн-системи.

Німеччина

У Німеччині активно розвивається значна кількість стартапів, що впроваджують смартконтракти в енергетичний сектор. Компанії-піонери Slock.it та RWE реалізували два проєкти, спрямовані на оптимізацію процесу заряджання електромобілів. Запропонована проста модель автоматизованого виставлення рахунків дозволяє усунути один із ключових бар'єрів на шляху масового поширення електромобільності.

За словами засновника та операційного директора Slock.it Стефана Туаля, блокчейн розглядається як важливий елемент нового технологічного середовища, що сприяє трансформації електротранспорту завдяки оптимізації взаємодії типу machine-to-machine (M2M). За такої моделі водій електромобіля може залишити транспортний засіб на парковці, після чого автомобіль автоматично реєструється в системі зарядної станції, розпочинає заряджання, а по завершенні процесу система самостійно формує рахунок за спожиту електроенергію.

					ДП 2026 141	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Японія

Технологія блокчейну також відкриває нові можливості для традиційних енергетичних компаній. Після того як уряд Японії дозволив роздрібний продаж надлишків «зеленої» енергії, клієнтська база компанії Tokyo Electric Power скоротилася на 15%. У відповідь на ці зміни компанія інвестувала в блокчейн-проект Electron, який орієнтований на модернізацію енергетичної інфраструктури та підвищення ефективності розподілу потужностей із суттєвим зменшенням витрат.

Генеральний директор Electron Пол Елліс зазначає, що в процесі переходу до відновлюваних джерел енергії мільйони нових активів інтегруватимуться в енергетичні мережі на рівнях передачі та розподілу, що зумовлює потребу у створенні надійної спільної інфраструктури для ідентифікації та обліку цих активів. Використовуючи платформу Ethereum, проєкт Electron продемонстрував модель, яка імітує дані з 53 мільйонів точок обліку в домогосподарствах від 60 постачальників енергії, а також підтвердив можливість здійснення зміни постачальника електроенергії у 20 разів швидше порівняно з традиційними методами.

Нижче представлена карта ключових гравців у світі, які роблять ставку на технологію Blockchain у галузі електроенергетики (рис.13.2).

					ДП 2026 141	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 13.2. Проекти у галузі Blockchain

Аналіз географічного розподілу проєктів свідчить, що майже половина з них (46 %) зосереджена в Європі. Наступне місце посідає Північна Америка з часткою 24 %: при цьому на США припадає близько 50 проєктів, тоді як Канада та Мексика разом представлені лише шістьма ініціативами (2,1 % і 0,4 % відповідно). У країнах СНД зафіксовано всього п'ять блокчейн-проєктів.

Водночас інвестиційну активність у сфері блокчейн-технологій демонструють не лише стартапи. Значні фінансові ресурси в ці рішення вкладають і великі міжнародні енергетичні корпорації, зокрема Siemens, Shell, IBM, Equinor, Engie, SP Group, TEPCO, EDF, Wipro та інші.

Загалом у сучасних енергетичних системах виокремлюють сім основних напрямів застосування технології блокчейн, що схематично представлено на рис.

3.



Рис. 13.3. Різні способи використання технології блокчейн

Попри значну зацікавленість моделями P2P, існує чимало інших технологічних рішень у різних сегментах енергетичної галузі, де блокчейн може бути ефективно застосований. Наразі виокремлюють сім основних напрямів використання цієї технології, які перебувають на стадії тестування або впровадження в різних країнах світу:

- платформи гнучкої торгівлі енергоресурсами;
- системи обігу квот на викиди парникових газів;
- відстеження ланцюгів постачання;
- інтеграція електротранспорту;
- токенизація активів і фінансування проєктів;
- майнінг біткоїнів;
- P2P-торгівля електроенергією.

Застосування блокчейну в енергетиці може сприяти переходу до трансактивної електричної мережі.

