

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

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

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

_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2025 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ Сергій БАЛЮТА
(підпис) (прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

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

освітньо-професійної програми «Електротехніка та інформаційні технології »

на тему: «Розробка системи електропостачання заводу залізобетонних виробів.
Використання систем накопичення електричної енергії на промислових
підприємствах»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕЛ 4-3

Крючок Дмитро Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

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

_____ (підпис)

Консультанти Аліна Сірик
(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент Олександр Столяров
(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

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

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2025 р.

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 і електромеханіка»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Електротехніка та інформаційні технології»

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕПЕМ

_____/Сергій БАЛЮТА/

« ____ » _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Крючок Дмитро Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка системи електропостачання заводу залізобетонних виробів. Використання систем накопичення електричної енергії на промислових підприємствах»

керівник роботи Романюк Володимир Тарасович, доктор філософії, асистент затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» 04. 2025 р. № 218-кв .

2. Строк подання здобувачем роботи 30 травня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: Генеральний план заводу; електричні навантаження заводу; план заготівельно-механічного цеху; потужність споживачів заготівельно-механічного цеху; інформація про електроживлення заводу.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика підприємства; розрахунок електричних навантажень; компенсація реактивної потужності; вибір місця встановлення ЦРП; вибір схеми електропостачання живлячої та розподільчої мережі; вибір та розміщення трансформаторних підстанцій; розрахунок розподільчих мереж; розрахунок струмів короткого замикання; вибір апаратури в мережі 10 кВ; релейний захист; розрахунок цеху; розробка заходів з охорони праці, індивідуальне завдання: Використання систем накопичення.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Генеральний план підприємства із картографією навантажень, розміщенням ЦРП і схемою прокладання ліній високої напруги.

2. План цеху з силовою мережею та його однолінійна схема електропостачання.

3. План цеху з освітлювальною мережею.

4. Використання систем накопичення електричної енергії на промислових підприємствах

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 12 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дипломний проект	12.04.2025 р	
2	Вступ	15.04.2025 р	
3	Характеристика підприємства	17.04.2025 р	
4	Розрахунок електричних навантажень підприємства	20.04.2025 р	
5	Компенсація реактивної потужності	23.04.2025 р	
6	Вибір місця встановлення ЦРП	25.04.2025 р	
7	Вибір схеми електропостачання живлячої та розподільчої мережі	28.04.2025 р	
8	Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій	02.05.2025 р	
9	Розрахунок розподільчих мереж	07.05.2025 р	
10	Розрахунок струмів короткого замикання	12.05.2025 р	
11	Вибір апаратури в мережі 10 Кв	15.05.2025 р	
12	Релейний захист	18.05.2025 р	
13	Розрахунок цеху	22.05.2025 р	
14	Розробка заходів з охорони праці, техніки безпеки і охорони природи	24.05.2025 р	
15	Індивідуальне завдання. Використання систем накопичення електричної енергії на промислових підприємствах	26.05.2025 р	
16	Література	27.05.2025 р	
17	Оформлення пояснювальної записки проекту	28.05.2025 р	
18	Оформлення графічної частини проекту	29.05.2025 р	
19	Подання готової роботи для перевірки на плагіат	30.05.2025 р	

Здобувач _____
(підпис)

Крючок Д.М.

Керівник роботи _____
(підпис)

Романюк В.Т.

Анотація

Крючок Дмитро Михайлович. Дипломний проект на тему:
«Розробка системи електропостачання заводу залізобетонних виробів.
Використання систем накопичення»

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

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 13 розділів, висновків та списку використаної літератури. Обсяг проекту становить 114 сторінок.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: генеральний план підприємства з картограмою навантаження та його однолінійна схема електропостачання, план цеху з силовою мережею та його однолінійна схема електропостачання, план цеху з освітлювальною мережею, використання систем накопичення електричної енергії на промислових підприємствах.

У результаті виконання проекту наведена характеристика підприємства, розраховані його електричні навантаження, розглянуто питання компенсації реактивної потужності, вибрано місце встановлення ЦРП, вибрана схема живлячої та розподільчої мережі, розглянуте розміщення трансформаторних підстанцій, розраховані розподільчі мережі та наведена схема електропостачання заводу, розраховані струми короткого замикання, вибрана апаратура в мережі 10 кВ, наведений і розрахований релейний захист трансформаторів, проведений розрахунок цеху. У розділі охорона праці обґрунтоване рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання, розглянуті організаційні та технічні заходи з охорони праці, розрахований заземлюючий пристрій трансформатора.

В якості індивідуального завдання розглянуто питання використання систем накопичення електричної енергії на промислових підприємствах.

Ключові слова: заготівельно-механічний цех заводу, споживачі електроенергії, електричне навантаження, освітлення, трансформатор, автоматичний вимикач, струм короткого замикання, кабель, компенсація реактивної потужності, релейний захист, заземлення, система накопичення.

Abstract

Dmytro Kryuchok. Diploma project on the topic:

“Development of a power supply system for a reinforced concrete products plant. Use of storage systems”

National University of Food Technologies, Kyiv-2025

141. “Electric power engineering, electrical engineering, and electromechanics”

The accompanying explanatory note consists of an introduction, 13 chapters, conclusions, and a list of references. The project is 114 pages long.

The description is accompanied by a graphic section consisting of four drawings: a general plan of the enterprise with a load map and its single-line power supply diagram, a plan of the workshop with a power network and its single-line power supply diagram, a plan of the workshop with a lighting network, and the use of electrical energy storage systems at industrial enterprises.

As a result of the project, the characteristics of the enterprise are given, its electrical loads are calculated, the issue of reactive power compensation is considered, the location of the central power distribution point is selected, the power supply diagram of the supply and distribution network is selected, the location of transformer substations is considered, distribution networks are calculated and the power supply scheme for the plant is provided, short-circuit currents are calculated, equipment for the 10 kV network is selected, relay protection for transformers is provided and calculated, and calculations for the workshop are performed. In the section on occupational safety, a decision on the placement of electrical equipment is justified, organizational and technical measures for occupational safety are considered, and the transformer grounding device is calculated.

As an individual task, the issue of using electrical energy storage systems at industrial enterprises is considered.

Keywords: plant preparation and mechanical workshop, electricity consumers, electrical load, lighting, transformer, automatic circuit breaker, short-circuit current, cable, reactive power compensation, relay protection, grounding, storage system.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	8
1.	ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА.....	10
2.	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА.....	14
3.	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	16
4.	ВИБІР МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЦРП	23
5.	ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИВЛЯЧОЇ ТА РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ.....	28
6.	ВИБІР ТА РОЗМІЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ.....	32
7.	РОЗРАХУНОК РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ.....	35
8.	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ...	38
9.	ВИБІР АПАРАТУРИ В МЕРЕЖІ 10 КВ.....	46
9.1	Вибір основних комутаційних апаратів.....	46
9.2	Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги...	47
10.	РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ.....	52
11.	РОЗРАХУНОК ЦЕХУ	57
11.1	Розрахунок силових навантажень.....	57
11.2	Розрахунок освітлення.....	62
11.3	Вибір схеми та розрахунок цехової мережі.....	65
11.3.1	Вибір схеми цехової мережі.....	65
11.3.2	Розрахунок цехової мережі.....	67
11.4	Розрахунок освітлювальної мережі та вибір обладнання.....	73
12.	РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ, ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ І ОХОРОНИ ПРИРОДИ.....	81
12.1	Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання.....	81
12.2	Організаційні та технічні заходи з охорони праці.....	85
12.3	Практичний розрахунок.....	87

					ДП 2025 141				
					Зміст				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>	
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>					6	114	
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>							
<i>Реценз.</i>		<i>Столяров О.Я.</i>							
Н. Контр.									
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>							
					<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3</i>				

13	ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	90
13.1	Системи накопичення електроенергії.....	90
13.2	Накопичувачі електричної енергії.....	94
13.3	Промислові системи накопичення енергії.....	97
13.4	Огляд сучасних технологій систем накопичення електроенергії та перспективи.....	108
	ЛІТЕРАТУРА.....	112

ВСТУП

З метою забезпечення живлення технологічних приймачів електроенергією створюються системи електропостачання промислових підприємств. До таких приймачів відносять електродвигуни різних машин і механізмів, електролізні установки, електричні печі, машини й апарати для електричного зварювання, освітлювальні установки тощо.

Системи електропостачання підприємств ускладнюються у міру розвитку електроспоживання. Виникає необхідність активної роботи з економії електроенергії, впровадження автоматизації систем електропостачання промислових підприємств, роботи з здійснення в широких масштабах диспетчеризації процесів виробництва із використання телесигналізації й телекерування. Для живлення підприємств все більше, особливо в промисловому комплексі, застосовуються відновлювані та нетрадиційні джерела енергії, які потребують певних технологічних та технічних умов погодження з енергосистемою, акумуляування енергії.

Особливістю звичайних систем електропостачання є неможливість створення запасів електроенергії. Електроенергія негайно споживається і не акумулюється. Недоліком таких систем є необхідна точна й негайна реакція системи керування при непередбачених коливаннях навантаження системи, що компенсує виниклий дефіцит.

Основна спеціалізація заводу залізобетонних виробів – виробництво залізобетонних виробів, як серійних, так і виготовлених відповідно до індивідуальних замовлень, бетону та розчину товарного марок, арматурні сітки, армокаркаси і тротуарна плитка різної конфігурації. Основою роботи підприємства є надійне і якісне постачання електроенергії для основного і допоміжного виробництва.

					<i>ДП 2025 141</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>			Вступ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>					8	114
<i>Реценз.</i>		<i>Столяров О.Я.</i>				<i>ІННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3</i>		
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

Основною задачею сучасної енергетики є створення раціональних систем електропостачання промислових підприємств: вибір і використання раціонального числа трансформаторів, при цьому економія електроенергії складе не менш 15% її споживання промисловим підприємством; застосування раціональних напруг дає значну економію у втратах електроенергії; правильний вибір місця розміщення головних розподільних і цехових підстанцій у відповідних центрах електричних навантажень забезпечує мінімальні річні наведені витрати; подальше удосконалювання методики визначення електричних навантажень сприяє рішення загального завдання оптимізації побудови систем внутрішньозаводського електропостачання; раціональний вибір числа й потужності трансформаторів, а також схем електропостачання і їхніх параметрів веде до скорочення втрат електроенергії, підвищенню надійності й сприяє здійсненню загального завдання оптимізації побудови систем електропостачання; вирівнювання електричних навантажень; акумулювання електроенергії.

Метою даної роботи є вирішення актуальної задачі сучасної енергетики на прикладі системи електропостачання заводу залізобетонних виробів.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

Завод залізобетонних виробів виготовляє більше ста найменувань будівельної продукції. Основною спеціалізацією є виробництво залізобетонних виробів, як серійних, так і виготовлених відповідно до індивідуальних замовлень, бетону та розчину товарного марок, армокаркаси, арматурні сітки і тротуарну плитку різної конфігурації.

Продукція заводу незмінно показує високі показники та відповідає всім державним нормам та стандартам, регулярно проходить процедуру сертифікації. На підприємстві працює власна атестована будівельна лабораторія.

Доставка продукції власним автотранспортом. Автобетонозмішувачі та тягачі вчасно доставлять бетон та залізобетонні вироби безпосередньо на об'єкт замовника. Надаються послуги перекачування бетонної суміші автомобільним та двома стаціонарними бетононасосами.

Залізобетон – унікальний будівельний матеріал, що поєднує в собі якості сталі та бетону. В даному випадку сталева арматура міцно скріплюється з бетоном, утворюючи матеріал, якому не страшні навіть найжорсткіші перепади температури, оскільки коефіцієнт розширення та бетону та сталі має досить близькі значення. Неймовірна стійкість до різних хімічних агресивних середовищ та корозії дозволяє використовувати залізобетонні вироби як у цивільному, так і в промисловому будівництві. Виробництво залізобетону це складний процес, який вимагає глибоких знань та навичок, що приходять із досвідом. Завод залізобетонних виробів, який розглядається в цій роботі, - це завод із традиціями та багаторічним досвідом виготовлення залізобетону. Сучасне підприємство з виробництва залізобетонних виробів та товарного бетону, виконуються замовлення будь-якої складності.

					<i>ДП 2025 141</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	1. Характеристика підприємства	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>					10	114
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>						
<i>Реценз.</i>		<i>Столяров О.Я.</i>						
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>			<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3</i>			

Генеральний план заводу залізобетонних виробів з необхідними для проекту даними представлено на рис. 1.1.

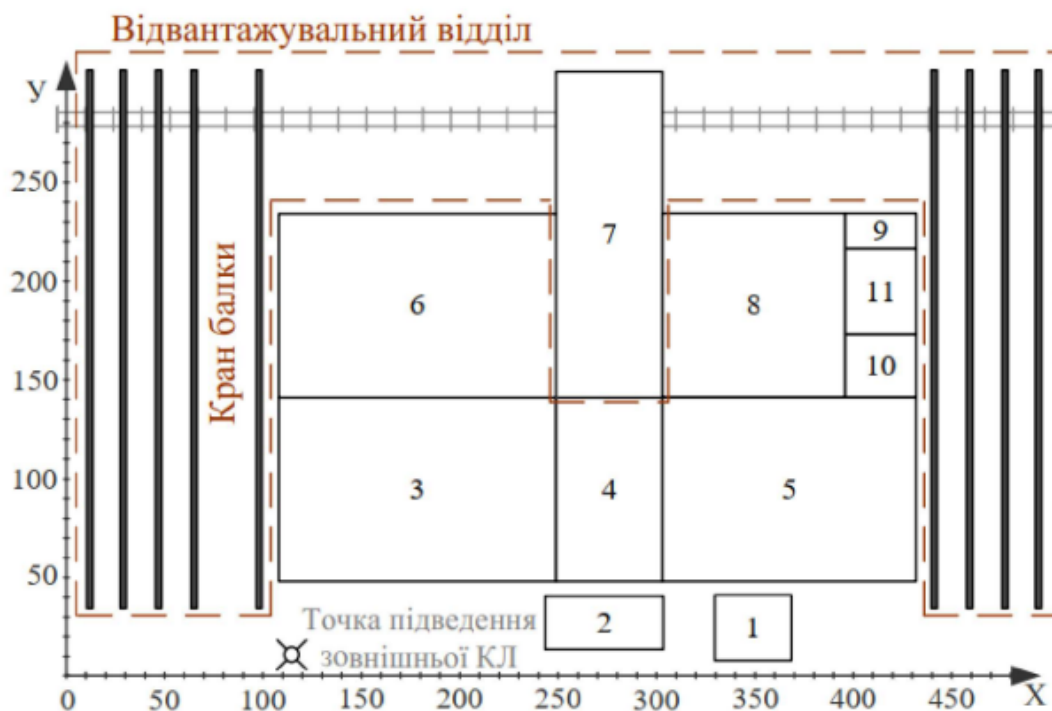


Рисунок 1.1 – Генеральний план заводу

На генеральному плані заводу є три виробничі корпуси – 1, 2, 3, шість допоміжних заготівельно-підготовчих цехів та два побутові приміщення.

В табл. 1.1 наведені дані електричних навантажень заводу.

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження заводу

№	Назва	P_n , кВт
1	Адміністративна будівля	50
2	Службове приміщення	40
3	Виробничий корпус №1	790
4	Арматурний цех	140
5	Виробничий корпус №2	650
6	Виробничий корпус №3	790
7	Відвантажувальний відділ	195
8	Склад	100
9	Заготівельно-механічний цех	308
10	Котельня	117
11	Компресорна станція	150

Також на генплані зображено точку підведення зовнішнього живлення в систему електропостачання підприємства від підстанції 110/35/10, яка знаходиться від підприємства на відстані 5 км.

Відомості про потужності споживачів заготівельно-механічного цеху представлено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Потужність споживачів заготівельно-механічного цеху

№ споживача	Назва	P_H , кВт	K_B	$\cos\phi$
1	Прес-ножиці	15	0,14	0,8
2	Заточувальний верстат	3	0,19	0,75
3	Пила відрізна	2	0,2	0,8
4	Шліфувальний верстат	4	0,12	0,7
5	Вальці	20	0,12	0,7
6	Гідравлічний прес	3	0,15	0,65
7	Радіально-свердлильний верстат	8	0,16	0,8
8	Свердлильний верстат	8	0,18	0,85
9	Свердлильний верстат	8	0,18	0,85
10	Свердлильний верстат	8	0,18	0,85
11	Згинальний верстат	18	0,13	0,65
12	Кривошипний прес	30	0,14	0,65
13	Зварювальний апарат	40	0,18	0,7
14	Зварювальний апарат	40	0,18	0,7
15	Зварювальний апарат	40	0,18	0,7
16	Обдирно-шліфувальний верстат	3	0,19	0,65
17	Шліфувальний верстат	4	0,18	0,65
18	Токарний верстат	15	0,15	0,7
19	Токарний верстат	15	0,15	0,7
20	Прес електричний (сервопрес)	40	0,15	0,7
21	Прес електричний (сервопрес)	22	0,14	0,7
22	Кран балка	7	0,11	0,5

План заготівельно-механічного цеху зображено на рис. 1.2.

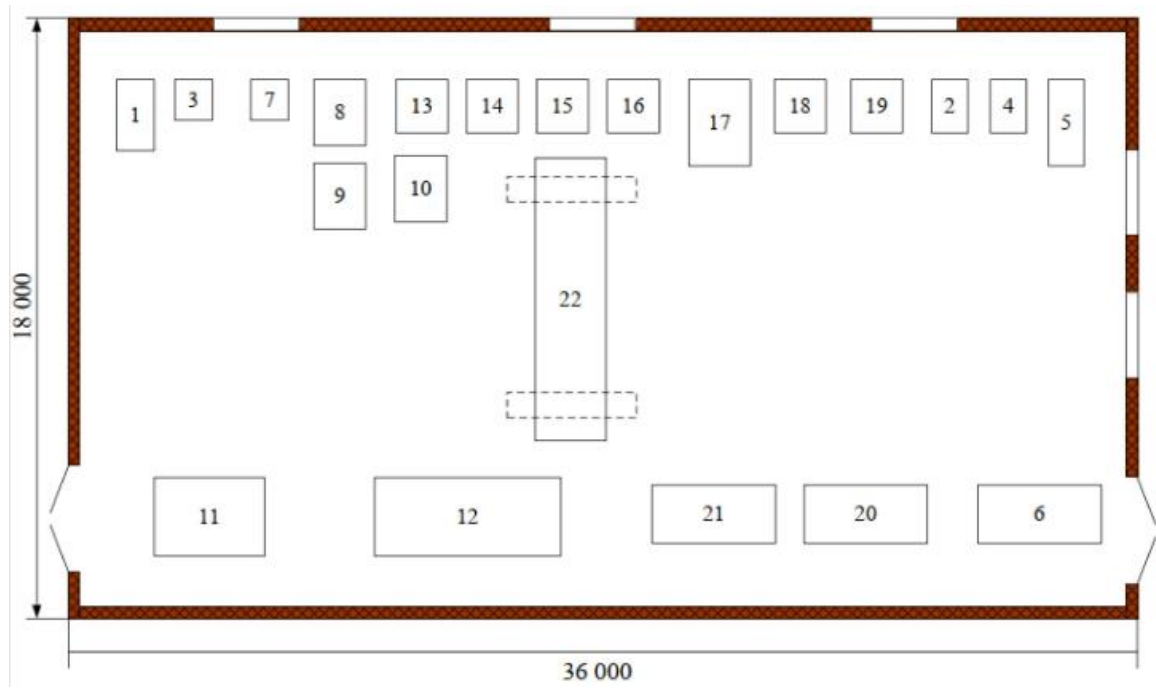


Рисунок 1.2 – План заготівельно-механічного цеху

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

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

Розрахунки цих величин покажемо на прикладі розрахунків:

- величина розрахункової активної потужності силового обладнання об'єкту:

$$P_C = K_{\text{П}} \cdot P_{\text{Н}}, \text{кВт}; \quad (2.1)$$

де $K_{\text{П}}$ – величина коефіцієнта попиту, вибирається із [1].