Водночас масштаб його трансформаційного впливу значною мірою визначатиметься роллю цієї технології в процесі так званого «Великого переходу» (Grand Transition), а також її взаємозв'язком з енергетичними чинниками. Хоча блокчейн здатен істотно змінити наявні виробничо-збутові ланцюги, нові моделі споживчої поведінки залишаються недостатньо визначеними. Крім того, прискорені процеси декарбонізації та децентралізації створюють додаткові виклики, зокрема зростання кіберризиків, ускладнення управління навантаженнями та проблеми інвестування в розвиток електричних мереж.

13.3. Що потрібно для блокчейн-енергетики

Доцільним є поєднання нових технологічних рішень з іншими інноваційними підходами. У зв'язку з цим блокчейн-технологію найбільш ефективно впроваджувати в установках, що виробляють «зелену» енергію – екологічно чисту та практично невичерпну за людськими мірками енергію сонця, вітру, води, геотермальних джерел тощо. Для інтеграції відновлюваних джерел енергії у повсякденне життя необхідна автоматизація енергетичних систем із використанням спеціалізованого обладнання нового покоління.

Кіберфізична структура Blockchain для застосування в енергетичних системах

У цьому підрозділі розглядається кіберфізична модель використання блокчейн-технології в електроенергетиці, яка схематично представлена на рис. 13.4.

					ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

До потужних електричних станцій належать традиційні об'єкти (газові, вугільні, гідроелектростанції, атомні електростанції тощо), а також установки на основі відновлюваних джерел енергії, зокрема вітрові та сонячні електростанції. Розподілена генерація може включати відновлювані джерела, дизельні генератори, електромобілі та інші локальні енергетичні установки.

Розподільна інфраструктура представлена мережами різних класів напруги, а також обладнанням і об'єктами, задіяними в передачі електроенергії, такими як трансформатори, підстанції та допоміжні елементи.

Споживчий сектор включає різні типи навантажень, зокрема промислові підприємства, побутових споживачів, електромобілі та інші енергоспоживальні об'єкти.

Системи накопичення енергії охоплюють теплові акумулятори, суперконденсатори, гідроакумуляційні установки, а також накопичувачі, що застосовуються на рівні домогосподарств, зокрема хімічні акумулятори малої потужності та електромобілі.

Крім того, до фізичної інфраструктури належать енергетичні ринки, агрегатори попиту та інші організації, які безпосередньо не здійснюють передачу енергії, але виконують функції координації та балансування роботи мережі. Моніторинг і керування всією системою в цьому випадку здійснюються за допомогою надійної інформаційної кіберструктури, описаної в наступному підрозділі.

Кіберінформаційна інфраструктура

Інтернет речей (IoT) є технологією, що формує середовище, у якому кожен пристрій або споживач може бути підключений до інформаційної мережі з метою керування та моніторингу. Для реалізації такої концепції кожен пристрій оснащується мікроконтролером і засобами бездротового передавання даних, що робить його елементом глобальної інформаційної інфраструктури (Інтернету) та забезпечує можливість взаємодії як між пристроями, так і з користувачем [24].

Сучасні обчислювальні можливості мікроконтролерів дозволяють виконувати попередню обробку даних – перевірку, фільтрацію та агрегування – до їх передавання на вищі рівні, зокрема до Blockchain або хмарного середовища. Таким чином досягається ефективна інтеграція та взаємодія з усіма енергетичними ресурсами системи.

Система розподіленої обробки на Blockchain

Blockchain забезпечує децентралізовану та розподілену платформу для обробки даних у системах IoT.

Він надає ключові сервіси для обробки інформації, зібраної через IoT, а також координує взаємодію між різними учасниками енергетичної системи.

Розподілене зберігання даних

Завдяки особливостям своєї архітектури та використанню алгоритмів консенсусу технологія Blockchain забезпечує створення копій бази даних на кожному вузлі мережі з їх подальшою синхронізацією через інтернет. Ланцюгова структура зберігання даних надає можливість відстежувати всі записи та гарантує їх незмінність. Алгоритми консенсусу відповідають за перевірку достовірності інформації та узгодження її між вузлами мережі. Сукупність цих механізмів формує захищене середовище для функціонування IoT-систем збору даних. Крім того, розподілений характер зберігання інформації підвищує надійність системи, оскільки виключає повну відмову у разі виходу з ладу окремого вузла.