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

$$Q_C = P_C \cdot \text{tg}\varphi, \text{кВар}; \quad (2.2)$$

Розрахункова активна потужність систем освітлення в залежності від площі цеху:

$$P_0 = P_{\text{Пит.0}} \cdot K_{\text{ПО}} \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot F, \text{кВт}. \quad (2.3)$$

де $P_{\text{Пит.0}}$ – питома густина навантаження освітлювальної мережі складу готової продукції;

F – площа складу готової продукції;

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

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

Розрахункова реактивна потужність систем освітлення в цеху:

$$Q_0 = P_0 \cdot \text{tg}\varphi_0, \text{кВар}. \quad (2.4)$$

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

- величина загальної розрахункової активної потужності:

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	2. Рорухунок електричних навантажень підприємства	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Крючок Д.М.						
Перевірив		Романюк В.Т.					14	114
Реценз.		Столяров О.Я.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3		
Н. Контр.								
Затвердив		Балюта С.М.						

3. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Енергосистеми мають обмежені можливості генерування реактивної потужності [2-4]. Значна частина генерованої реактивної потужності споживається трансформаторами та ЛЕП. Тому в період максимуму навантаження енергосистеми можуть видати підприємствам обмежену кількість реактивної потужності. При зниженні реактивної потужності, що передається (збільшення $\cos\phi$), втрати активної потужності зменшуються. Зниження втрат активної потужності відносно реактивної, що передається, називається економічним еквівалентом. Величина його складає 0,02...0,12 кВт/квар і прямопропорційна віддаленості від джерела живлення.

Розподіл реактивної потужності у мережах промислового підприємства такий: асинхронні двигуни – 60-70 %, трансформатори – 20-30%, освітлювальні та інші електроприймачі – 10-15%. Виробництво реактивної потужності генераторами електростанцій і передача її до електроприймачів економічно недоцільна.

Компенсація реактивної потужності з одночасним покращанням якості електроенергії безпосередньо в мережах промислових підприємств є одним з основних напрямків скорочення втрат електричної енергії та підвищення ефективності електричних установок підприємства.

Реактивну потужність, що споживається електроприймачами, необхідно компенсувати (знижувати) до економічно обґрунтованого рівня. Необхідно враховувати такі загальні вимоги при компенсації: 1) на відміну від активної реактивну потужність можна генерувати в будь-якій точці мережі; 2) наближення джерел реактивної потужності до споживачів сприяє розвантаженню мережі; 3) баланс реактивної потужності має бути витриманий для усіх вузлів системи електропостачання.

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>			3. Компенсація реактивної потужності	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>					16	114
<i>Реценз.</i>		<i>Столяров О.Я.</i>				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3</i>		
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

Заходи щодо зниження реактивної потужності, що передається споживачам, можна поділити на дві групи: а) заходи, що не потребують додаткових капітальних вкладень і спрямовані на раціоналізацію режимів роботи електрообладнання у напрямку зменшення реактивних навантажень; б) заходи з додатковими капітальними вкладеннями, які полягають у встановленні спеціальних джерел реактивної потужності. Першочерговою при проектуванні є перша група заходів.

Для компенсації реактивних навантажень на промислових підприємствах використовують конденсатори, синхронні двигуни та статичні джерела реактивної потужності. Синхронні компенсатори практично не застосовуються, бо вони виготовляються тільки на великі потужності, характерні для підстанцій енергосистем. Конденсатори дістали найбільшого поширення. Невелика маса, відсутність частин, що обертаються, незначні втрати енергії, доступність обслуговування, безпечність і надійність в експлуатації дозволяють використовувати конденсатори для компенсації реактивної потужності на всіх ступенях системи електропостачання [2-4].

Конденсатори в порівнянні з іншими джерелами реактивної потужності мають ряд переваг [4]: малі втрати активної потужності (0,0025 – 0,005 кВт/квар); простота експлуатації; легкість виробництва монтажних робіт; невибагливість до приміщень (тільки сухе). Серед недоліків конденсаторів: залежність реактивної потужності, що генерується ними, від напруги; мала міцність (легко ушкоджуються, особливо при високих напругах вище номінального).

Згідно з ПУЕ конденсаторною батареєю (КБ) називається група одиничних конденсаторів, електрично з'єднаних між собою. До складу конденсаторної установки (КУ) входять конденсатори, а також допоміжне устаткування: вимикачі, роз'єднувачі, розрядні резистори, пристрої регулювання, захисту, сигналізації (рис. 3.1).

При індивідуальній компенсації конденсаторна установка підключається до затискачів електроприймача без комутаційних апаратів. Цей вид компенсації слід застосовувати тільки у відносно великих електроприймачах з великим числом

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

річних робочих годин. Індивідуальна компенсація дозволяє розвантажити від реактивних струмів усю мережу виробничого підприємства. У разі групової компенсації конденсаторна установка підключається до шинопроводів або до шин розподільних пунктів мережі 0,38 кВ. Цей спосіб дозволяє збільшити час використання конденсаторів.

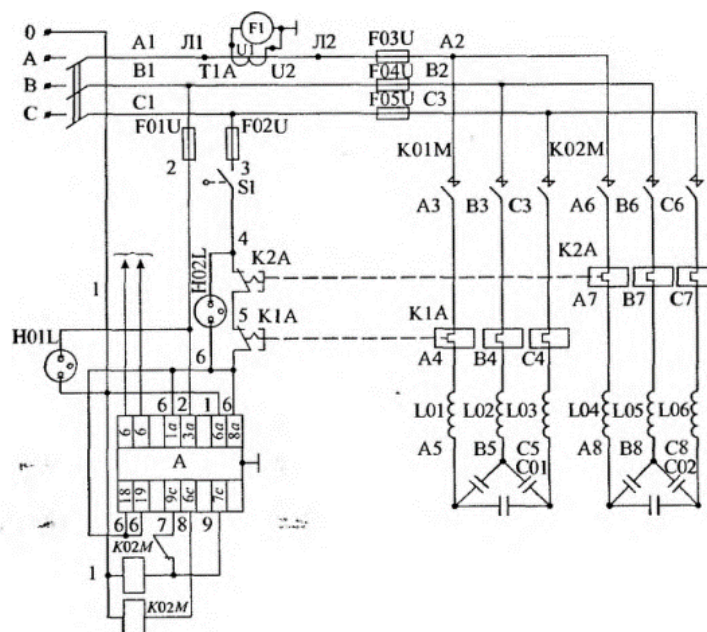


Рисунок 3.1 – Схема комплектної конденсаторної установки типу УКМ

При виборі засобів компенсації необхідно враховувати, що максимальний економічний ефект досягається у разі розміщення їх у місцях споживання реактивної потужності. Місце установки регульованих конденсаторних батарей у мережах до 1000 В визначають з урахуванням регулювання напруги мережі чи регулювання реактивної потужності.

При виборі засобів компенсації реактивної потужності вихідними даними є такі вимоги енергосистеми:

1. Економічно обґрунтована максимальна величина реактивної потужності, яка може бути передана з енергосистеми у мережу;
2. Найменша реактивна потужність, яка може бути передана у мережу в режимі найменших навантажень енергосистеми (нічний мінімум);
3. Максимальна реактивна потужність, що передається з енергосистеми в післяаварійних режимах.

Як показують розрахунки [4], при потужності компенсуючого пристрою менше 5000 квар при напрузі 6 кВ і 10000 квар при напрузі 10 кВ економічно доцільною є застосування статичних конденсаторів. Якщо необхідна потужність компенсуючого пристрою більше вищевказаних параметрів, то слід виконати техніко-економічні розрахунки, враховуючи графік споживання реактивного навантаження і вимоги енергосистеми задля виявлення ефективності використання синхронних компенсаторів.

У загальному випадку потужність всіх компенсуючих пристроїв визначається необхідним балансом реактивної потужності на межі електричного розподілу підприємства і енергосистеми у період її найбільшого активного навантаження:

$$Q_{HK1} = Q_{m1} - Q_{e1} \quad (3.1)$$

За обраним числом трансформаторів визначаємо максимальну реактивну потужність, яку доцільно передати через трансформатор ТП у мережу напругою до 1000 В:

$$Q_T = \sqrt{(N_{TE} \cdot \beta_T \cdot S_T)^2 - P_P^2} \quad (3.2)$$

де N_{TE} – кількість трансформаторів у групі, шт;

β_T – очікуваний коефіцієнт завантаження трансформаторів;

S_T – номінальна потужність трансформатора в групі, кВА;

P_P – розрахункова активна потужність електроприймачів напругою до 1000 В.

Отже,

$$Q_T = \sqrt{(4 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 2249,6^2} = 1667 \text{ кВар.}$$

В результаті розрахунку навантажень підприємства отримали значення розрахункової реактивної потужності $Q_{m1} = 1453,8$ кВар.

Отже,

$$Q_{HK1} = 1453,8 - 1667 = -213 \text{ кВар.}$$

Так як $Q_{HK1} < 0$, то приймаємо $Q_{HK1} = 0$.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На другому етапі додаткова сумарна потужність КУ для даної групи трансформаторів ТП:

$$Q_{HK2} = Q_{M1} - Q_{HK1} - \gamma \cdot N_{TE} \cdot S_T, \quad (3.3)$$

γ – розрахунковий коефіцієнт, що залежить від схеми живлення та кількості робочих змін, визначається за номограмами, приймаємо $\gamma = 0,169$.

$$Q_{HK2} = 1453,8 - 0 - 0,169 \cdot 4 \cdot 1000 = 777,8 \text{ кВар.}$$

Реактивна потужність на межі електричного розподілу підприємства і енергосистеми у період її найбільшого активного навантаження $Q_{e1} = Q_{HK2} = 777,8 \text{ кВар.}$

Отже:

$$Q_K = Q_{M1} - Q_{HK2}, \quad (3.4)$$

$$Q_K = 1453,8 - 777,8 = 676, \text{ кВар.}$$

Для компенсування всієї реактивної потужності підприємства вибираємо конденсаторну установку компенсації реактивної потужності на напругу 10 кВ.

Високовольтні конденсаторні установки [5] призначені для підвищення коефіцієнта потужності електроустановок підприємств промисловості і розподільних мереж напругою 6 або 10 кВ змінного струму, частотою 50 Гц систем з ізольованою нейтраллю, що встановлюються в регіонах з помірним кліматом усередині приміщень (від -30°C до $+40^\circ \text{C}$).

Високовольтні конденсаторні установки УКРМ 10 кВ застосовуються для компенсації реактивної потужності в високовольтних мережах і відповідно підвищення значення коефіцієнта потужності $\cos(\phi)$.

Установки компенсації реактивної потужності 10кВ можуть бути:

- автоматичні високовольтні конденсаторні установки;
- нерегульовані високовольтні конденсаторні установки.

Автоматичні конденсаторні установки 10 кВ.

Призначені для роботи в мережах зі змінним навантаженням. У даних пристроях встановлений мікропроцесорний контролер, який автоматично вибирає потрібну ступінь компенсації при даному навантаженні. Це забезпечує

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нормальну роботу в години мінімального і максимального навантаження, а також виключає перекомпенсацію мережі.

Застосування регульованих високовольтних конденсаторних установок забезпечує роботу без участі обслуговуючого персоналу в автоматичному режимі. Застосування УКРМ 10 кВ забезпечує зниження струмового навантаження на лініях електропередач, трансформаторних підстанціях, а також стабілізувати роботу енергосистеми.

Автоматичні конденсаторні установки складаються з високовольтних комірок в звареному металевому корпусі з'єднаними між собою. Складається з вступної комірки та комірки з високовольтними конденсаторами. Вступна осередок складається з вступного роз'єднувачі з приводом. У ній встановлюються блоки релейного захисту та регулятор реактивної потужності. На двері встановлені амперметри, вольтметри і лампи індикації. В осередках, де встановлені ступені розташовуються конденсатори і високовольтні контактори, а також запобіжники відповідного номіналу.

Високовольтні конденсаторні установки типу УКРМ 10 кВ відповідають ТУ та здійснюють:

- автоматичне регулювання ступенів, шляхом включення і відключення ступенів регулювання;
- ручне регулювання шляхом включення і відключення відповідних ступенів;
- струмовий захист і захист від мінімального і максимального напруження;
- індикацію струму конденсаторних батарей і косинуса енергосистеми.

Використання високовольтних пристроїв для компенсації реактивної потужності з автоматичним регулюванням є сучасним рішенням, що забезпечує гарне функціонування енергосистеми та дозволяє економити кошти за реактивну електроенергію і ресурс комутуючих апаратів. Також застосування автоматичних конденсаторних установок виключає перекомпенсацію енергосистеми.

Умова вибору КУ:

$$Q_{\text{ном уст}} > Q_{K1} \quad (3.5)$$

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обираю дві установки УКРМ-10,5 -450- (3х150) УЗ (рис.3.2) [6]:

$$2 \cdot 450 \text{квар} > 676 \text{ квар.}$$



Рисунок 3.2 – Установка компенсации реактивной мощности
УКРМ-10,5 -450- (3х150) УЗ

Характеристики УКРМ-10,5 -450- (3х150) УЗ:

номинальная напруга 10,5 кВ;

потужність уставки 450 квар;

потужність найменшої ступені регулювання 150 квар;

кількість ступенів 3;

конфігурація установки: 150+150+150;

категорія використання УЗ (в приміщенні), ступінь захисту, IP21.

										Арк.
										22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2025 141					

4. ВИБІР МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЦРП

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

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

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

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

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

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

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

Інформація про розподіл навантаження між ТП підприємства а також дані про завантаження трансформаторів наведено в табл. 4.1. Розподіл навантаження доцільно здійснювати таким чином, щоб зменшити перетоки потужностей, що веде до зменшення втрат в лініях живлення.

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>			4.Вибір місця встановлення црп	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>					23	114
<i>Реценз.</i>		<i>Столяров О.Я.</i>				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3</i>		
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

Чим нижчий клас напруги і чим довші лінії живлення тим виникають більші втрати електроенергії. Тому доцільно розподілити навантаження між ТП таким чином, щоб мінімізувати довжину ліній 0,4 кВ.

Параметри трансформатора ТМ-1000/10 трансформаторної підстанції заводу в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Розподіл навантаження між ТП заводу

№ТП	№ цеху	Назва цеху	Рр, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА	St, кВА	N, шт.	Кз. в.о.
ТП1	1	Адміністративна будівля	47,1	24,5	53,1	1000	2	0,69
	2	Службове приміщення	49,0	24,5	54,8			
	3	Виробничий корпус №1	457,8	308,3	551,9			
	4	Арматурний цех	143,3	108,5	179,7			
	5	Виробничий корпус №2	457,5	292,9	543,3			
		Всього по ТП1	1154,7	758,7	1382,8			
ТП2	6	Виробничий корпус №3	470,1	289,8	552,3	1000	2	0,65
	7	Відвантажувальний відділ	216,4	137,5	256,4			
	8	Склад	181,5	84,9	200,4			
	9	Заготівельно-механічний цех	68,5	76,9	103,0			
	10	Котельня	72,3	46,9	86,2			
	11	Компресорна станція	85,9	59,1	104,3			
		Всього по ТП2	1094,7	695,1	1302,6			

Таблиця 4.2 – Параметри трансформатора ТМ-1000/10

Тип	$S_{ном}$, МВ·А	Границі регулювання, %	Каталожні дані					
			$U_{ном}$, кВ		U_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %
			ВН	НН				
ТМ-1000/10	1	$\pm 5 * 2,5\%$	10	0,4	4,5	10,8	1,9	1,0

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

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi}^{\Sigma} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}^{\Sigma}}, \quad (4.1)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi}^{\Sigma} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}^{\Sigma}}, \quad (4.2)$$

де n – кількість цехів заводу;

X_i, Y_i — координати центра навантажень окремого цеху заводу.

Дані для даного розрахунку беремо з табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Координати розміщення ЕП

№	Цех	ТП	Рр. кВт	X, м	У, м	Рр*Х, кВт*м	Рр*У, кВт*м
1	Адміністративна будівля	1	47,1	350	24	16485	1130,4
2	Службове приміщення	1	49,0	274	26	13426	1274
3	Виробничий корпус №1	1	457,8	179	94	81946,2	43033,2
2	Арматурний цех	1	143,3	276	94	39550,8	13470,2
5	Виробничий корпус №2	1	457,5	370	94	169275	43005
6	Виробничий корпус №3	2	470,1	179	187	84147,9	87908,7
7	Відвантажувальний відділ	2	216,4	276	223	59726,4	48257,2
8	Склад	2	181,5	350	187	63525	33940,5
9	Заготівельно-механічний цех	2	68,5	415	225	28427,5	15412,5
10	Котельня	2	72,3	415	155	30004,5	11206,5
11	Компресорна станція	2	85,9	415	194	35648,5	16664,6
			ΣРр. кВт	ΣРр *Х/ ΣРр	ΣРр *У/ ΣРр	ΣРр *Х, кВт*м	ΣРр *У, кВт*м
	Сумарно по ТП1		1154,7	277,72	88,26	320683	101912,8
	Сумарно по ТП2		1094,7	275,40	194,93	301479,8	213390
	Координати ЦЕН		2249,4	276,59	140,17	622162,8	315302,8

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

Розміщувати трансформаторні підстанції не завжди є змога в точці з оптимальним координатами та перетоком потужності. В місці з оптимальними координатами можуть знаходитися споруди, дороги чи лінії комунікацій. Отже, встановлюємо ТП максимально близько до оптимальних координат враховуючи при цьому специфіку забудови на території даного підприємства. Вибір оптимальних координат розміщення ТП відносно розрахованих показано у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Вибір координат оптимального розміщення ТП

	Розраховані координати		Оптимальні на генплані координати	
	Х,м	У, м	Х, м	У, м
ТП-1	277,72	88,26	255	55
ТП-2	275,40	194,93	245	150
ЦРП	276,59	140,17	118	45

Розраховуємо і будуємо картограму навантажень на генплані.

Розглянемо на прикладі розрахунок адміністративної будівлі.

Сумарна потужність:

$$P_{P\Sigma} = P_{OC} + P_p \quad (4.3)$$

$$P_{P\Sigma} = 25 + 22,1 = 47,1 \text{ кВт}$$

Радіус кола пропорційно навантаженню цеху буде визначатися за формулою:

$$r = \sqrt{\frac{P_{P\Sigma}}{\pi \cdot m}}, \quad (4.4)$$

де $m = 0,1$ - масштаб площі кола, який вибирається проаналізувавши картограму,

$$r = \sqrt{\frac{47,1}{3,14 \cdot 0,1}} = 12,25, \text{ м}$$

Кут, що обмежує сектор освітлювального навантаження цеху:

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\gamma = \frac{P_{PO}}{P_{PS}} \cdot 360^\circ, \quad (4.5)$$

$$\gamma = \frac{22,12}{47,12} \cdot 360^\circ = 168,99^\circ.$$

Аналогічно розраховуємо інші приміщення, результати в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахункові дані для побудови картограми навантажень

№	Цех	X, м	Y, м	Pp, кВт	Ро, кВт	г, м	γ°	d, м
1	Адміністративна будівля	350	24	46,24	22,24	12,25	168,99	24,50
2	Службове приміщення	274	26	63,19	27,99	12,50	213,15	24,99
3	Виробничий корпус №1	179	94	460,77	198,27	38,18	173,65	76,37
4	Арматурний цех	276	94	157,50	67,50	21,36	184,10	42,72
5	Виробничий корпус №2	368	94	461,39	181,39	38,17	155,41	76,34
6	Виробничий корпус №3	178	187	468,37	198,27	38,69	178,51	77,39
7	Відвантажувальний відділ	276	223	176,64	102,64	26,25	230,24	52,50
8	Склад	350	187	137,64	99,64	24,04	280,68	48,09
9	Заготівельно-механічний цех	414	225	97,49	8,71	14,77	36,32	29,54
10	Котельня	414	157	80,88	17,63	15,18	68,81	30,35
11	Компресорна станція	414	194	82,38	26,13	16,54	108,60	33,08

Картограма навантажень на генплані підприємства на рисунку 4.1.