Smart contract. Як зазначалося вище, смарт-контракт у середовищі Blockchain являє собою електронну угоду або програмний код, що містить визначений набір умов для кожного з учасників. Технологія Blockchain виступає базовою платформою для створення та виконання смарт-контрактів, забезпечуючи їх автоматичну реалізацію без залучення посередників.

Авторизація. Використання Blockchain забезпечує прозорість, відстежуваність і незмінність даних.

											ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								86

Завдяки цим властивостям формується надійний механізм авторизації та верифікації учасників системи, а також підтвердження автентичності укладених між ними транзакцій і угод.

Хмарна платформа

Технології IoT та Blockchain у сукупності формують сучасне обчислювальне середовище. Хмарні рішення забезпечують сервісно-орієнтований підхід до оброблення й управління інформацією, що надходить від IoT-систем.

Хмарні обчислення базуються на розподілених центрах обробки даних, оснащених серверним обладнанням, системами зберігання даних і спеціалізованим програмним забезпеченням, яке характеризується підвищеною відмовостійкістю.

У запропонованій архітектурі хмарні платформи розташовуються на верхньому рівні ієрархії IoT та Blockchain, забезпечуючи сервісну взаємодію між споживачами електроенергії та учасниками енергетичного ринку. Дані, зібрані IoT-пристроями, можуть зберігатися як у Blockchain, так і передаватися до хмарного середовища залежно від поточних потреб системи. Водночас хмарна платформа має можливість отримувати інформацію з розподіленого реєстру Blockchain та виконувати її аналіз із використанням механізмів віртуалізації й динамічних обчислювальних ресурсів.

Хмарна інфраструктура забезпечує інтеграцію даних з IoT та Blockchain і створює основу для надання широкого спектра додаткових сервісів для всіх учасників системи:

Інфраструктура як послуга (IaaS). Використання технологій віртуалізації дає змогу формувати віртуальні обчислювальні ресурси - сервери та пам'ять - на віддалених вузлах, надаючи кінцевим користувачам повноцінний доступ до них.

					ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

З точки зору користувача управління такими ресурсами не відрізняється від роботи з локальною інфраструктурою, хоча фактично задіюються потужності розподілених центрів обробки даних.

Дані як сервіс (Daas). Хмарні сервіси забезпечують зручний доступ до інформації, отриманої від IoT-пристроїв і збереженої у Blockchain, із застосуванням механізмів централізованої автентифікації та авторизації користувачів.

Платформа як сервіс (PaaS). Хмарні платформи надають учасникам енергетичного ринку середовище для створення та розгортання власних прикладних рішень. Зокрема, реалізація та виконання smart contract можуть здійснюватися з використанням інструментів хмарних сховищ і сервісів оброблення даних.

Програмне забезпечення як сервіс (SaaS).

Користувачі отримують можливість працювати з хмарними ресурсами за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Наприклад, для взаємодії з даними IoT можуть застосовуватися SQL-запити або інші мови запитів, а також інструменти аналітики, візуалізації та формування звітів безпосередньо у хмарному середовищі.

Поєднання хмарних технологій, IoT та Blockchain створює основу для реалізації різноманітних моделей взаємодії між учасниками енергетичного ринку, забезпечує належний рівень захисту інформації та відкриває можливості для впровадження нових бізнес-моделей.

Необхідні компоненти енергосистеми на основі блокчейну:

Розумний будинок – це інтегрована високотехнологічна система, яка об'єднує всі інженерні та енергетичні комунікації в єдину керовану структуру. Управління здійснюється за допомогою програмованих алгоритмів штучного інтелекту, що адаптуються до індивідуальних потреб і вподобань користувача.

Розумний лічильник – це засіб обліку електричної енергії, оснащений функціями автоматизованого збору та дистанційної передачі даних.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Усі показники споживання зчитуються без участі людини та передаються на центральний сервер для подальшої обробки. За умови масового впровадження розумних лічильників технологія Blockchain може використовуватися як надійний механізм фіксації показань і формування інформації для розрахунків за спожиту електроенергію. Важливою перевагою є розширення можливостей контролю для споживачів щодо умов електропостачання та аналізу власного енергоспоживання. У країнах Європейського Союзу було визначено ціль – забезпечити оснащення не менше 80 % споживачів розумними лічильниками.