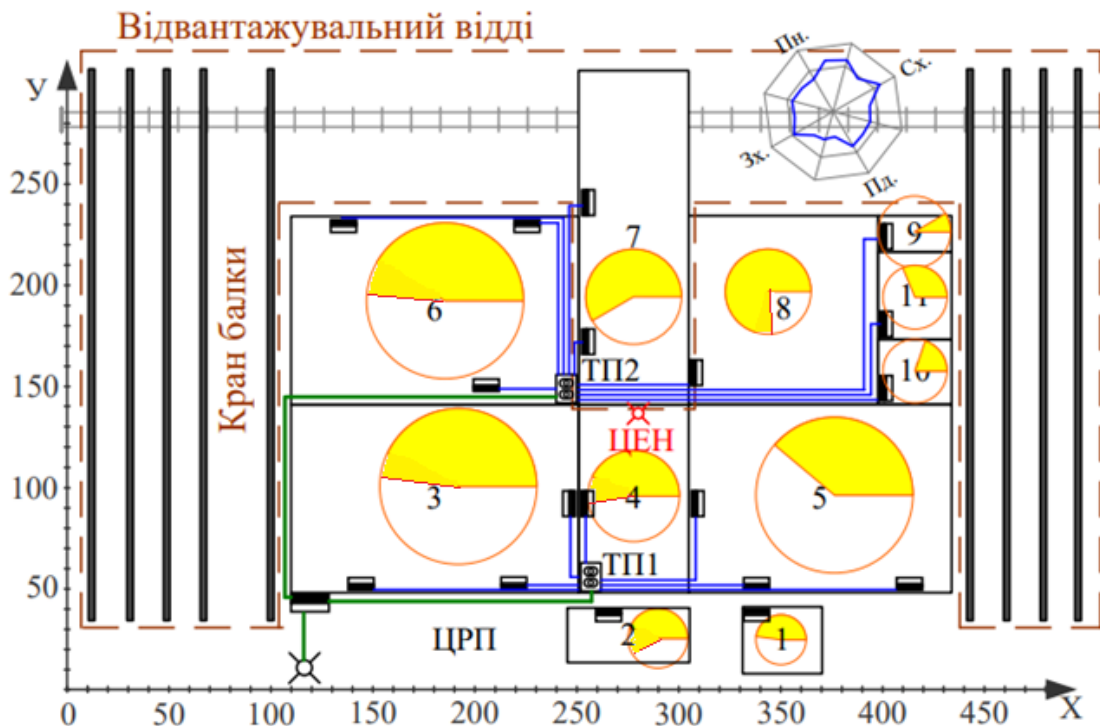


Рисунок 4.1 – Картограма навантажень на плані підприємства

5. ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИВЛЯЧОЇ ТА РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ

Вимоги до схем електропостачання (СЕ) залежать від багатьох факторів, сутність основних з них зводиться до наступного [8]: джерела живлення необхідно максимально наближати до електроустановок споживачів; СЕ повинна забезпечувати необхідну надійність живлення підприємства й окремих споживачів відповідно до їхньої категорії за ступенем надійності; СЕ повинні будуватися таким чином, щоб усі їхні елементи постійно знаходилися під напругою; робота всіх елементів схеми повинна передбачатися, як правило, роздільна, тому що при паралельній роботі збільшуються струми короткого замикання й ускладнюються пристрої релейного захисту; при побудові СЕ необхідно застосовувати глибоке секціонування шин у всіх ланках системи розподілу енергії, починаючи від вузлової підстанції і закінчуючи шинами підстанцій нижчої напруги; повинні передбачатися заходи щодо забезпечення необхідних показників якості електроенергії; система електропостачання як у схемній, так і в конструктивній частині повинна передбачати і забезпечувати можливість зростання електричних навантажень; СЕ повинна задовольняти економічності, що відповідає мінімуму розрахункових витрат, простоті, зручності і безпеці експлуатації. Такі найголовніші вимоги до систем електропостачання на всіх її ступенях.

Схеми електропостачання підприємств мають ступеневу побудову. Число ступеней залежить від потужності підприємства і характеру розміщення електричних навантажень на його території. В нашому випадку маємо підприємство малої потужності (2,5 Мвт). Застосовується дві ступені. На першій ступені розподілу електроенергії (зовнішнє електропостачання) застосовується система повітряної лінії напругою 110 кВ. При цьому під першою ступінню

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>			5.Вибір схеми електропостачання живлячої та розподільчої мережі	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>					28	114
Реценз.		<i>Столяров О.Я.</i>				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3</i>		
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

розподілу енергії мається на увазі мережна ланка між джерелом живлення підприємства і підстанціями глибокого вводу (ПГВ), якщо розподіл виробляється при напрузі 110 кВ, або між головною знижувальною підстанцією (ГЗП) і високовольтним розподільним пунктом (ВРП), якщо розподіл виробляється при напрузі 10 кВ. Під другою ступінню розподілу енергії (внутрішнє високовольтне електропостачання) мається на увазі мережна ланка між ВРП чи розподільним пристроєм (РП) вторинної напруги ПГВ і трансформаторними підстанціями (ТП) чи ж окремими електроприймачами напругою 10 кВ: електродвигунами, перетворювачами тощо. Під третьою ступінню розподілу енергії (внутрішнє низьковольтне електропостачання) мається на увазі мережна ланка між ТП і споживачами електроенергії напругою до 1000 В.

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

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

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

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

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

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

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

Центральний розподільний пристрій (РПр) 10 кВ виконується, як правило, закритого типу, має в більшості випадків одинарну секційну систему шин. У разі використання двох обмоткових трансформаторів з розщепленою неперемкненою вторинною обмоткою може мати подвійну секційну систему шин. Він складається з комплектних розподільних пристроїв (КРПр). До складу КРПр входять ввідні КРПр, які розташовуються посередині секції шин, трансформатора власних потреб, шино-з'єднуючого КРПр, КРПр для відгалужень до окремих споживачів (РП, трансформаторів і т.п), вимірювальних трансформаторів, конденсаторних батарей. Передбачається встановлення розрядників на стороні 10 кВ, а також резервних КРПр для відгалужень. Можлива електрична схема розподільного пристрою 10 кВ наведена на рисунку 5.1.

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

Радіальні і магістральні схеми з однобічним живленням можуть виконуватися одноступеневими та двоступеневими. В двоступеневій схемі на першій ступені електроенергія підводиться від джерела живлення до розподільних пунктів, а на другій – від розподільних пунктів безпосередньо до споживачів. При цьому в ряді випадків може виявитися доцільним сполучення

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

радіальної схеми на першій ступені з магістральною на другій ступені чи навпаки. На будь-якій ступені можливо також живлення однієї частини споживачів за радіальною схемою, а іншої — за магістральною.

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

Отже обираємо одноступеневу радіальну схему розподільної мережі.

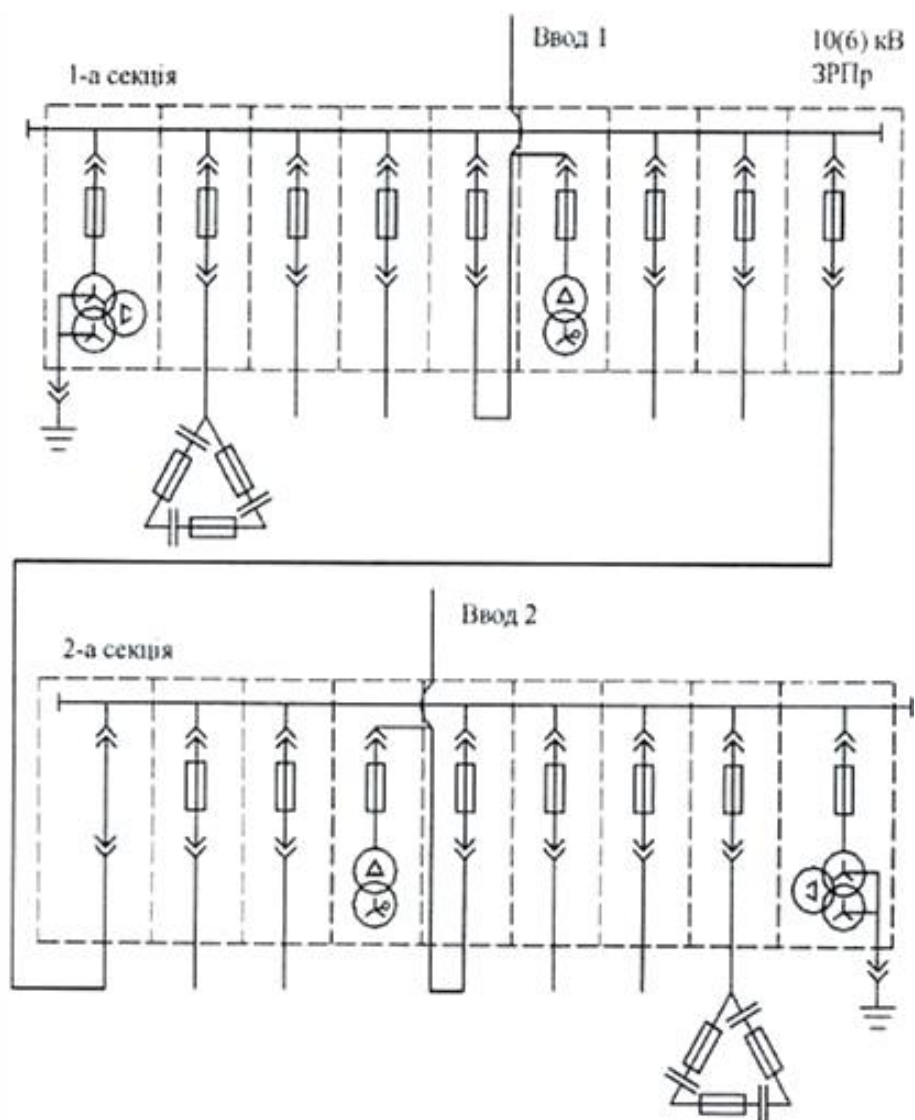


Рисунок 5.1 – Електрична частина розподільного пристрою 10 кВ ЦРП

6. ВИБІР ТА РОЗМІЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

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

1. Окремо збудована ТП (рис. 6.1)

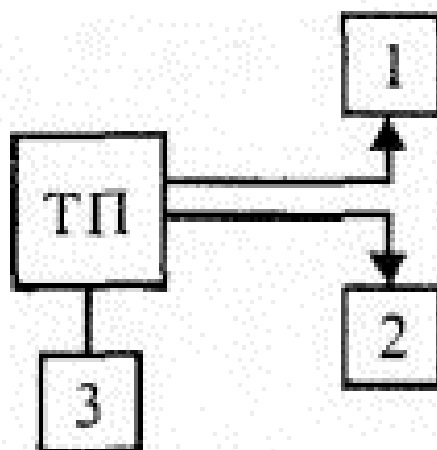


Рисунок 6.1 – Схема підключення окремо збудованої ТП

1.. 3 - цехи підприємства

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

2. Прибудована ТП (рис. 6.2,а).

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

					ДП 2025 141						
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	6. Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій						
Розробив		Крючок Д.М.							<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перевірив		Романюк В.Т.								32	114
Реценз.		Столяров О.Я.							ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3		
Н. Контр.											
Затвердив		Балюта С.М									

BW - лічильник, EL - лампа, F1-F6- запобіжники, FV1-FV6 -розрядники, KA1-KA3 реле струму, KL - реле проміжне, KM - пускач магнітний, KS -фотореле, Q - роз'єднувач, R1-R3 - резистори, S - рубильник, SA1-SA3 - перемикач, SAB вимикач кінцевий, SF1-SF3 - автоматичний вимикач, Т - трансформатор силовий, ТА1-ТА3 - трансформатори струму.

Отже, обираємо внутрішньоцехову вбудовану підстанцію. Підстанція монтується в середині цеху, між колонами, в мертвій зоні мостових кранів і таким чином, щоб не заважати руху цеховому транспорту. Для монтажу в цеху дозволяється ставити тільки КТП (комплектна трансформаторна підстанція) за рис.6.4.

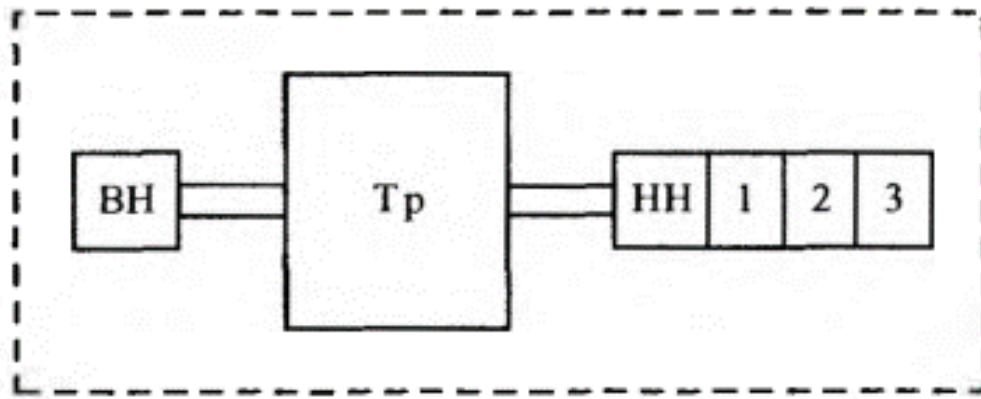


Рисунок 6.4 – Конструкція однострансформаторної КТП

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

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

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

НН – шафа вводу нижчої напруги. В ній розміщується автоматичний вимикач вводу.

1,2,3 - шафи лінії до споживачів.

Пунктир – огорожа підстанції з металевої сітки.

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

7. РОЗРАХУНОК РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ

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

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

Визначаємо струми нормального та максимального режимів навантаження:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{пл}} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{2685,4}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 77,52 \text{ А.} \quad (7.1)$$

$$I_{\text{макс}} = 2 \cdot I_{\text{норм}} = 2 \cdot 77,52 = 155 \text{ А.} \quad (7.2)$$

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

Знаходимо економічно вигідний переріз повітряної лінії:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{макс}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{155}{1,1} = 140,9 \text{ мм}^2. \quad (7.3)$$

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

$$S_{\text{ст}} = 150 \text{ мм}^2 > S_{\text{ек}} = 140,9 \text{ мм}^2 \quad (7.4)$$

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

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

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

$$\Delta U_{\%} = \frac{P_3 \cdot R + Q_3 \cdot X}{U_{\text{н}}^2} \cdot 100\% < 5\%; \quad (7.5)$$

$$R = r_0 \cdot l = 0,206 \cdot 5,0 = 1,03 \text{ Ом}; \quad (7.6)$$

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>			7. Розрахунок розподільчих мереж	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>					35	114
<i>Реценз.</i>		<i>Столяров О.Я.</i>				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3</i>		
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

$$X = x_0 \cdot l = 0,079 \cdot 5 = 0,395 \text{ Ом}; \quad (7.7)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{P_3 \cdot R + Q_3 \cdot X}{U_H^2} \cdot 100\% = \quad (7.8)$$

$$= \frac{2249,6 \cdot 1,03 + 1453,8 \cdot 0,395}{10^2} \cdot 100\% = 2,9\% < 5\%.$$

Отже, за умовою нагріву провід такого перерізу можна використовувати.

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

Визначаємо струми нормального та максимального режимів навантаження

ТП1:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{ртп1}}}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{пл}} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{1382,8}{\sqrt{3} \cdot 1 \cdot 10} = 79,83 \text{ А},$$

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

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

Знаходимо економічно вигідний переріз лінії:

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

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

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

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

Аналогічно визначаємо струми нормального та максимального режимів навантаження ТП2.

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

$$U_{\text{номВ}} \geq U_{\text{ном мер}} \quad (7.9)$$

$$I_{\text{номВ}} \geq I_{\text{мах}} \quad (7.10)$$

Для встановлення на стороні 10 кВ вибираємо вакуумний вимикач

ВВ/TEL 10-20/1000. Номінальний струм даних вимикачів

$$I_{\text{ном.вм.ав}}=1000 > I_{\text{мах}} = 155 \text{ А}. \text{ Час відключення вимикача складає } 0,075 \text{ с}.$$

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

У табл. 7.1 представлена інформація про типи вимикачів і ліній електропередачі в залежності від типу підключення.

Таблиця 7.1 – Захисні апарати та лінії живлення СЕП

Лінія	Sp.кВА	Ip.А	Вимикач	$I_{НОМ.ВМ.ав}$ А	Провод	S. мм*	L. м	$I_{доп}$, А
С-ЦРП	2631,9	77,52	ВВ/ТЕЛ 10-20/1000	1000	АПвЭгаПу-10 3*150	3x150	5000	320
ЦРП-ТП1	1460,78	79,83	ВВ/ТЕЛ 10-20/1000	1000	АПвЭгаПу-10 3*150	3x150	150	320
ЦРП-ТП2	1268,66	75,2	ВВ/ТЕЛ 10-20/1000	1000	АПвЭгаПу-10 3*150	3x150	250	320

Схема високовольтна підприємства показана на рис. 7.1.

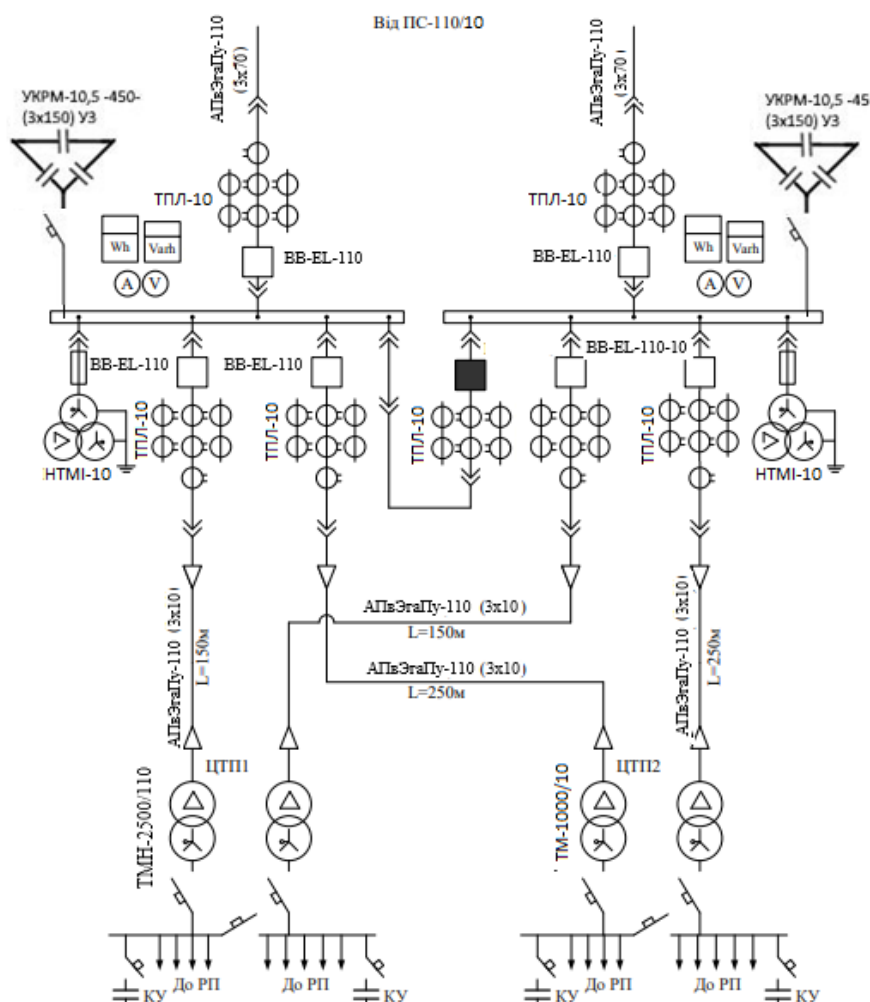


Рисунок 7.1 – Схема електропостачання заводу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

8. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Порушення нормальної роботи електричних установок і системи електропостачання обумовлені часто короткими замиканнями і замиканнями на землю [9]. Коротким замиканням (КЗ) називається будь-яке непередбачене нормальним режимом замикання між струмоведучими частинами, що належать до різних фаз. Замиканням на землю називається будь-яке непередбачене нормальним режимом замикання на землю струмовідних частин.