Сенсорні технології – це сукупність пристроїв, що реагують на дотик або інші фізичні впливи та забезпечують інтуїтивну взаємодію користувача з системою. У блокчейн-орієнтованих енергетичних системах такі технології застосовуються для керування та регулювання енергетичних процесів.

Інтелектуальні мобільні застосунки – це програмні рішення для смартфонів, які забезпечують дистанційний моніторинг, управління та передачу енергетичних ресурсів. Використання таких застосунків дозволяє автоматизувати процеси керування системою та підвищити зручність взаємодії споживачів з енергетичною інфраструктурою.

13.4. Перспективні проєкти на Blockchain

У попередніх розділах було проаналізовано значний потенціал застосування даної технології для подальшого розвитку електроенергетичних мереж.

Надалі розглядаються перспективні проєкти, реалізовані із застосуванням технології **Blockchain**.

13.4.1. Управління даними

Технологію Blockchain по суті можна розглядати як розподілену систему баз даних, у якій на кожному вузлі мережі зберігаються копії інформації. Ланцюгова структура забезпечує цілісність, узгодженість та незмінність даних.

У цьому підрозділі аналізуються такі сценарії управління даними:

- забезпечення захисту мережевих даних;
- агрегація інформації.

Проблеми захисту даних детально розглянуті в роботах [26]. Дане питання є надзвичайно важливим, оскільки саме на основі отриманих даних здійснюється ухвалення рішень та формування керувальних впливів на всю енергетичну систему.

На сьогоднішній день системи SCADA використовують централізовані сховища інформації, що робить їх потенційно вразливими до кіберзагроз. Тому доцільно розглянути застосування механізмів Blockchain для підвищення надійності зберігання та обміну даними, отриманими від вимірювальних датчиків (рис. 5).

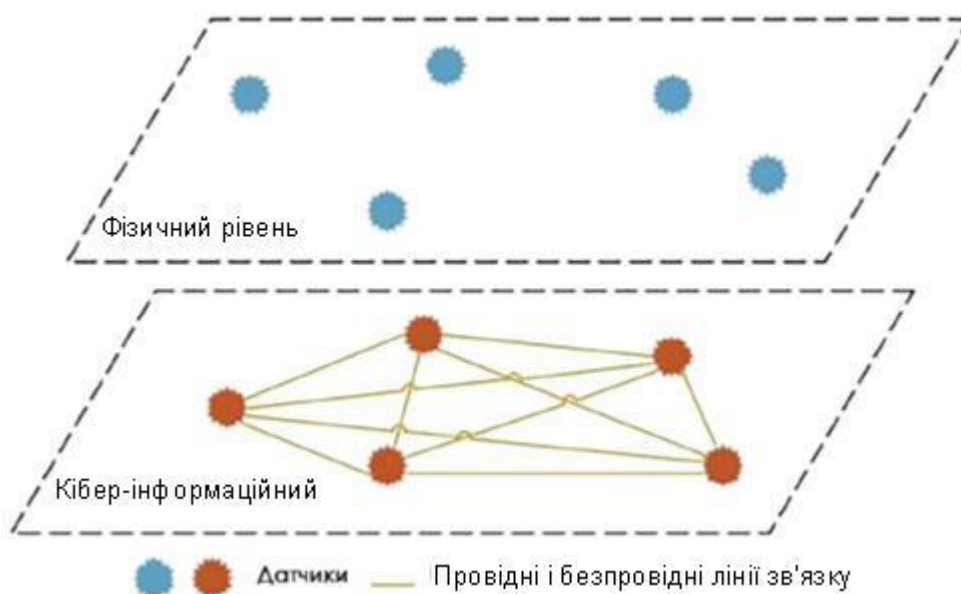


Рис. 13.5. Структура системи Blockchain

Усі вимірювальні датчики розміщуються на фізичному рівні обладнання. Обмін даними між центральним вузлом та датчиками здійснюється за допомогою бездротових каналів на кіберінформаційному рівні, у результаті чого формується розподілена мережа передачі інформації.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У межах цієї мережі кожен вимірювальний вузол функціонує відповідно до визначеного алгоритму:

- 1) збирання даних про стан об'єкта;
- 2) шифрування отриманої інформації з використанням приватного ключа (*private key*);
- 3) передавання зашифрованих даних у мережу.