Причинами короткого замикання є механічні пошкодження ізоляції, її пробій від перенапруг і старіння, обриви, накиди та перетини проводів, повітряних ліній, помилкові дії обслуговуючого персоналу.

При КЗ зменшується загальний опір проводів і струмовідних частин системи електропостачання, що призведе до збільшення струмів і зниженню напруги, особливо в точці КЗ. Часто в точці КЗ виникає електрична дуга, що утворює перехідний опір. Безпосереднє КЗ без перехідного опору називається металевим КЗ. Зневага перехідним опором спрощує розрахунки й забезпечує максимальне значення струму КЗ при тих самих вихідних умовах, що вкрай важливо для вибору апаратури. Струми КЗ в електричних установках можуть досягати значних величин. Ці аварійні струми становлять небезпеку для апаратури й струмовідних частин електричних установок, тому що останні можуть перегріватися понад припустиму температуру й піддаватися великим механічним діям.

Внаслідок короткого замикання в колі виникають небезпечні для елементів кола струми, які можуть вивести його з ладу. Тому для забезпечення надійності роботи цих мереж, електрообладнання пристроїв релейного захисту проводиться розрахунок струмів короткого замикання.

					<i>ДП 2025 141</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>			8. Розрахунок струмів короткого замикання	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>					38	114
Реценз.		<i>Столяров О.Я.</i>						
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						
						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3</i>		

Місце розташування точок короткого замикання вибираємо таким чином, щоб при короткому замиканні електрообладнання, що перевіряється, та провідники знаходились в найбільш невідгідних умовах.

Для розрахунку струмів короткого замикання необхідно скласти розрахункову схему (рис.8.1) та схему заміщення (рис.8.2). В схему заміщення включені всі елементи зі своїми опорами, приведеними до базових умов.

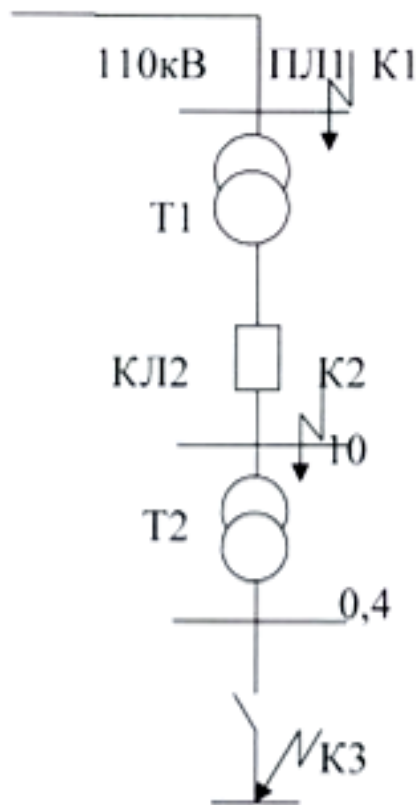


Рисунок 8.1 – Розрахункова схема визначення струмів КЗ

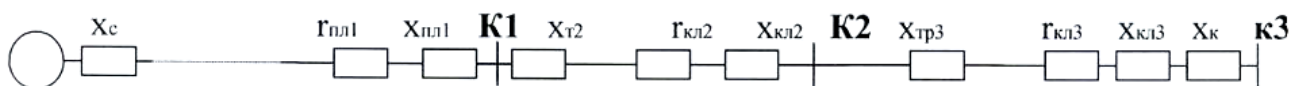


Рисунок 8.2 – Схема заміщення для визначення струмів КЗ

Розрахунок струмів короткого замикання проводимо у відносних базисних величинах. Електроустаткування, встановлюване в системах електропостачання, повинно бути стійким до струмів К.З. і вибиратися з урахуванням сили цих струмів.

1. Задаємося базисним значенням потужності: $S_6 = 1000$ МВА

2. Задаємося базисними значеннями напруг:

$$U_{61} = 115 \text{ кВ}$$

$$U_{62} = 10,5 \text{ кВ}$$

$$U_{63} = 0,4 \text{ кВ}$$

3. Визначаємо базисні струми:

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02, \text{ кА}, \quad (8.1)$$

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,99, \text{ кА}, \quad (8.2)$$

$$I_{63} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{63}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1443,38, \text{ кА}. \quad (8.3)$$

4. Визначаємо опір схеми заміщення:

а) ПЛ:

$$X_{ПЛ1*} = X_{*б.л.} = \frac{x_0 L S_6}{U_{61}^2} = \frac{0,275 \cdot 20 \cdot 1000}{115^2} = 0,416, \quad (8.4)$$

$$r_{ПЛ1*} = r_{*б.л.} = \frac{r_0 L S_6}{U_{61}^2} = \frac{0,46 \cdot 20 \cdot 1000}{115^2} = 0,696. \quad (8.5)$$

б) Трансформатора на ГПП: Живлення підприємства здійснюється від підстанції енергосистеми, на якій встановлено два двообмоткових трансформатори потужністю 2500 кВ·А, кожен, з первинною напругою 110 кВ і вторинною - 10 кВ. Параметри трансформатора типу ТМН-2500/110 в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Технічна характеристика трансформатора ТМН-2500/110

Тип	$S_{ном},$ МВ·А	Границі регулювання, %	Каталожні дані						Розрахункові дані		
			$U_{ном},$ кВ		$U_k,$ %	$\Delta P_k,$ кВт	$\Delta P_x,$ кВт	$I_x,$ %	$R_T,$ Ом	$X_T,$ Ом	$\Delta Q_x,$ квар
			ВН	НН							
ТМН-2500/110	2.5	$\pm 10 * 1,5\%$ $\pm 8 * 1,5\%$	110	6,6;10,5	10,5	22	5.5	1,5	42,6	508,2	37,5

					<i>ДП 2025 141</i>					Арк.
										40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$X_{T2*} = X_{*б.т.} = \frac{U_K S_6}{100 \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 2,5} = 42; \quad (8.6)$$

в) КЛЕП:

$$X_{ПЛ2*} = X_{*б.л.} = \frac{x_0 L S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,079 \cdot 5 \cdot 1000}{10,5^2} = 3,58,$$

$$r_{ПЛ2*} = r_{*б.л.} = \frac{r_0 L S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,206 \cdot 5 \cdot 1000}{10,5^2} = 9,34.$$

5. Трансформатор на підстанції № 3:

$$X_{Т3} = X_{*б.т.} = \frac{U_K S_6}{100 \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{5,5 \cdot 1000}{100 \cdot 2} = 27,5.$$

Визначаємо силу струмів К.З.:

Точка К-1

$$z_{1*} = \sqrt{(x_{1*} + x_c)^2 + r_{1*}^2} = \sqrt{(0,416 + 0,5)^2 + 0,696^2} = 1,15, \quad (8.7)$$

$$I_{к1} = \frac{I_{61}}{z_{1*}} = \frac{5,02}{1,15} = 4,37 \text{ кА}, \quad (8.8)$$

$$i_{y1} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,37 = 11,12 \text{ кА}. \quad (8.9)$$

де $K_y = 1,8$.

Аперіодична стала часу для системи:

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(k_y - 1)} \text{ с}; \quad (8.10)$$

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(1,8 - 1)} = 0,045 \text{ с};$$

де $k_y = 1,8$ – ударний коефіцієнт.

Час протікання К.З.:

$$\tau_{к.з.} = \tau_{р.з.} + \tau_{в.в.} \text{ с}, \quad (8.11)$$

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

$$\tau_{к.з.} = 0,32 + 0,08 = 0,4 \text{ с.}$$

Аперіодична складова струму К.3.:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{к1} \cdot e^{\frac{-\tau_{nb}}{\tau_a}} \text{ кА,} \quad (8.12)$$

$$i_a = \sqrt{2} \cdot 4,37 \cdot e^{\frac{-0,09}{0,045}} = 0,84 \text{ кА.}$$

Тепловий імпульс:

$$B_K^{к1} = (I_{к1})^2 \cdot (\tau_{к.з.} + T_a) \text{ кА}^2 \cdot \text{с,} \quad (8.13)$$

$$B_K^{к1} = (4,37)^2 \cdot (0,4 + 0,045) = 8,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с,}$$

Перевіряємо КЛ, яка йде від джерела за умовою:

$$S_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{B_K^{к1}}}{C} < S_{\text{СТ}}^{\text{КЛ}} \text{ мм}^2, \quad (8.14)$$

$$S_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{8,5 \cdot 10^6}}{90} = 32,4 \text{ мм}^2 < S_{\text{СТ}}^{\text{КЛ}} = 150 \text{ мм}^2,$$

Точка К-2

$$X_{\Sigma 2} = X_{Т2} + X_{кЛ2} + X_c + X_{пл1} = 42 + 3,58 + 0,5 + 0,416 = 46,5, \quad (8.15)$$

$$r_{\Sigma 2} = r_{пл1} + r_{кЛ2} = 0,696 + 9,34 = 10,04 \quad (8.16)$$

Активний опір не враховуємо, тому що $r_{\Sigma 2} \leq 0,3X_{\Sigma 2}$, $10,04 \text{ Ом} \leq 46,5 \text{ Ом}$.

$$I_{к2} = \frac{I_{б2}}{X_{\Sigma 2}} = \frac{54,99}{46,5} = 1,183 \text{ кА}$$

$$i_{y2} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к2} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,183 = 3,01 \text{ кА,}$$

де $K_y = 1,8$.

$$S_{к2} = \frac{S_{б}}{X_{\Sigma 2}} = \frac{1000}{46,5} = 21,5 \text{ МВА.} \quad (8.17)$$

Аперіодична стала часу для системи:

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

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(K_y - 1)} \text{ с};$$

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(1,8 - 1)} = 0,045 \text{ с};$$

де $k_y = 1,8$ – ударний коефіцієнт.

Час протікання К.З.:

$$\tau_{\text{К.З.}} = \tau_{\text{р.з.}} + \tau_{\text{в.в.}} \text{ с},$$

$$\tau_{\text{К.З.}} = 0,32 + 0,08 = 0,4 \text{ с}.$$

Аперіодична складова струму К.З.:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{\text{к2}} \cdot e^{\frac{-\tau_{nb}}{\tau_a}} \text{ кА},$$

$$i_a = \sqrt{2} \cdot 1,183 \cdot e^{\frac{-0,09}{0,045}} = 0,23 \text{ кА}.$$

Тепловий імпульс:

$$B_{\text{к}}^{\text{к2}} = (I_{\text{к2}})^2 \cdot (\tau_{\text{К.З.}} + T_a) \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$B_{\text{к}}^{\text{к2}} = (1,183)^2 \cdot (0,4 + 0,045) = 0,62 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

Точка К-3. Опір контактів для цехових ТП

$$r_{\text{к}} = 20 \text{ Ом}.$$

Опір кабельних ліній, що живлять ТП потужністю 1000 кВА

$$r_{\text{кЛЗ}} = r_0 \cdot I_{\text{кЛ}} \cdot \left(\frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3, \quad (8.18)$$

$$r_{\text{кЛЗ}} = 0,07 \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,034,$$

$$X_{\text{кЛЗ}} = x_0 \cdot I_{\text{кЛ}} \cdot \left(\frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3, \quad (8.19)$$

$$X_{\text{кЛЗ}} = 0,022 \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,01.$$

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

Опір трансформаторів на ТП потужністю 1000 кВА

$$r_{ТЗ} = \frac{\Delta P_{к}}{(S_{НОМ}^T)^2} \cdot (U_{НОМ}^{cp})^2 \cdot 10^3, \quad (8.20)$$

$$r_{ТЗ} = \frac{11 \cdot 10^3}{1000^2} \cdot 0,4^2 \cdot 10^3 = 1,76;$$

$$x_{ТЗ} = \sqrt{(10 \cdot U_{к})^2 - \frac{\Delta P_{к}}{(S_{НОМ}^T)^2} \cdot \frac{(U_{НОМ}^{cp})^2}{S_{НОМ}^T} \cdot 10^3}, \quad (8.21)$$

$$x_{ТЗ} = \sqrt{(10 \cdot 5,5)^2 - \frac{11 \cdot 10^3}{1000^2} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^3} = 8,8.$$

Сумарні опори

$$r_{\Sigma} = r_{пл1} + r_{кл2} + r_{кл3} + r_{ТЗ} + r_{к}, \quad (8.22)$$

$$r_{\Sigma} = 0,696 + 9,34 + 0,034 + 1,76 + 20 = 31,83,$$

$$x_{\Sigma} = x_{пл1} + x_{кл2} + x_{Т2} + x_{кл3} + x_{Т3},$$

$$x_{\Sigma} = 0,416 + 3,58 + 42 + 0,01 + 8,8 = 54,8, \quad (8.23)$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(r_{\Sigma})^2 + (x_{\Sigma})^2}$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{31,83^2 + 54,8^2} = 63,62.$$

Початковий струм К.З в точці

$$I_{кЗ} = \frac{I_{б3}}{X_{\Sigma 3}}, \quad \text{кА}$$

$$I_{кЗ} = \frac{1443,38}{63,62} = 22,7 \text{ кА.}$$

Ударний струм К.З.

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{с.кЗ}'' \text{ кА,}$$

$$i_y = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 22,7 = 32 \text{ кА.}$$

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Таблиця 8.1 – Результати розрахунків струмів короткого замикання

Т-ки к.з.	Місце к.з.	Базисні умови			Зак- лючні опори	Початкові струми, кА I_k	Аперіодична складова, кА i_a	Ударні струми, кА i_y	Тепловий імпульс, кА ² ·с
		U_b , кВ	S_b МВА	I_b , кА					
К1	КЛ1	115	1000	5,02	1,15	4,37	0,84	11,12	8,5
К2	Шини ТП 10 кВ	10,5	1000	54,99	46,5	1,18	0,23	3,01	0,62
К3	НН ТП1	0,4	1000	1443,4	63,62	22,7	—	32	—

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

9. ВИБІР АПАРАТУРИ В МЕРЕЖІ 10 КВ

9.1. Вибір основних комутаційних апаратів

Вибір вимикачів 10 кВ.

Вибір вимикачів на ЦРП.

Розрахунковий струм на ЦРП складає:

$$I_p = \frac{S_H}{2\sqrt{3}U_H} \quad (9.1)$$

$$I_p = \frac{2685,4}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 77,52 \text{ А.}$$

Вибираємо вимикачі ВВ/TEL-10 з наступними даними:

$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$, $I_{НОМ} = 630 \text{ А}$, $I_{НОМ.откл} = 12,5 \text{ кА}$, $I_{max} = 32 \text{ кА}$, $I_t = 20 \text{ кА}$, $t = 4 \text{ с}$.

Перевіряємо обрані вимикачі за умовами:

$$I_{НОМ.откл} > I_{к2} \quad (9.2)$$

$$12,5 \text{ кА} > 1,183 \text{ кА},$$

$$I_{max} > I_{y2} \quad (9.3)$$

$$32 \text{ кА} > 3,01 \text{ кА},$$

$$I_{НОМ.откл}^2 \cdot 4 > B_K^{к22} \cdot 2 \quad (9.4)$$

$$12,5^2 \cdot 4 = 625 > 0,62^2 \cdot 2 = 1,09 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (9.5)$$

Вибір вимикачів навантаження напругою 10 кВ цехових ТП.

Вимикачі навантаження вибираємо по номінальних параметрах аналогічно вимикачам.

Вимикачі навантаження (ВН) монтують у камерах стаціонарних односторонніх і двобічного обслуговування, у прохідних і безупинних комплектних трансформаторних підстанціях 6-10/0,4 кВ потужністю 400-2500 кВА кіоскового типу.

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
Розробив		Крючок Д.М.			9. Вибір апаратури в мережі 10 кв	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Романюк В.Т.					46	114
Реценз.		Столяров О.Я.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3		
Н. Контр.								
Затвердив		Балюта С.М.						

Вибираємо вимикачі навантаження ВНА-10/400 з такими даними:

$$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А};$$

$$i_{\text{откл}} = 400 \text{ А};$$

$$I_t = 14 \text{ кА};$$

$$t = 1 \text{ с.}$$

Перевіряємо:

$$400 \text{ А} > 389,56 \text{ А}$$

$$14^2 \cdot 1 = 196 > 0,62^2 \cdot 2 = 1,09 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Вибір запобіжників напругою 10 кВ цехових ТП.

Запобіжники вибираємо по номінальних параметрах аналогічно вимикачам.

Вибираємо запобіжники ПКТ-10-400-40УЗ з параметрами:

$$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ},$$

$$I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А},$$

$$I_{\text{НОМ.откл}} = 40 \text{ кА}.$$

9.2. Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги

Вибір вимірювальних трансформаторів струму

Трансформатор струму призначений задля перетворення струму до значення, зручного для вимірювання. Первинну обмотку трансформатора струму вмикають послідовно у коло зі змінним струмом, що вимірюється, до вторинної під'єднують вимірювальні, або захисні прилади. Струм, що протікає вторинною обмоткою трансформатора струму, пропорційний до струму, який протікає його первинною обмоткою.

Вибираємо вимірювальні трансформатори струму в колі РП на стороні 10 кВ.

Вибираємо трансформатор ТПЛ -10.

Паспортні дані :

$$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{НОМ1}} = 400 \text{ А};$$

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$I_{\text{НОМ}2} = 5 \text{ А};$$

$$z_{\text{НОМ}2} = 0,8 \text{ Ом};$$

$$k_T = 0,5.$$

Таблиця 9.1 – Визначення потужності вимірювальних приладів

Прилад	Тип приладу	Ф. «А», ВА	Ф. «В», ВА	Ф. «С», ВА
Амперметр	Э -351	-	0.5	-
Варметр	Д - 305	0.5	0.5	0.5
Лічильник активної та реактивної енергії	«СМАРТ»	3.6	3.6	3.6
Разом		4.1	4.6	4.1

Визначаємо опір найбільш завантаженої фази:

$$z_{\Sigma\text{прил}} = \frac{S_{\Sigma\text{прил}}}{I_{\text{НОМ}2}^2} = \frac{4,1}{5^2} = 0,164 \text{ Ом} \quad (9.6)$$

Розрахунок максимального значення опору проводів, які з'єднують трансформатор струму з приладами, при роботі його в заданому класі точності:

$$z_{\text{прил}} = z_{\text{НОМ}2} - z_{\Sigma\text{прил}} - z_k, \quad (9.7)$$

де $z_{\Sigma\text{прил}}$ - максимальний струмовий опір котушок приладів найбільш завантаженої фази;

$z_{\text{НОМ}2}$ - номінальний опір вторинної обмотки ($z_{\text{НОМ}2} = 0.8 \text{ Ом}$);

z_k – опір контактів ($z_k = 0.1 \text{ Ом}$).

$$z_{\text{прил}} = 0,8 - 0,164 - 0,1 = 0,536 \text{ Ом}.$$

Мінімально можливий переріз з'єднувальних проводів:

$$S_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_p}{z_{\text{прил}}} = \frac{0,028 \cdot 60 \cdot \sqrt{3}}{0,536} = 5,43 \text{ мм}^2. \quad (9.8)$$

Приймаємо стандартний переріз 6 мм^2 .

Перерахунок опору з'єднувальних проводів :

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

$$z_{\text{пр}} = \frac{0,028 \cdot 60 \cdot \sqrt{3}}{6} = 0,485 \text{ Ом.}$$

Розрахунок навантаження лінії:

$$z_{\text{роз}} = z_{\text{прил}} + z_{\text{пр}} + z_{\text{к}} = 0,485 + 0,164 + 0,1 = 0,749 \text{ Ом.} \quad (9.9)$$

Оскільки номінальне навантаження трансформатора струму більше ніж розрахункове:

$$z_{\text{ном}} \geq z_{\text{роз}}, \quad (9.10)$$

$$0,8 \text{ Ом} \geq 0,749 \text{ Ом.}$$

то вибраний трансформатор струму працюватиме в даному класі точності.

Схема підключення вимірювального трансформатора струму представлена на рис. 9.1.

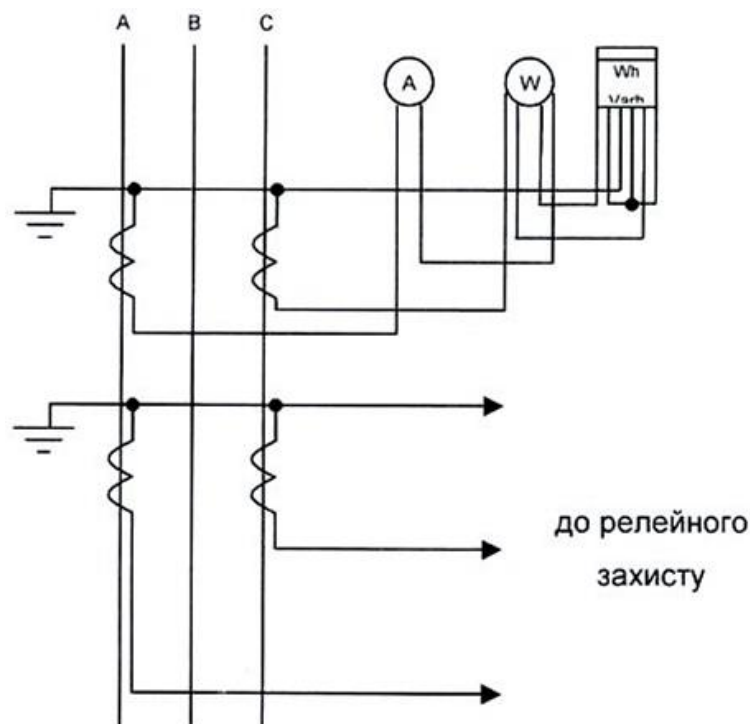


Рисунок 9.1 – Схема підключення вимірювального трансформатора струму

Вибір вимірювального трансформатора напруги.

Для живлення лічильників, вольтметрів та пристроїв релейного захисту застосуємо вимірювальний трансформатор напруги типу НТМИ-10-66УЗ.

Вимірювальний трансформатор напруги призначений для пониження високої напруги до стандартного значення, від первинних кіл високої напруги для кіл вимірювання та релейного захисту.

Паспортні дані НТМИ -10-66УЗ:

$$U_{\text{НОМ1}} = 100 \text{ кВ}$$

$$U_{\text{НОМ2}} = 10 \text{ кВ}$$

$$S_{\text{НОМ2}} = 120 \text{ ВА}$$

Трансформатори напруги встановлюємо на кожній секції збірних шин 10кВ.

Умова роботи вимірювального трансформатора напруги в класі точності 0.5.

$$S_{\text{НОМ2}} \geq S_{\text{Р}} \quad (9.11)$$

Таблиця 9.2 – До визначення потужності вимірювальних приладів

Прилад	Тип приладу	Потужність однієї котушки, В А	Кількість приладів, шт.	Сумарна потужність, В А
Ватметр	Д-305	2	1	4
Лічильник активної та реактивно енергії	«СМАРТ»	-	6	22
Вольтметр	Э-335	2	1	2
Разом				28

Розраховуємо сумарне навантаження вторинних обмоток вимірювального трансформатора напруги.

$$S_{\Sigma 2} = S_{\text{ПР}} + S_{\text{Р.З.}}, \quad (9.12)$$

де $S_{\text{ПР}}$ — навантаження приладів;

$S_{\text{Р.З.}}$ — навантаження оперативних кол.

$$S_{\Sigma 2} = 28 + 80 = 108 \text{ В А}$$

Оскільки, умова:

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$S_{\text{НОМ2}} = 120 \text{ ВА} \geq S_p = 108 \text{ В А.}$$

виконується, то трансформатори напруги задовольняють умові перенавантаження і можуть бути прийняті до установки.

Визначаємо втрати напруги в з'єднувальних проводах.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{НОМ}} \cdot z_{\text{пр}}}{U_{\text{НОМ2}}} \cdot 100\% \leq 0.5\%, \quad (9.13)$$

де

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\Sigma 2}}{U_{\text{НОМ2}}} = \frac{108}{100} = 1.08 \text{ А};$$

$$z_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_p}{S_{\text{ст}}} = \frac{0,028 \cdot 30}{6} = 0,14 \text{ Ом}; \quad (9.14)$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,08 \cdot 0,14}{100} \cdot 100\% = 0,26\% \leq 0,5\%$$

Оскільки умова

$$\Delta U \leq 0,5\% \quad (9.15)$$

виконується, приймаємо провід стандартним перерізом $S_{\text{ст.}} = 6 \text{ мм}^2$.

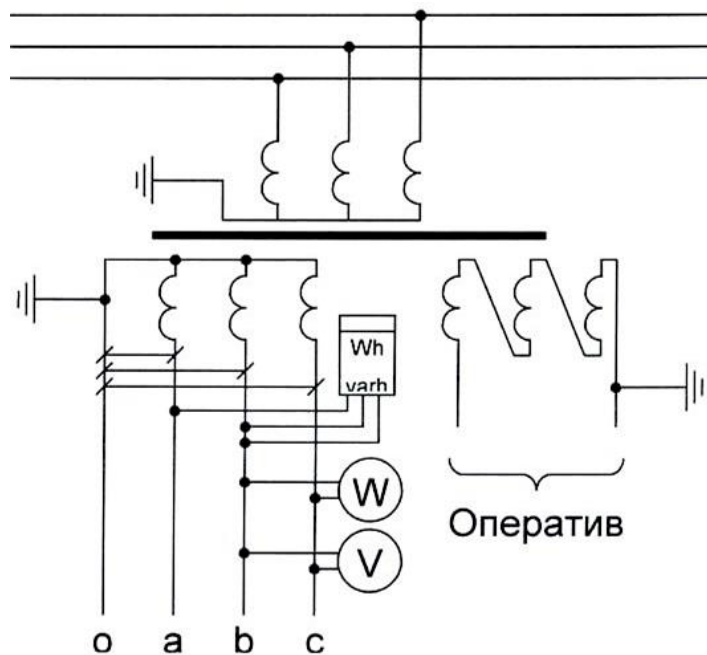


Рисунок 9.2 – Схема підключення оперативних кіл та приладів до трансформатора напруги

10.РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ

Основним призначенням релейного захисту є виявлення місця виникнення КЗ і швидке автоматичне відключення вимикачів ушкодженого устаткування або ділянки мережі від іншої, неушкодженої частини електричної установки або мережі [8]. Другим призначенням релейного захисту є виявлення порушень нормальних режимів роботи устаткування й подача попереджувальних сигналів обслуговуючому персоналу або відключення устаткування з витримкою часу.

Методика вибору струмів спрацювання захистів визначається типом захистів і вимогами, що ставляться до їх чутливості та надійності. Струм спрацювання максимального струмового захисту відстроюється від максимальних струмів навантаження.

Витримка часу максимального струмового захисту вибирається з умови узгодження із захистом попередньої ділянки. При узгодженні із захистом, що має незалежну витримку часу, ступінь часу обирається 0,35...0,6 с, при узгодженні із захистом, що має незалежну характеристику, - 0,6...1 с. При виборі узгодження із швидкодіючим захистом ступінь часу обирається 0,35... 0,4 с.

Для силових трансформаторів необхідно передбачати релейний захист від наступних видів ушкоджень і ненормальних режимів роботи:

- міжфазних КЗ в обмотках і на виводах;
- однофазних замиканнях на землю (корпус) в обмотках і на виводах;
- виткових замикань в обмотках;
- протікання надструмів при зовнішніх КЗ;
- перевантаження;
- «пожежі» у сталі;
- зниження рівня масла в маслонаповнених трансформаторах.

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>			10. Релейний захист	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>					52	114
<i>Реценз.</i>		<i>Столяров О.Я.</i>				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3</i>		
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

Види й обсяг релейного захисту силового трансформатора визначаються ПУЕ [9] та вказівками відповідно до потужності й місця установки. У загальному випадку для захисту трансформаторів потужністю 1 МВ·А та більше від міжфазних замикань, виткових і замикань на землю в обмотках передбачають поздовжній диференціальний струмовий захист, який діє без витримки часу на відключення всіх вимикачів трансформатора. Такий захист виконують із двома реле струму. Струмова відсічка без витримки часу передбачається для силових трансформаторів у тих випадках, коли не використовується диференціальний захист. Струмова відсічка встановлюється з боку джерела живлення й включаються на ті ж трансформатори струму, що й максимальний струмовий захист від зовнішніх КЗ. У якості захисту силових трансформаторів від струмів зовнішніх КЗ звичайно використовують максимальний струмовий захист, який служить для припинення живлення зовнішніх багатофазних КЗ при відмові захисту або вимикача суміжного ушкодженого елемента, а також як резерв власних захистів трансформатора. Для багатообмоткових трансформаторів комплекти захистів від струмів КЗ можуть бути встановлені з боку джерела живлення або з боку розподільних пунктів з дією на відповідний вимикач. На понижувальних трансформаторах, що мають розщеплені обмотки нижчої напруги, а також на трансформаторах, підключених до шин через здвоєний реактор, на відгалуженнях встановлюють окремі комплекти захисту від зовнішніх КЗ, які одночасно здійснюють захист відповідних шин розподільних пристроїв. Витримки часу захистів від зовнішніх КЗ вибирають незалежно від струму КЗ за ступеневим принципом з наростанням при наближенні до джерела живлення. Для силових трансформаторів, що зазнають перевантажень, передбачають захист від перевантажень з дією на сигнал з витримкою часу. Захист встановлюють, як правило, біля двообмоткових трансформаторів в одній фазі з боку живлення, а в триобмоткових - на стороні живлення й на стороні обмотки меншої потужності. У трансформаторів з розщепленою обмоткою захист від перевантажень встановлюють на кожній розщепленій обмотці. Витримку часу вибирають більшою за значення витримки часу захисту від зовнішніх КЗ. Для захисту

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маслонаповнених силових трансформаторів від зниження рівня масла у баках, від «пожежі» у сталі й у якості резервного захисту від внутрішніх ушкоджень і зовнішніх КЗ, широко використовують газовий захист, який реагує на утворення газів усередині трансформатора й діє залежно від інтенсивності газоутворення на сигнал або на відключення. Газовий захист залежно від застосовуваного газового реле може бути виконаний реагуючим на виділення газу або на підвищення тиску в кожусі трансформатора.

Максимальний струмовий захист (МСЗ) – найпростіший і надійний захист, що широко застосовується для захисту трансформаторів.

Струм спрацювання захисту:

$$I_{с.з.} = \frac{n_{над} \cdot (I_{НОМ} \cdot K_{сз} + I_{НОМ})}{K_{пов}} = \frac{1,2 \cdot (57,74 \cdot 1,5 + 57,74)}{0,85} = 203,79, \text{ А}, \quad (10.1)$$

де $K_H=1,2$ -коефіцієнт надійності; $K_{сз}=1,5$ -коефіцієнт само запуску; $K_{п}=0,85$ -коефіцієнт повернення реле;

номінальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,74 \text{ А}, \quad (10.2)$$

Трансформатори струму прийняті з коефіцієнтом трансформації 80, схема захисту неповна зірка; $K_{сх}=1$.

Коефіцієнт чутливості:

$$K_{ч} = \frac{I_{к.min}}{I_{сз}} = \frac{786,35}{203,79} = 1,9 > 1,5, \quad (10.3)$$

де $I_{к.min}$ - мінімально ймовірне значення струму при кз на стороні НН трансформатора, приведене до сторони ВН:

$$I_{к.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к.max}^{НН} \cdot \frac{U_{НОМ}^{НН}}{U_{НОМ}^{ВН}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 22700 \cdot \frac{0,4}{10} = 786,35 \text{ А}.$$

Струм спрацювання реле струму (уставка):

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сз} \cdot I_{с.з.}}{K_{тс}} = \frac{1 \cdot 203,79}{400/5} = 2,55 \text{ А}. \quad (10.4)$$

де $k_{сз} = 1$ - коефіцієнт самозапуску;

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

K_{TA} - коефіцієнт трансформації трансформатора.

Обираємо реле типу - МРЗС-05Л.

Уставка часу захисту (реле):

$$t_{сз1} = t_{макс} + \Delta t. \quad (10.5)$$

Ступінь селективності.

$$\Delta t = 0,05 + 0,05 + 0,08 + 0,1 = 0,28 \approx 0,3 \text{ с}, \quad (10.6)$$

де 0,05- похибка двох мікропроцесорних реле МРЗС-05Л; 0,08 - час до згасання дуги на контактах вимикача; 0,1- запас часу.

Тоді

$$t_{сз1} = 1,2 + 0,3 = 1,5 \text{ с}; \quad (10.7)$$

$$t_{сз2} = 1,6 + 0,3 = 1,9 \text{ с}.$$

Розрахунок миттєвого діючого струмового захисту (відсічки).

Максимальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{max} = \frac{S_{ном} \cdot K_{пер}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{1000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 10} = 80,83 \text{ А}. \quad (10.8)$$

Відсічка – найбільш простий з диференційних захистів трансформаторів. Вона виконується на базі мікропроцесорних реле МРЗС-05Л. При цьому відстройка захисту від піку струму намагнічування здійснюється за допомогою невеликої витримки. Річ у тому, що пік миттєвого значення струму намагнічення швидко знижується від початкового рівня $(6...8)I_{ном}$ до $(2...3)I_{ном}$ усього за 0,04...0,06 с. Приблизно такий самий час потрібен для спрацювання реле. В результаті приблизно з запасом 1,5 разів приймається

$$I_{Від}^{нам} = K_{Від}^{нам} \cdot I_{max} = 4,5 \cdot 80,83 = 363,735 \text{ А} \quad (10.9)$$

Також відстройка відсічки здійснюється за максимальним значенням струму к.з. на стороні НН трансформатора, $I_{СК}^{кз}$. З двох значень $I_{Від}^{нам}$ та $I_{СК}^{кз}$ вибираємо найбільше з умовою забезпечення коефіцієнта чутливості $> 1,5$:

$$K_{ч} = \frac{I_{ВН}^{к.мін}}{I_{сз}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1180}{676,76} = 1,51 > 1,5. \quad (10.10)$$

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

де $I_{к.min}^{ВН}$ - мінімально ймовірне значення струму при короткому замиканні на стороні ВН трансформатора.

Знаходимо вторинний струм:

$$I_{рс} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{K_{тс}} = \frac{676,76 \cdot 1}{80} = 8,46 \text{ А.} \quad (10.11)$$

Так як, $K_{ч} > 1,5$ диференційна струмова відсічка прийнята.

Захист від перевантажень.

Струм спрацювання сигналізації:

$$I_{сиг} = \frac{K_{від} \cdot K_{сз}}{K_{п}} \cdot I_{ном} = \frac{1,2 \cdot 1,35}{0,85} \cdot 57,74 = 110,05 \text{ А.} \quad (10.12)$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{рел} = \frac{I_{сиг} \cdot K_{сх}}{K_{тс}} = \frac{110,05 \cdot 1}{80} = 1,38 \text{ А.} \quad (10.13)$$

Час спрацювання сигналізації:

$$T_{сиг} = t_{сз}^{МСЗ} + \Delta t = 2 + 0,3 = 2,3 \text{ с,} \quad (10.14)$$

де $\Delta t = 0,3 \text{ с}$ - ступінь селективності.

Таблиця 10.1 – Параметри релейного захисту

Струм спрацювання		Коефіцієнт	Час спрацювання захисту
захисту	реле		
$I_{сз}$	$I_{рел}$	$K_{ч}$	$t_{сз}$
А	А	-	с
Відсічка			
676,76	8,46	1,51	-
Максимальний струмовий захист (МСЗ)			
203,79	2,55	1,9	1,9
Захист від перевантажень (з дією на сигнал)			
110,05	1,38	-	2,3

11. РОЗРАХУНОК ЦЕХУ

11.1. Розрахунок силових навантажень

Навантаження визначають необхідні технічні характеристики елементів електричних мереж: перерізи і марки провідників і струмопроводів, потужності й типи трансформаторів [3]. Перебільшення очікуваних навантажень приводить до перевитрати дротів і кабелів, завищення потужності трансформаторів, а зменшення – до зайвих втрат у мережах, перегріву провідників і трансформаторів, підвищеному тепловому зносу й скороченню нормального терміну їхньої роботи. Тому очікувані електричні навантаження бажано визначати при проектуванні точніше. Однак внаслідок недостатньої повноти, точності й вірогідності вихідної інформації про всі численні випадкові фактори, що формують навантаження, вони не можуть бути визначені з високою точністю. При визначенні очікуваних навантажень вважають припустимими помилки в межах $\pm 10\%$.

Згрупуємо однотипні споживачі цеху в табл. 11.1.

Визначення розрахункової потужності за методом впорядкованих діаграм (нормативна методика) [4].

Вибір схеми мережі цеху є першим та дуже важливим етапом проектування системи електропостачання цехової мережі 0,4 кВ. При виборі оптимальної схеми слід враховувати наступні фактори які будуть впливати на подальшу роботу системи живлення: тривалість навантаження груп електроприймачів (ЕП), номінальна потужність ЕП та розрахункове навантаження на РП, розташування апаратів, надійність та економічність. Також враховуючи навантаження ЕП доцільно розподіляти потужність рівномірно між РП. Для живлення усіх ЕП цеху буде використано три розподільчих пункти РП 1,2,3. (рис.11.1).