Інші вузли мережі здійснюють розшифрування інформації за допомогою відкритого ключа (*public key*) та, використовуючи механізми консенсусу, підтверджують достовірність і цілісність отриманих даних. У даному випадку застосовується алгоритм консенсусу PoS (*Proof of Stake*). Після верифікації дані формуються у блок, який криптографічно пов'язується з попередніми блоками, утворюючи єдиний ланцюг.

Подальшим етапом є обробка інформації. Агрегування даних щодо споживання електроенергії та режимів роботи енергосистеми може виконуватися системним оператором, що у перспективі забезпечує підвищення обґрунтованості управлінських рішень і проведення різноманітних аналітичних досліджень. Водночас особливої актуальності набуває питання захисту даних, отриманих від приладів обліку.

На рис. 13.6 наведено приклад системи, у якій технологія **Blockchain** використовується як інструмент захисту інформації для побутових «розумних лічильників» та забезпечує безпечний збір і зберігання даних. Запропонована система має дворівневу архітектуру та складається з двох кластерів: регіонального і глобального.

Уся взаємодія між учасниками ринку координується АТС (Адміністратором торгової системи). Генеруючі компанії та споживачі подають до АТС заявки на виробництво або споживання електроенергії, після чого саме АТС ухвалює рішення щодо їх задоволення та формує відповідні керуючі запити для обчислювальних систем.

Така архітектура має низку суттєвих обмежень. Зокрема, централізована модель є вразливою до кібератак. Показовим прикладом є масштабний блекаут в Україні у 2015 році, який продемонстрував можливість порушення роботи національного контрольного центру. Подібні інциденти можуть призводити до зупинки або повного блокування торгових операцій, а також негативно впливати на управління енергосистемою в цілому.

Крім того, централізована структура ускладнює формування відкритого та транскордонного енергетичного ринку. Незважаючи на успішний досвід Nordic Energy Market, що забезпечує міждержавну торгівлю енергоресурсами в країнах Північної Європи, проблема взаємної довіри між учасниками залишається серйозною перешкодою для розвитку таких ринків.

Ще одним недоліком централізованої моделі є її низька масштабованість, особливо з погляду інтеграції великої кількості дрібних учасників, зокрема малопотужних споживачів і розподілених джерел генерації. В Україні механізми такої взаємодії наразі практично не реалізовані. У цьому контексті Blockchain може виступати інструментом підвищення довіри між учасниками ринку незалежно від їх масштабу, виконуючи функцію децентралізованого регулятора транзакцій.

Формування безпечного транскордонного енергетичного ринку на основі Blockchain створює передумови для більш ефективного та оптимального розподілу електроенергії.