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив		Крючок Д.М.			11. Розрахунок цеху	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Романюк В.Т.					57	114
Реценз.		Столяров О.Я.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3		
Н. Контр.								
Затвердив		Балюта С.М						

Таблиця 11.1 – Відомості про навантаження електроприймачів цеху

№ споживача	Назва	Кількість, шт	P_n , кВт	K_b	$\cos\phi$
1	Прес-ножиці	1	15	0,14	0,8
2	Заточувальний верстат	1	3	0,19	0,75
3	Пила відрізна	1	2	0,2	0,8
4	Шліфувальний верстат	1	4	0,12	0,7
5	Вальці	1	20	0,12	0,7
6	Гідравлічний прес	1	3	0,15	0,65
7	Радіально-свердлильний верстат	1	8	0,16	0,8
8-10	Свердлильний верстат	3	8	0,18	0,85
11	Згинальний верстат	1	18	0,13	0,65
12	Кривошипний прес	1	30	0,14	0,65
13-15	Зварювальний апарат	3	40	0,18	0,7
16	Обдирно-шліфувальний верстат	1	3	0,19	0,65
17	Шліфувальний верстат	1	4	0,18	0,65
18-19	Токарний верстат	2	15	0,15	0,7
20	Прес електричний1 (сервопрес)	1	40	0,15	0,7
21	Прес електричний2 (сервопрес)	1	22	0,14	0,7
22	Кран балка	1	7	0,11	0,5

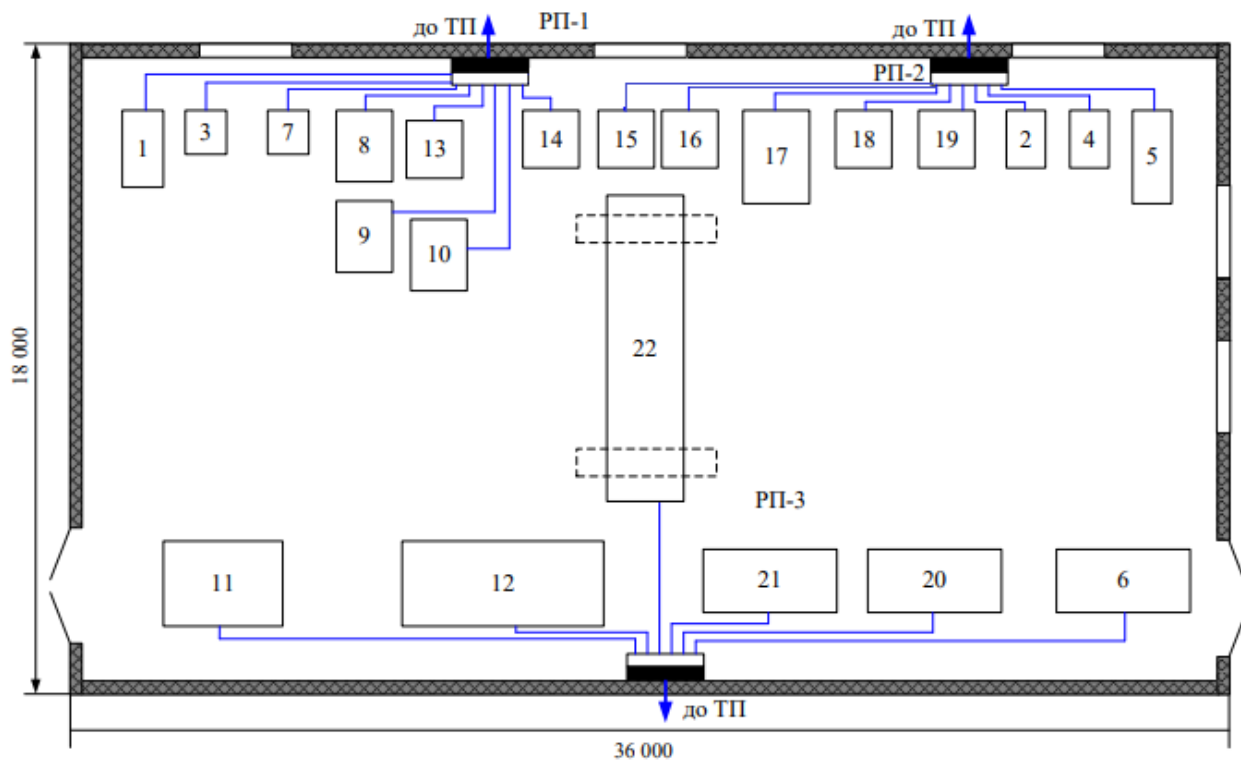


Рисунок 11.1 – Схема мережі цеху

У відповідності з режимом роботи всю групу електроприймачів ділимо на 3 розподільчі пункти:

- до першого РП відносимо споживачі 1, 3, 7, 8, 9, 10, 13, 14;
- до другого РП відносимо споживачі 2, 4, 5, 15, 16, 17, 18, 19;
- до третього РП відносимо споживачі 6, 11, 12, 20, 21, 22.

Знаходимо розрахункову потужність електроприймачів, що працюють зі змінним графіком навантаження:

Для прикладу розрахунок проводимо для свердлильного верстату:

Сумарна номінальна потужність для 3 свердлильних верстатів:

$$P_{\Sigma Cв} = n_{ум} \cdot P_1 = 3 \cdot 8 = 24 \text{ кВт} \quad (11.1)$$

де P_1 – одинична номінальна потужність споживача;

$n_{ум}$ – кількість електроприймачів.

Використовуючі довідникові дані:

- для свердлильного верстату:

$$K_B = 0,18;$$

$$\cos \varphi = 0,85;$$

$$\text{tg } \varphi = 0,62.$$

Визначаємо середню потужність за максимальну завантажену зміну:

$$P_{смCв} = P_{\Sigma Cв} \cdot K_B = 24 \cdot 0,18 = 4,32 \text{ кВт}; \quad (11.2)$$

$$Q_{смCв} = P_{смCв} \cdot \text{tg } \varphi = 4,32 \cdot 0,62 = 2,68 \text{ квар}. \quad (11.3)$$

Для інших споживачів результати розрахунків за формулами 11.1-11.3 заносимо в таблицю 11.2.

Сумарна номінальна потужність електроприймачів, що працюють в РП1:

$$P_{\Sigma}^{\sim} = \sum P_{ном} = 129 \text{ кВт}. \quad (11.4)$$

Сумарна середня активна потужність електроприймачів, що працюють в РП1:

$$P_{\Sigma см}^{\sim} = \sum P_{см}^{\sim} = 22,5 \text{ кВт}. \quad (11.5)$$

Сумарна середня реактивна потужність електроприймачів, що працюють в РП1:

									Арк.
									59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$Q_{\Sigma см}^{\sim} = \sum Q_{см}^{\sim} = 20,21 \text{ квар.} \quad (11.6)$$

Коефіцієнт використання електроприймачів, що працюють в РП1:

$$K_B^{\sim} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{ном}} = \frac{22,5}{129} = 0,174. \quad (11.7)$$

Коефіцієнт m:

$$m = \frac{p_{ном макс}}{p_{ном мин}} \quad (11.8)$$

$$m = \frac{40}{2} = 20.$$

Якщо $m > 3$, а груповий коефіцієнт використання $K_B < 0,2$, тоді використовуємо наступну методику [4]:

Визначаємо n_e тобто кількість електроприймачів однакової потужності, які в процесі роботи створюють такий же графік навантаження як і реальні:

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n p_{ном_i})^2}{\sum_{i=1}^n p_{ном_i}^2} \quad (11.9)$$

$$n_e = \frac{129^2}{8^2 \cdot 3 + 15^2 + 8^2 + 2^2 + 40^2 \cdot 2} = 4,52.$$

По таблиці 2.1., стор.30 [4] знаходимо коефіцієнт максимуму K_M :

$$K_M = 2,7$$

Розрахункова активна потужність всіх електроприймачів РП1:

$$P_{розр}^{\sim} = P_{\Sigma см}^{\sim} \cdot K_M = 22,5 \cdot 2,7 = 60,75 \text{ кВт.} \quad (11.10)$$

Так як $n_e < 10$, то реактивна складова визначається як:

$$Q_{розр}^{\sim} = 1,1 Q_{\Sigma см}^{\sim} = 1,1 \cdot 20,21 = 22,23 \text{ квар.} \quad (11.11)$$

Повна потужність електроприймачів, що працюють в РП1:

$$S_{розр}^{\sim} = \sqrt{P_{розр}^{\sim 2} + Q_{розр}^{\sim 2}} = \sqrt{60,75^2 + 22,23^2} = 64,69 \text{ кВА.} \quad (11.12)$$

Розрахунковий струм всіх електроприймачів, що працюють в РП1:

$$I_{розр}^{\sim} = \frac{S_{розр}^{\sim}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{64,69}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 98,29 \text{ А.} \quad (11.13)$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю №11.2.

Знаходимо розрахункові потужності усіх електроприймачів:

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{розр}} = P_{\text{розрРП1}} + P_{\text{розрРП2}} + P_{\text{розрРП3}} = 60,75 + 48,5 + 52,2 = 161,45 \text{ кВт}, \quad (11.14)$$

$$Q_{\text{розр}} = Q_{\text{розрРП1}} + Q_{\text{розрРП2}} + Q_{\text{розрРП3}} = 22,23 + 18,57 + 20,65 = 61,45 \text{ квар.} \quad (11.15)$$

Повна потужність електроприймачів

$$S_{\text{розр}} = \sqrt{P_{\text{розр}}^2 + Q_{\text{розр}}^2} = \sqrt{161,45^2 + 61,45^2} = 172,75 \text{ кВА.} \quad (11.16)$$

Знаходимо розрахунковий струм усіх електроприймачів:

$$I_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{розр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{172,75}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 262,47 \text{ А.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю №11.2.

Таблиця 11.2 – Розрахунок електричних навантажень цеху

№	Обладнання	п	Рном, кВт		Кв	cosφ/ tgφ	Рсм, кВт	Qсм, квар	пе	Км	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	Ip,А
			од.	всіх										
1	Свердильний верстат	3	8	24	0,18	0,85/ 0,62	4,32	2,68						
2	Прес-ножиці	1	15	15	0,14	0,8 / 0,75	2,1	1,58						
3	Радіально-свердильний верстат	1	8	8	0,16	0,8/ 0,75	1,28	0,96						
4	Пила відрізна	1	2	2	0,2	0,8 / 0,75	0,4	0,3						
5	Зварювальний апарат	2	40	80	0,18	0,7/ 1,02	14,4	14,69						
6	Всього по РП1	8		129	0,17		22,5	20,21	4,52	2,7	60,75	22,23	64,69	98,29
7	Шліфувальний верстат	1	4	4	0,12	0,7 / 1,02	0,48	0,49						
8	Вальці	1	20	20	0,12	0,7 / 1,02	2,4	2,45						
9	Зварювальний апарат	1	40	40	0,18	0,7 / 1,02	7,2	7,34						
10	Обдирно-шліфувальний верстат	1	3	3	0,19	0,65/ 1,17	0,57	0,67						
11	Заточувальний верстат	1	3	3	0,19	0,75/ 0,88	0,57	0,5						
12	Шліфувальний верстат	1	4	4	0,18	0,65/ 1,17	0,72	0,84						
13	Токарний верстат	2	15	30	0,15	0,7 / 1,02	4,5	4,59						
14	Всього по РП2	8		104	0,16		16,4	16,88	4,33	2,95	48,5	18,57	51,93	78,9
15	Гідравлічний прес	1	3	3	0,15	0,65 / 1,17	0,45	0,53						
16	Згинальний верстат	1	18	18	0,13	0,65/ 1,17	2,34	2,74						
17	Кривошипний прес	1	30	30	0,14	0,65/ 1,17	4,2	4,91						
18	Прес електричний 1	1	40	40	0,15	0,7 / 1,02	6,0	6,12						
19	Прес електричний 2	1	22	22	0,14	0,7 / 1,02	3,08	3,14						
20	Кран балка	1	7	7	0,11	0,5 / 1,73	0,77	1,33						
21	Всього по РП3	6		120	0,14		16,8	18,77	4,28	3,1	52,2	20,65	56,14	85,3
22	Сумарно по всім РП	22	-	353	0,158		55,8	55,82	13,13	2,0	161,45	61,45	172,75	262,47

11.2. Розрахунок освітлення

Навантаження, розрахункова величина якого визначається за формулою:

$$P_{p.o} = P_{уст} \cdot K_{п} \cdot K_{ПРА}, \quad (11.17)$$

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

$K_{п}$ – коефіцієнт попиту;

$K_{ПРА}$ – коефіцієнт, враховує втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі.

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

$H = 8$ м - задана висота цеху;

$h_c = 0,25$ м – відстань світильника від перекриття;

$h_{п} = H - h_c$ – висота світильника над підлогою;

$h_p = 0,8$ 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. Розміщення світильників визначається умовою економічності. Важливе значення має відношення 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 покращується процес і поліпшується якість продукції. Недостатнє або нераціональне освітлення можуть стати причиною підвищення травматизму, тому що при недостатній освітленості укладнюється розрізнення небезпечних частин верстатів.

Для освітлення цеху вибрані світильники Lumen ЛПО 2/40 з люмінесцентними лампами ЛБ, для яких $\lambda = 0,9$.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаходимо значення розрахункової висоти h за формулою:

$$h = H - h_p - h_c, \quad (11.18)$$

$$h = 8,0 - 0,8 - 0,25 = 6,95 \text{ м.}$$

Відстань між рядами світильників в цеху:

$$L = \lambda \cdot h, \text{ м,} \quad (11.19)$$

$$L_B = 0,9 \cdot 6,95 = 6,26 \text{ м.}$$

Відповідно до отриманих значеннями L виконуємо розміщення світильників в цеху.

Приймаємо $L_A = L_B = 6 \text{ м.}$ Тоді:

$$N_p = \frac{A - 2l}{L} + 1, \quad (11.20)$$

де l – відстань від крайнього ряду світильників до стін приймаємо 3 м,

$$N_p = \frac{36 - 2 \cdot 3}{6} + 1 = 6, \text{ рядів.}$$

Для визначення потужності ламп методом коефіцієнта використання розраховуємо світловий потік кожного світильника, необхідний для отримання норми освітленості:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_{\text{зап}} \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (11.21)$$

де Φ – світловий потік одного світильника, лм;

E_n – нормована мінімальна освітленість, лк;

$K_{\text{зап}} = 1,3$ – коефіцієнт запасу;

S – площа приміщення, м^2 ;

$z = 1,1$ – для люмінесцентних ламп;

η – коефіцієнт використання світлового потоку;

N – кількість світильників.

Норма освітленості для верстатного відділення становить - $E_n = 300 \text{ лк}$ [5].

Коефіцієнт використання світлового потоку є функцією індексу приміщення i :

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (11.22)$$

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м.

Індекс приміщення для верстатного відділення цеху згідно плану:

$$i = \frac{36 \cdot 18}{6,95 \cdot (36 + 18)} = 1,73.$$

Окрім індексу приміщення, для знаходження коефіцієнта використання світлового потоку необхідно знати коефіцієнти відбиття стелі, стін і робочої поверхні: $p_{\text{п}} = 70\%$, $p_{\text{с}} = 50\%$, $p_{\text{р}} = 30\%$ [4].

Визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку цеху [4] $\eta = 90\%$.

Відповідно до плану розміщення світильників визначаємо необхідний світловий потік для даного цеху:

$$\Phi_{\text{ряд}} = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 648 \cdot 1,1}{6 \cdot 0,9} = 51480 \text{ лм.}$$

Вибираємо лампи ЛБ40, що мають потужність $P_{\text{ном}} = 40$ Вт і світловий потік $\Phi_{\text{ном}} = 3000$ лм.

Кількість світильників в ряду:

$$N = \frac{\Phi_{\text{ряд}}}{2\Phi_{\text{л}}} ; \quad (11.23)$$

де k – коефіцієнт запасу: $k=1,3$;

2 – кількість ламп в одному світильнику Lumen ЛПО 2/40.

$$N = \frac{51480}{2 \cdot 3000} = 8,58 \approx 9, \text{ світ.}$$

Загальна довжина ряду дорівнює (довжина світильника 1,4 м): $1,4 \times 9 = 12,6$ м, що менше ширини приміщення, тому приймаємо світильники з лампами потужністю 40 Вт і $\Phi=3000$ лм, тоді число світильників у ряду буде 9. Загальна довжина ряду складає $1,4 \times 9 = 12,6$ м, отже, світильники можуть бути встановлені з невеликим розривом ($(18-12,6)/9 = 0,6$ м). Таким чином, у цеху встановлюють $6 \times 9 = 54$ світильників Lumen ЛПО 2/40.

Встановлена потужність ламп:

$$P_{\text{уст}} = N \cdot P_{\text{ном.л}}, \text{ Вт} \quad (11.24)$$

$$P_{\text{уст}} = 54 \cdot 40 \cdot 2 = 4320 \text{ Вт.}$$

									Арк.
									64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Встановлюємо 6 рядів світильників по 9 світильників у ряду з відстанню між рядами по 3 м.

Для аварійного освітлення потужність 20% від встановленої, тобто 864 Вт для ламп розжарювання, або 9 штук. Встановлюємо 10 ламп світлодіодних типу А-80-E27, потужністю 20 Ват кожна, тоді сумарна потужність $20 \cdot 10 = 200$ Вт.

Сумарна встановлена потужність буде:

$$P_{\text{уст}\Sigma} = P_{\text{уст}} + P_{\text{ав}} = 4320 + 200 = 4520 \text{ Вт.}$$

Визначаємо значення коефіцієнтів попиту і обліку втрат потужності в пуско-регулюючій апаратурі для люмінесцентних ламп: $K_{\text{п}} = 0,95$; $K_{\text{пра}} = 1,1$. Освітлювальне навантаження цеху буде становити:

$$P_{\text{по}} = 4,52 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 4,72 \text{ кВт.} \quad (11.25)$$

11.3. Вибір схеми та розрахунок цехової мережі

11.3.1. Вибір схеми цехової мережі

Електричними мережами (ЕМ) здійснюється розподіл електричної енергії на промислових підприємствах, вони являють собою сукупність провідників, розподільчих пристроїв, захисних і пускових апаратів [4]. ЕМ промислових підприємств бувають внутрішніми та зовнішніми. Внутрішні електричні мережі називаються цеховими мережами.

Схема електропостачання сучасного промислового підприємства повинна відповідати наступним вимогам: економічності та надійності; безпеці та зручності; економії кольорових металів і електроенергії; гнучкості системи; індустріальності виконання монтажу.

Вибір для кожного приміщення відповідної мережі та електрообладнання полягає в визначенні до якої категорії належить приміщення. Далі, згідно з вимогами ПУЕ, вибирається для кожного приміщення відповідна марка проводів і кабелів, спосіб прокладки мереж, а також апаратура та електрообладнання.

На промислових підприємствах електричні мережі діляться на мережі для електропостачання силових установок і мережі для електропостачання

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

освітлюваних установок. Вони називаються силовими мережами та освітлюваними мережами відповідно.

В цехових мережах розподіл електроенергії виконується за магістральною, радіальною, змішаною чи замкнутою схемою залежно від територіального розміщення навантажень та інших особливостей об'єкта.

Радіальні схеми треба застосовувати при навантаженнях, що розташовані в різних напрямках від джерела живлення. Радіальні схеми характеризуються тим, що від джерела живлення відходять лінії, які живлять великі електроприймачі або групові розподільчі пункти (рис.11.2), як в нашому випадку. Від розподільчих пунктів через установлені в них захисні апарати живляться самостійними лініями інші електроприймачі малої потужності. Одноступеневі радіальні схеми доцільніше застосовувати для живлення великих концентрованих навантажень або груп навантажень.

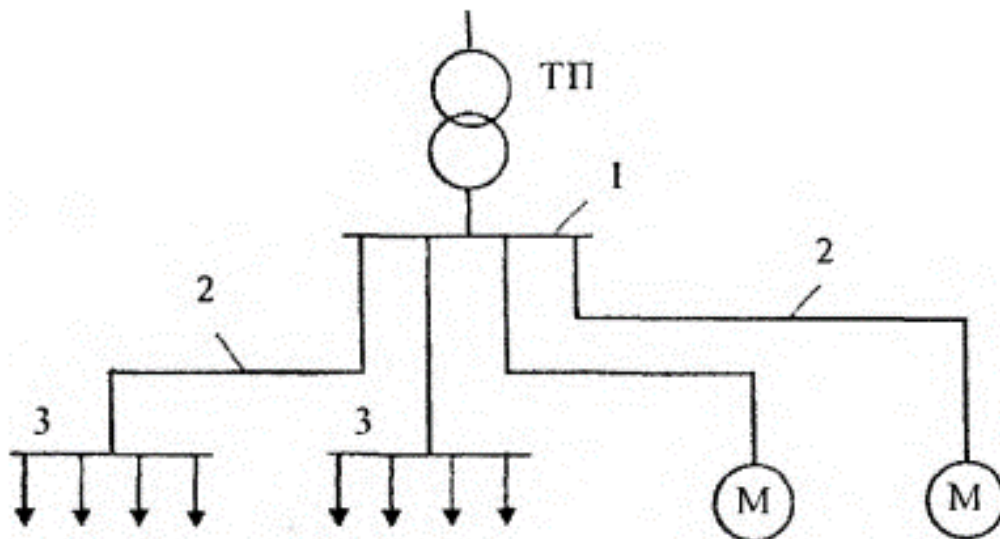


Рис. 11.2 – Схема радіальної цехової мережі:

1 шини ТП, 2 радіальна лінія, 3 - силовий пункт.

Перевагами радіальної схеми є висока надійність живлення (аварія на одній лінії не позначається на роботі іншої радіальної лінії і її електроприймачів, легке пристосування до автоматизації. До недоліків радіальної схеми віднесемо необхідність установки на підстанції більшого числа комутаційних апаратів і значних витрат кабелю, у схеми немає гнучкості, яка є у магістральних схемах.

Електропроводка при радіальних схемах виконуються кабелем або проводами, що прокладаються в трубах. Недоліком є високу вартість і використання дефіцитних матеріалів (труб). Можна застосовувати відкриту прокладку провідників у сталевих лотках і коробах, що кріпляться до конструкції. Такі проводки дешевші, але менш надійні.

Відповідно вимог ПУЕ [9] вибираємо наступні способи прокладки кабельних ліній: від трансформаторної підстанції (ТП1,2) до розподільчого пункту (РП-1-3) кабель із алюмінієвими жилами марки АВВГ прокладений відкрито; від відповідного РП до електроприймача під'єднаного до даного РП – за допомогою провідників АПВ покладених в підлозі в трубі.

11.3.2. Розрахунок цехової мережі

Вибір апаратури розподільчої мережі.

Вибір силових пунктів.

Для прийняття та розподілення електроенергії до груп електроспоживачів застосовують СП (силові пункти). Розподільчий силовий пункт – це закрита металева шафа, в якій вмонтовано апарати захисту, запобіжники або автоматичні вимикачі. Силовий пункт має зажими для підключення кабелів або проводів, використовується для прийому і розподілу електроенергії трифазного струму напругою до 660 В частоти 50 Гц. Силовий пункт надійно захищає надійно відходячі лінії від перевантажень і струмів короткого замикання.

Усі електроприймачі ділять на підгрупи за кількістю апаратів захисту в силовому пункті. Визначається розрахункова потужність або струм кожної підгрупи. За величиною розрахункової потужності вибирають провідники для живлення силового пункту і апарат на вході в силовий пункт. За характеристиками електроприймачів вибирають параметри апаратів захисту: плавкі вставки запобіжників або розчеплювачі автоматичних вимикачів. За параметрами апаратів захисту вибирають провідники для живлення окремих електроприймачів.

Умова вибору силового пункту (СП):

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{\text{НОМ}}^{\text{СП}} \geq U_{\text{НОМ}}^{\text{СПож}}, \quad (11.26)$$

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{СП}} \geq I_{\Sigma \text{НОМ}}, \quad (11.27)$$

Вибір силових розподільчих пунктів наведений в табл. 11.3.

Таблиця 11.3 – Вибір силових розподільчих пунктів

№	Тип СП	Кількість приєднан	$I_{\text{НОМ}}^{\text{руб}}$	Найменування споживачів	$n_{\text{п}}$	$I_{\Sigma \text{СП}}$
1	СПА-77-8	8 × 160	400	свердлильний верстат, прес-ножиці, радіально-свердлильний верстат, пила відрізна, зварювальний апарат.	8	$3 \cdot 17,9 + 1 \cdot 35,65 +$ $+1 \cdot 19,01 + 1 \cdot 4,75 +$ $+2 \cdot 108,65 = 330,41 \text{ A}$
2	СПА-77-8	8 × 160	400	шліфувальний верстат, вальці, зварювальний апарат, обдирно-шліфувальний верстат, заточувальний верстат, шліфувальний верстат, токарний верстат	8	$1 \cdot 10,87 + 1 \cdot 54,33 +$ $+1 \cdot 108,65 + 1 \cdot 8,78 +$ $+1 \cdot 7,61 + 1 \cdot 11,7 +$ $+2 \cdot 40,74 = 283,42 \text{ A}$
3	СПА-77-8	8 × 160	400	гідравлічний прес, згинальний верстат, кривошипний прес, прес електричний 1, прес електричний 2, кран балка	6	$1 \cdot 8,78 + 1 \cdot 52,65 +$ $1 \cdot 87,76 + 1 \cdot 108,65 +$ $+1 \cdot 59,76 + 1 \cdot 26,62$ $= 344,22 \text{ A}$

Шафи СПА-77 призначені для прийому розподілу електричної енергії в мережах 0,4 кВ 50 Гц, а також захисту електричних мереж від струмів короткого замикання і перевантажень. Вони встановлюються промислових підприємств. Щити виготовляються як в навісному, так і підлоговому виконанні в металевих корпусах одностороннього обслуговування, забарвлених порошковою забарвленням. Складаються з ввідного автоматичного вимикача і ліній, що відходять, які, також, захищені автоматичними вимикачами.

Вибір комутаційно-захисної апаратури цехової мережі.

В якості апаратури захисту вибираємо автоматичні вимикачі.

Умова вибору автоматичного вимикача (АВ):

$$U_{\text{НОМ}}^{\text{АВ}} \geq U_{\text{НОМ}}^{\text{мережі}}, \quad (11.28)$$

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{розч}} \geq I_{\text{НОМ}}, \quad (11.29)$$

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{АВ}} \geq I_{\text{НОМ}}^{\text{розч}}, \quad (11.30)$$

$$I_{\text{спрац}}^{\text{АВ}} \geq 1,25I_{\text{пік}}, \quad (11.31)$$

де $I_{\text{НОМ}}^{\text{АВ}}$ – номінальний струм АВ, А.

Для прикладу розрахунок проводимо для свердлильного верстату:

Розраховуємо номінальний струм:

$$I_{\text{р}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{НОМ}}}; \quad (11.32)$$

$$I_{\text{р}} = \frac{8}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 17,87 \text{ А.}$$

$$1,25I_{\text{пік}} = 1,25 \cdot 5 \cdot I_{\text{НОМ}} = 1,25 \cdot 5 \cdot 17,87 = 111,69 \text{ А.}$$

Умови вибору автоматичного вимикача в табл. 11.3.

Таблиця 11.3 – Умови вибору автоматичного вимикача

$U_{\text{НОМ АВ}} = 0,38\text{кВ}$	\geq	$U_{\text{НОМ мер}} = 0,38 \text{ кВ}$
$I_{\text{НОМ розч}} = 20 \text{ А}$	$>$	$I_{\text{р}} = 17,87 \text{ А}$
$I_{\text{НОМ АВ}} = 63 \text{ А}$	$>$	$I_{\text{НОМ розч}} = 25 \text{ А}$
$I_{\text{спрац}} = 200 \text{ А}$	$>$	$1,25 \cdot I_{\text{пік}} = 111,69 \text{ А}$

Вибираємо автоматичний вимикач типу АЕ2040 з номінальним струмом вимикача 25 А.

Вибір АВ до інших споживачів в табл.12.4.

Приймаємо АВ для захисту РП-1.

Пусковий струм для групи ЕП під'єднаних до РП-1:

$$I_{\text{пуск}}^{\sim} = i_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{розр}}^{\sim} - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}) \quad (11.33)$$

$i_{\text{пуск}}^{\text{max}}$ – пусковий струм найпотужнішого двигуна в групі;

$I_{\text{розр}}^{\sim}$ – розрахунковий струм всіх електросприймачів, що працюють зі змінним графіком навантаження;

K_B – коефіцієнт використання для цього двигуна;

$I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}$ – номінальний струм найпотужнішого двигуна.

$$i_{\text{пуск}}^{\text{max}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}$$

$K_{\text{пуск}}$ – кратність пускового струму. $K_{\text{пуск}} = 5$

$$I_{\text{пуск}}^{\sim} = 543,25 + (98,29 - 0,18 \cdot 108,65) = 622, \text{ А.}$$

Таблиця 11.4 – Вибір автоматичних вимикачачів

№ п/п	Найменування електроприймача	п, шт.	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$\cos\varphi / \eta_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{НОМ}}$, А	$1,25 \cdot I_{\text{лік}}$, А	АВ			
							$I_{\text{НОМ розр}}$, А	$I_{\text{НОМ АВ}}$, А	$I_{\text{спрац}}$, А	Тип
1	Свердильний верстат	3	8	0,85 / 0,8	17,90	111,85	20	25	200	АЕ2040
2	Прес-ножиці	1	15	0,8 / 0,8	35,65	222,82	40	100	300	АЕ2040
3	Радіально-свердильний	1	8	0,8 / 0,8	19,01	118,84	20	25	200	АЕ2040
4	Пила відрізна	1	2	0,8 / 0,8	4,75	29,71	5	10	100	АЕ2020
5	Зварювальний апарат	2	40	0,7 / 0,8	108,65	679,08	125	160	1600	АЕ2060
6	Всього по РП1	8	-	-	98,29	622	100	160	1600	АЕ2060
7	Шліфувальний верстат	1	4	0,7 / 0,8	10,87	67,91	12,5	25	200	АЕ2040
8	Вальці	1	20	0,7 / 0,8	54,33	339,54	63	63	600	АЕ2040
9	Зварювальний апарат	1	40	0,7 / 0,8	108,65	679,08	125	160	1600	АЕ2060
10	Обдирно-шліфувальний	1	3	0,65 / 0,8	8,78	54,85	10	25	200	АЕ2040
11	Заточувальний верстат	1	3	0,75 / 0,8	7,61	47,54	10	25	200	АЕ2040
12	Шліфувальний верстат	1	4	0,65 / 0,8	11,70	73,13	12,5	25	200	АЕ2040
13	Токарний верстат	2	15	0,7 / 0,8	40,74	254,66	50	63	300	АЕ2040
14	Всього по РП2	8	-	-	78,9	601,52	100	160	1600	АЕ2060
15	Гідравлічний прес	1	3	0,65 / 0,8	8,78	54,85	10	25	200	АЕ2040
16	Згинальний верстат	1	18	0,65 / 0,8	52,65	329,09	63	63	600	АЕ2060
17	Кривошипний прес	1	30	0,65 / 0,8	87,76	548,49	100	100	600	АЕ2060
18	Прес електричний 1	1	40	0,7 / 0,8	108,65	679,08	63	63	600	АЕ2060
19	Прес електричний 2	1	22	0,7 / 0,8	59,76	373,50	63	63	600	АЕ2060
20	Кран балка	1	7	0,7 / 0,8	26,62	166,38	32	63	200	АЕ2060
21	Всього по РП3	6	-	-	85,3	612,27	100	160	1600	АЕ2060

Вибір провідникової апаратури цехової мережі.

Переріз ліній живлення для мереж на напругою до 1000 В необхідно вибирати за допустимим нагрівом жил. Електроприймачі отримують живлення від розподільчих пунктів по кабелях і проводах, які живляться від розподільчих пристроїв ТП. Прокладка кабелів здійснюється в трубах і на лотках. У цехових мережах застосовують, як правило, алюмінієві провідники.

Переріз ліній живлення для мереж на напругою до 1000 В необхідно вибирати за допустимим нагрівом жил.

Вибір проводимо за умови:

$$K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}}^{\text{КЛ}} \geq I_{\text{розр}} \quad (11.34)$$

де, $K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт прокладки кабеля $K_{\text{пр}} = 1,0$

Для лінії, яка буде з'єднувати ТП з РП-1, розрахунковим струмом: $I_{\text{розр}} = 98,29 \text{ А}$ обираємо силові КЛ з алюмінієвими СПЖ, з ізоляцією з ПВХ пластикату, із зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату АВВГ прокладений у повітрі перерізом $3 \times 35 + 1 \times 16$ з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 109 \text{ А}$, переріз жили $S_{\text{ст}} = 35 \text{ мм}^2$.

$$1,0 \cdot 109 > 98,29 \text{ А},$$

– умова виконується.

Для лінії, яка буде з'єднувати ТП з РП-2, розрахунковим струмом: $I_{\text{розр}} = 78,9 \text{ А}$ обираємо силові КЛ з алюмінієвими СПЖ, з ізоляцією з ПВХ пластикату, із зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату АВВГ прокладений у повітрі $3 \times 25 + 1 \times 16$ з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 88 \text{ А}$, переріз жили $S_{\text{ст}} = 25 \text{ мм}^2$.

$$1,0 \cdot 88 > 78,9 \text{ А},$$

– умова виконується.

Для лінії, яка буде з'єднувати ТП з РП-3, розрахунковим струмом: $I_{\text{розр}} = 85,3 \text{ А}$ обираємо силові КЛ з алюмінієвими СПЖ, з ізоляцією з ПВХ пластикату, із зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату АВВГ прокладений у повітрі і перерізом $3 \times 25 + 1 \times 16$ з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 88 \text{ А}$, переріз жили $S_{\text{ст}} = 25 \text{ мм}^2$.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$1,0 \cdot 88 > 88,3 \text{ A},$$

– умова виконується.

Перевіримо втрату напруги в лінії, що живить РП-1, РП-2, РП-3:

$$\Delta U = \frac{P_P \cdot R_{\text{пит}} + Q_P \cdot X_{\text{пит}}}{U_H} \cdot l, \quad (11.35)$$

$$\Delta U_{\text{ТП-РП1}} = \frac{60,75 \cdot 0,894 + 22,23 \cdot 0,088}{380} \cdot 250 = 14,8 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\text{ТП-РП2}} = \frac{48,5 \cdot 1,25 + 18,57 \cdot 0,091}{380} \cdot 250 = 16,4 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\text{ТП-РП3}} = \frac{52,2 \cdot 1,25 + 20,65 \cdot 0,091}{380} \cdot 250 = 17,7 \text{ В};$$

Втрата напруги у відсотках:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_H} \cdot 100\%, \quad (11.36)$$

$$\Delta U_{\text{ШП-РП3}}\% = \frac{17,7}{380} \cdot 100\% = 4,7\%,$$

Втрата напруги на лінії електропередачі допустима.

Вибір кабельної лінії від РП-1 до електроспоживача ЕС-1.

Розрахунковий струм свердлильного верстата $I_{\text{розр}} = 17,9 \text{ А}$ обираємо провід АПВ 4*10 з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 32 \text{ А}$, переріз жили $S_{\text{ст}} = 10 \text{ мм}^2$.

$$1,0 \cdot 32 > 17,9 \text{ А},$$

– умова виконується.

$$\Delta U_{\text{РП1-ЕС1}} = \frac{8 \cdot 0,073 + 5 \cdot 0,099}{380} \cdot 15 = 0,043 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\text{РП1-ЕС1}}\% = \frac{0,043}{380} \cdot 100\% = 0,011\%.$$

Сумарне значення падіння напруги до споживача:

$$\Delta U = \Delta U_{\text{РП1-ЕС1}}\% + \Delta U_{\text{ШП-РП3}}\% = 4,7 + 0,011 = 4,711\%.$$

Така втрата напруги на лінії електропередачі допустима.

Для інших споживачів виконуємо розрахунок аналогічним чином.

Результати розрахунків заносимо в табл. 11.5.

										Арк.
										72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Таблиця 11.5 – Вибір провідників цехової мережі

№ п/п	Найменування електроприймача	I _{ном} , А	Лінія живлення				
			I _{ном доп} , А	S, мм ²	Прокл.	Тип ЛЖ	Тип труби
1	Свердлильний верстат	17,90	23	4*(1*4)	в трубі	АПВ	СТ10
2	Прес-ножиці	35,65	39	4*(1*10)	в трубі	АПВ	СТ16
3	Радіально-свердлильний верстат	19	23	4*(1*4)	в трубі	АПВ	СТ10
4	Пила відрізна	4,75	23	4*(1*4)	в трубі	АПВ	СТ10
5	Зварювальний апарат	108,65	109	3*35+1*16	відк	АВВГ	-
6	ТП-РП1	89,29	109	3*35+1*16	відк	АВВГ	-
7	Шліфувальний верстат	10,87	23	4*(1*4)	в трубі	АПВ	СТ10
8	Вальці	54,33	55	4*(1*16)	в трубі	АПВ	СТ32
9	Зварювальний апарат	108,65	109	3*35+1*16	відк	АВВГ	-
10	Обдирно-шліфувальний верстат	8,78	23	4*(1*4)	в трубі	АПВ	СТ10
11	Заточувальний верстат	7,61	23	4*(1*4)	в трубі	АПВ	СТ10
12	Шліфувальний верстат	11,70	23	4*(1*4)	в трубі	АПВ	СТ10
13	Токарний верстат	40,74	55	4*(1*16)	в трубі	АПВ	СТ32
14	ТП-РП2	78,9	88	3*25+1*16	відк	АВВГ	-
15	Гідравлічний прес	8,78	23	4*(1*4)	в трубі	АПВ	СТ10
16	Згинальний верстат	52,65	55	4*(1*16)	в трубі	АПВ	СТ32
17	Кривошипний прес	87,76	116	3*35+1*16	відк	АВВГ	-
18	Прес електричний 1	108,65	116	3*35+1*16	відк	АВВГ	-
19	Прес електричний 2	59,76	70	4*(1*25)	в трубі	АПВ	СТ70
20	Кран балка	26,62	30	4*(1*6)	в трубі	АПВ	СТ16
21	ТП-РП3	85,3	88	3*25+1*16	відк	АВВГ	-

Електропроводки при радіальних схемах виконуються, як правило, кабелем або проводами, що прокладаються в трубах. Такі проводки мають високу вартість і вимагають дефіцитних матеріалів (труб). Останнім часом замість прокладки в трубах почали застосовувати відкриту прокладку провідників у сталевих лотках і коробах, що кріпляться до конструкції. Такі проводки дешевші, але менш надійні.

11.4. Розрахунок освітлювальної мережі та вибір обладнання

Штучне освітлення проектується двох видів [10-11]: загальне і комбіноване, коли додається місцеве освітлення робочих місць до загального. Якість і

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

економічність освітлювальних установок залежить від правильності вибору системи освітлення. Систему загального освітлення застосовують для освітлення всього приміщення, в тому числі й робочих поверхонь. Загальне освітлення може здійснюватись двома способами: з рівномірним і нерівномірним розміщенням світильників під стелею освітлюваного приміщення. Освітлення з рівномірним розміщенням світильників застосовують, якщо в виробничих приміщеннях технологічне устаткування розміщене рівномірно по всій площі з однаковими умовами зорової роботи і необхідно забезпечити рівномірне освітлення. Якщо в приміщеннях є робочі поверхні, що вимагають різних умов освітлення, то для створення на них необхідної освітленості світильники розміщують локалізовано, залежно від розміщення робочих поверхонь або виробничого устаткування.

Отже, вибираємо систему загального освітлення.

Робоче освітлення влаштовують в усіх приміщеннях. Воно створює на робочих поверхнях нормовану освітленість. Аварійне освітлення необхідне там, де при раптовому вимиканні робочого освітлення можливі вибух або пожежа, масовий травматизм, тривале порушення технологічного процесу, а також порушення роботи відповідних об'єктів.