					ДП 2026 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

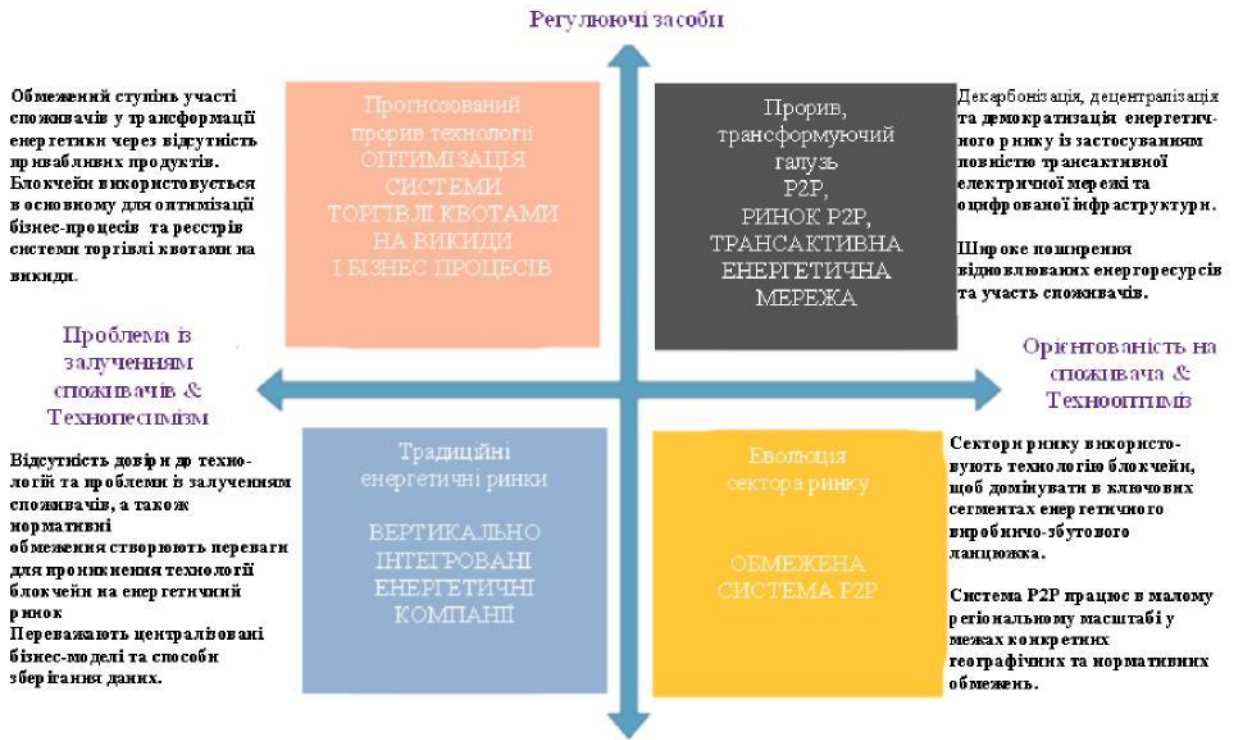


Рис. 13.8. Сценарії розвитку технології блокчейн в енергетиці

Потенціал Blockchain виступає ключовим інструментом для часткового або повного вирішення проблем у сфері взаємодії зі споживачами та нормативно-правового регулювання. Революційний прорив у галузі (зелений блок на рис. 8) можливий лише за наявності нової, адаптованої нормативно-правової бази та готовності споживачів активно брати участь у роботі системи. У такому випадку існуюча енергетична екосистема фактично опиняється на межі революційних змін.

Інші сценарії розвитку передбачають еволюційне вдосконалення ринку та діючих практик, які можуть отримати значну користь від інтеграції технології Blockchain.

Список використаної літератури

1. Шестеренко В.С. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник.-Вінниця: Нова книга, 2004.-656с.
2. Сірий О.М. Системи електроспоживання: розрахунки, вибір обладнання. Навч. Посібник.- К.: НУХТ, 2011. – 319 с.
3. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 123 с.
4. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.
5. AVADA MEDIA. Впровадження технологій блокчейн у сферу енергетики [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://avada-media.ua/ua/services/vnedreniye-tekhnologii-blokcheyn-v-sferu-energetiki/>; [2]Investopedia. blockchain [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp>. Accessed on: Mar 23, 2016;
6. M.A. Khan, A. Mahmood, S. Ullah, M.A. Chaudhry, and M. Khalid, "BlockchainBased Decentralized Power Dispatching Model for Power Grids Integrated with Renewable Energy and Flexible Load", 2023.
7. H.M. Farooqi, M.A. Khan, S. Ullah, M.A. Chaudhry, and M. Khalid, "A Survey on Blockchain for Smart Grid Management, Control, and Operation", 2023.
8. M.A. Khan, M.A. Chaudhry, M. Khalid, A. Mahmood, and S. Ullah, "BlockchainBased Energy Trading System for Microgrids: A Comprehensive Review", 2022.

					ДП 2026 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Список використаної літератури	Літ.	Арк.	Аркушів
<i>Розроб.</i>		<i>Гарбаринін Д.О.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Копилова Л.О.</i>					99	
<i>Реценз.</i>		<i>Красюк М.І.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛІ-5-3		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						