План розміщення світильників. При системі загального освітлення світильники можна розміщувати над освітлювальною поверхнею рівномірно або локалізовано. У випадку рівномірного освітлення світильники розташовують правильними симетричними рядами, створюючи при цьому приблизно рівномірну освітленість по всій площі,

На рис.12.3а показано розміщення світильників загального освітлення по висоті приміщення. При загальному рівномірному освітленні кращим варіантом розміщення світильників з лампами ДРЛ є розміщення їх по кутах прямокутника (рис.12.3, б). Якщо світильники розміщують по кутах квадрата $L_A = L_B$, можна дістати найбільш рівномірний розподіл світла по всій площі приміщення.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

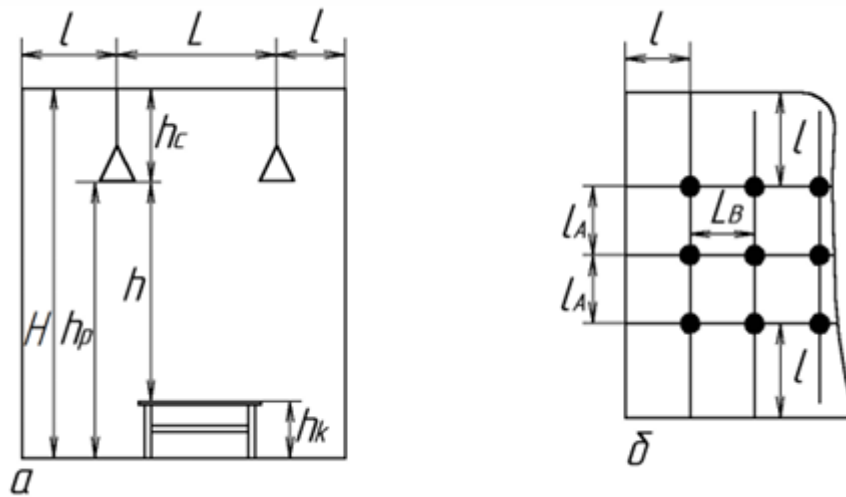


Рисунок 11.3 – Схеми розміщення світильників:

а – в розрізі; б, в – в плані

Розрахунок освітленості проведений по методу світлового потоку (коефіцієнту використання). Результатом розрахунку був вибір рівномірного освітлення з 54 світильниками Lumen ЛПО 2/40 з двома лампами потужністю 40 Вт для робочого освітлення, та 10 світлодіодних ламп потужністю 20 Вт кожна для аварійного освітлення. Розташування світильників робочого освітлення 6 рядів по 9 світильників у ряді. Розташування світильників аварійного освітлення рівномірне 5 рядів по 2 світильники у ряді.

В освітлювальних мережах розрізняють живильні і групові лінії. Живильна лінія з'єднує джерело живлення з груповими щитками освітлення. Групові лінії служать для приєднання світильників до групових щитків. У конструктивному виконанні живильні лінії виконуються чотирипровідними в мережі з заземленою нейтраллю. Групові лінії найчастіше виконуються трифазними чотирипровідними (3ф + N), тому що це дозволяє зменшити переріз провідникового матеріалу, забезпечити рівномірне навантаження фаз, знизити коефіцієнт пульсації при живленні світильників від різних фаз.

Вибір перерізу провідників за допустимим струмом навантаження.

Умовою перевірки обраного перерізу провідника за допустимим струмом навантаження є:

$$I_{\text{доп}}^{\text{КЛ}} \geq I_{\text{розр}} \quad (11.37)$$

де $I_{\text{розр}}$ – розрахунковий струм, що протікає по провіднику, А.

Для трифазної чотирипровідної мережі (3ф + N):

$$I_{\text{розр}} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{\text{л}} \cdot \cos\varphi}, \text{ А}, \quad (11.38)$$

де P – розрахункова потужність, кВт; $P = 4,72$ кВт.

$$I_{\text{розр}} = \frac{4,72 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 7,55 \text{ А}.$$

За довідковими таблицями [4] вибирається найближчий більший переріз.

Якщо до трифазної чотирипровідної освітлювальної лінії підключено люмінесцентні лампи, то струм в нульовому проводі не дорівнює нулю при рівномірному навантаженні фаз. Це зумовлено нелінійністю вольт-амперної характеристики люмінесцентних ламп, а також наявністю ПРА, що викликає несинусоїдальність кривої струму i , внаслідок цього, по нульовому проводу протікає струм вищих гармонік, що кратні трьом.

Для ЩО-1 розрахунковий струм:

$$I_{\text{розр.ро}} = \frac{4,32 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 6,91 \text{ А}.$$

Вибираємо кабель від РП до ЩО1 ВВГ 4х1,5 з допустимим струмом 21 А.

$$21 \geq 6,91 \text{ А},$$

умова виконується.

Для ЩО-1а розрахунковий струм:

$$I_{\text{розр.ао}} = \frac{0,2 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,95} = 0,96 \text{ А}.$$

Вибираємо кабель від РП до ЩО1 ВВГ 4х1 з допустимим струмом 10,5 А.

$$10,5 \geq 0,96 \text{ А},$$

умова виконується.

Перетин провідників (в мм^2) освітлювальної мережі за допустимою втратою напруги визначається за формулою

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S = \frac{M}{C \cdot \Delta U_{\text{доп}}} \quad (11.39)$$

де M – момент навантаження ділянки мережі, кВтм;

C - постійний коефіцієнт, що залежить від номінальної напруги, обраної системи мережі і матеріалу провідника.

$\Delta U_{\text{доп}}$ - допустиме значення втрати напруги (у відсотках).

Допустимі втрати напруги в мережі:

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5 \%$$

Момент освітлювального навантаження визначається в залежності від схеми підключення світильників і їхньої потужності (рис. 11.5).

Для кожної ділянки мережі розраховуємо момент навантаження, $\text{кВт} \cdot \text{м}$.

Формула для розрахунку:

$$M = P_i \cdot L_i. \quad (11.40)$$

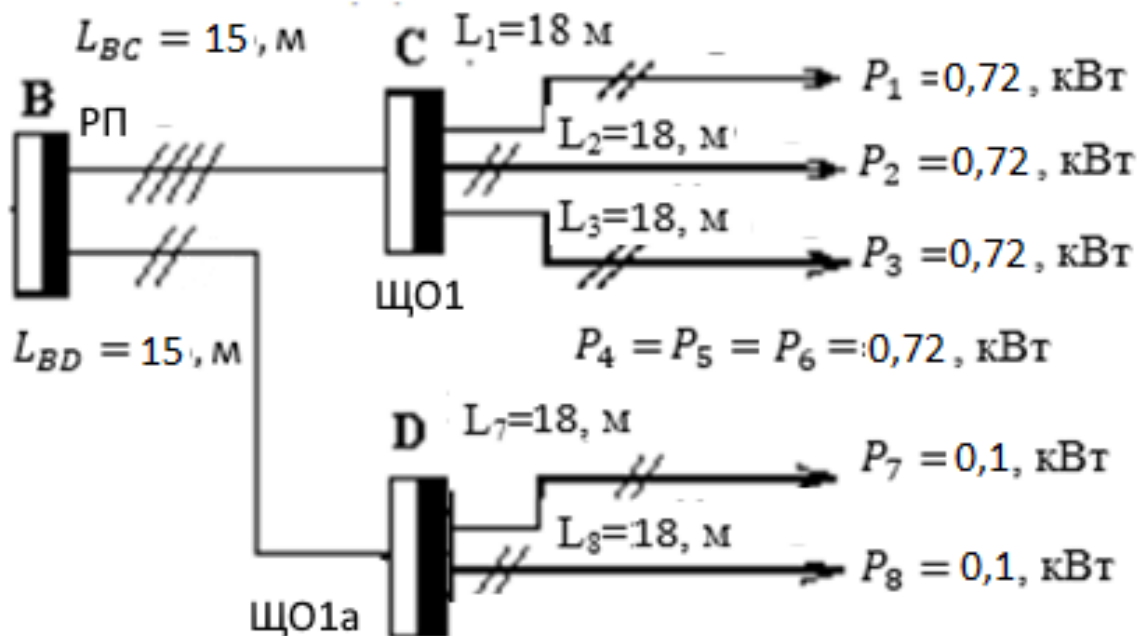


Рисунок 11.5 – Принципова електрична схема мережі освітлення

Результати розрахунків зводимо в табл. 11.6.

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

Таблиця 11.6 – Моменти навантаження

i	1	2	3	4	5	6	7	8	BD	BC	AB
$P_i, \text{кВт}$	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,1	0,1	0,2	4,32	4,52
$L_i, \text{м}$	18	18	18	18	18	18	18	18	15	15	15
$M_i, \text{кВт} \cdot \text{м}$	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	1,8	1,8	3	64,8	64,8

Розрахунок перерізу кабелю ділянок BC, BD

$$\begin{aligned}
 M_{\text{прBC}} &= \sum M + \sum \alpha \cdot t = M_{BC} + \alpha_1(M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6) \\
 &= 64,8 + 1,85 \cdot (12,96 + 12,96 + 12,96 + 12,96 + 12,96 + 12,96) = \\
 &= 208,656 \text{ кВт} \cdot \text{м}.
 \end{aligned}$$

Потрібний переріз жил кабелю ділянки BC:

$$S'_{BC} = \frac{M_{\text{прBC}}}{C \cdot \Delta U_1} = \frac{208,656}{77 \cdot 5} = 0,54 \text{ мм}^2$$

Стандартна величина перерізу жил кабелю ділянки BC:

$$S_{BC} = 1,5 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель від РП до ЩО-1 ВВГ 4x1,5 з допустимим струмом 21А.

$$21 \geq 6,91 \text{ А},$$

умова виконується.

Ділянка BD.

Приведений момент навантаження до ділянки BD:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{прBD}} &= \sum M + \sum \alpha \cdot t = M_{BD} + \alpha_1(M_7 + M_8) = \\
 &= 3 + 1,85 \cdot (1,8 + 1,8) = 9,66 \text{ кВт} \cdot \text{м}.
 \end{aligned}$$

Потрібний переріз жил кабелю ділянки BD:

$$S'_{BD} = \frac{M_{\text{прBD}}}{C \cdot \Delta U_1} = \frac{9,66}{77 \cdot 5} = 0,03 \text{ мм}^2$$

Стандартна величина перерізу жил кабелю ділянки BD:

$$S_{BD} = 1,5 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель від РП до ЩО-1а ВВГ 2x1,5 з допустимим струмом 21А.

											Арк.
											78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$21 \geq 0,96 \text{ A,}$$

умова виконується.

Визначаємо фактичні утрати напруги на ділянках BC, BD.

Фактична втрата напруги на ділянці BC:

$$\Delta U_{BC} = \frac{M_{BC}}{C \cdot S_{BC}} = \frac{208,656}{77 \cdot 1,5} = 1,81 \%$$

Фактична втрата напруги ділянки BD:

$$\Delta U_{BD} = \frac{M_{BD}}{C \cdot S_{BD}} = \frac{9,66}{77 \cdot 1,5} = 0,08 \%$$

Визначаємо розрахункові втрати напруги для наступних ділянок за BC, BD і розраховуємо їхні перерізи і дійсні втрати напруги.

Розрахункові втрати напруги для наступних ділянок за BC, BD:

Розрахункові втрати напруги для наступних 1-6 ділянок:

$$\Delta U_{1-6} = \Delta U_1 - \Delta U_{BC} = 5 - 1,81 = 3,19 \%$$

Розрахункові втрати напруги для наступних 7-8 ділянок:

$$\Delta U_{7-8} = \Delta U_1 - \Delta U_{BD} = 5 - 0,08 = 4,92 \%$$

Визначаємо розрахунковий $S_{роз}$ та вибираємо стандартний $S_{ст}$ переріз жил провідників 1-8 ділянок.

Формула для розрахунку:

$$S_{роз.i} = \frac{M_i}{C_i \cdot \Delta U_{роз.i}}. \quad (11.41)$$

$$S_{роз.1-6} = \frac{M_1}{C_1 \cdot \Delta U_{1-6}} = \frac{12,96}{12,8 \cdot 3,19} = 0,32 \text{ мм}^2.$$

Стандартна величина перерізу жил кабелю ділянки 1-6:

$$S_{BD} = 1,5 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель від ЩО-1 до світильників ВВГ 2*1,5 з допустимим струмом 21 А.

$$21 \geq 3,27 \text{ A,}$$

умова виконується.

$$S_{роз.7-8} = \frac{M_7}{C_7 \cdot \Delta U_{7-8}} = \frac{1,8}{12,8 \cdot 4,92} = 0,03 \text{ мм}^2.$$

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Стандартна величина перерізу жил кабелю ділянки 7-8:

$$S_{BD} = 1,5 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель від ЩО-1а до світильників аварійного освітлення ВВГ 2*1,5 з допустимим струмом 21 А.

$$21 \geq 0,5 \text{ А},$$

умова виконується.

Вибір апаратів захисту:

Ввідний автоматичний вимикач для щитка основного освітлення, $I_{розр.ро} = 6,91\text{А}$. Обираємо 4 полюсний (3ф+0) автоматичний вимикач Schneider Electric

А

П

а В

Р

і

д Для аварійного освітлення обираємо також пристрій АВР CSQ-НУСQ7 (63А, 1 фаза), який у випадку знеструмлення лінії живлення підключить резервну (генератор/акумуляторна станція) для живлення системи аварійного освітлення.

й

а

я

н

т

ф

м

а

д

и

я

н

н					ДП 2025 141	Арк.
и	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

н

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ, ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ І ОХОРОНИ ПРИРОДИ

12.1. Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання

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

Умови навколишнього середовища: силові масляні трифазні трансформатори ТМ загальнопромислового призначення потужністю від 25 до 1600 кВА застосовуються для живлення споживачів промислових об'єктів та електропостачання. Т – трифазний, М – масляний, вид охолодження – природній; схема і група з'єднання обмоток – У/У_Н – 0 ; Д/У_Н-11; У/З_Н-11. Умови розміщення та кліматичні категорії: – «У1».

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

					<i>ДП 2025 141</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>			12. Розробка заходів з охорони праці, техніки безпеки і охорони природи	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>					81	114
<i>Реценз.</i>		<i>Столяров О.Я.</i>				<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3</i>		
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

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

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

Електротехнічний персонал (наприклад, електромонтери, електромеханіки, електромонтажники) підрозділяється на адміністративно-технічний, оперативний та ремонтний, і повинен мати групу з електробезпеки не нижчу III. До оперативного управління та оперативних перемикачів в електроустановках може допускатись тільки оперативний електротехнічний персонал. Для нього передбачено, крім періодичних інструктажів, навчання та перевірки знань з питань охорони праці, додаткову спеціальну підготовку, навчання та перевірку знань з питань технічної експлуатації електроустановок, протиаварійні тренування. Стажування (дублювання) електротехнічних оперативних працівників передбачено на термін до 14 днів, у разі виконання робіт на випробувальних станціях — до 1 місяця, а верхолазних робіт — до 1 року.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії:

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

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

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

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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

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

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

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

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

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12.2. Організаційні та технічні заходи з охорони праці

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

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

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

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

локалізації цих виділень. За відсутності таких пристроїв у конструкції обладнання мають бути передбачені місця для підключення автономних пристроїв локалізації виділень. Якщо виробниче обладнання є джерелом шуму, ультра- та інфразвуку, вібрації, виробничих випромінювань (електромагнітних, лазерних тощо), то його треба виконувати таким чином, щоб параметри перелічених шкідливих виробничих факторів не перевищували меж, встановлених відповідними чинними нормативами.

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

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

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

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Захист від прямого дотику не вимагається, якщо номінальна напруга ЕУ не перевищує: – 25 В змінного або 60 В постійного струму в разі застосування системи БНН (система безпечної наднизької напруги), якщо електричне обладнання експлуатується у сухих приміщеннях; – 25 В змінного або 60 В постійного струму в разі застосування системи захисної наднизької напруги, якщо обладнання перебуває у зоні дії зрівнювання потенціалів і експлуатується тільки у сухих приміщеннях; – 6 В змінного або 15 В постійного струму в усіх інших випадках.

12.3. Практичний розрахунок

Розрахунок заземлюючого пристрою для нульової точки трансформатора потужністю 60 кВА і напругою 6000/380 кВ у чотирьохпровідній трифазній мережі з глухозаземленою нейтраллю. Заземлювач виконати з сталевих труб діаметром 0,05 м, довжиною 2,5 м, з розміром сталевий з'єднувальної стрічки 40x4 мм, питомий опір ґрунту 50 Ом·м, кліматичний коефіцієнт ґрунту 1,4. Допустимий опір заземлюючого пристрою прийняти $R \leq 10$ Ом.

Визначимо значення питомого опору ґрунту:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho \cdot \Psi = 50 \cdot 1,2 = 60 \text{ Ом}\cdot\text{м}, \quad (12.1)$$

Ψ – коефіцієнт сезонності;

ρ – питомий опір ґрунту, Ом*м.

Визначимо значення опору розтікання струму вертикального заземлювача:

$$R_B = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t + l}{4t - l} \right), \text{ Ом}, \quad (12.2)$$

$$R_B = \frac{60}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,05} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,05 + 2,5}{4 \cdot 2,05 - 2,5} \right) = 18,803, \text{ Ом},$$

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

$$t = h_b + \frac{l}{2} = 0,8 + \frac{2,5}{2} = 2,05, \text{ м}, \quad (12.3)$$

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

Визначимо кількість вертикальних заземлювачів, не враховуючи коефіцієнт використання:

									Арк.
									87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$n = \frac{R_B}{R_D} = \frac{18,8}{10} = 1,88 \text{ шт.} \quad (12.4)$$

З врахування коефіцієнта використання:

$$n_B = \frac{R_B}{R_D \cdot \eta_B} = \frac{18,8}{10 \cdot 0,85} = 2,2 \approx 2 \text{ шт,} \quad (12.5)$$

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

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

$$L_c = 1,05 \cdot l_B = 1,05 \cdot 2,5 = 2,625 \text{ м.} \quad (12.6)$$

Визначимо опір розтікання струму горизонтального заземлювача:

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot L_c} \cdot \ln \frac{L_c}{d \cdot h_c}, \quad (12.7)$$

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

де h_c – глибина закладання заземлювачів;

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

$$d = 0,95 \cdot b = 0,95 \cdot 0,15 = 0,143 \text{ м.} \quad (12.8)$$

Визначимо результуючий опір заземлюючого електрода:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B \cdot \eta_C + R_\Gamma \cdot \eta_B \cdot n_B} = \frac{18,8 \cdot 11,4}{18,8 \cdot 0,85 + 11,4 \cdot 0,85 \cdot 2} = 6,06 \text{ Ом.} \quad (12.9)$$

Перевірка:

$$R_3 \leq R_D, 6,06 \leq 10, \quad (12.10)$$

отже розрахунок вірний.

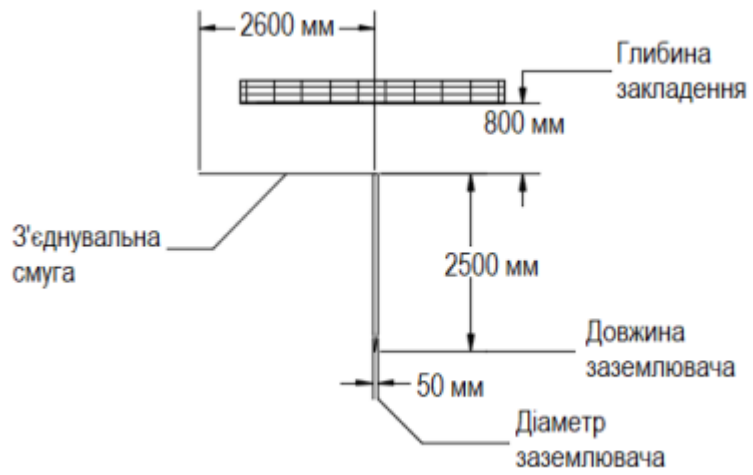


Рисунок 12.1 - Схема заземлення

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

13. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

13.1 Системи накопичення електроенергії

Система накопичення електроенергії (ESS, Energy Storage System) - це комплекс технічних засобів, призначений для збереження електричної енергії з можливістю її подальшого використання [16]. Така система включає в себе обладнання для акумулювання, перетворення, збереження енергії та управління відповідними процесами.

На сьогоднішній день промислові підприємства мають змогу використовувати різні типи ESS: теплові, механічні, хімічні, електрохімічні та акумуляторні рішення. Ці технології дозволяють ефективно забезпечувати енергетичні потреби споживачів у повсякденному режимі.

Завдяки ESS енергію можна накопичувати та подавати у моменти пікового навантаження, що підвищує надійність та гнучкість енергопостачання. Такі системи сприяють економії для користувачів і допомагають стабілізувати енергомережу.

У сучасних умовах, коли зростає вартість електроенергії та посилюються навантаження на енергосистему, необхідність у таких технологіях стає критично важливою. ESS дозволяють швидко реагувати на енергетичні виклики, надаючи змогу ефективно керувати споживанням.

Навіть за несприятливих погодних умов - у похмурі або безвітряні дні – накопичувачі електроенергії забезпечують стабільну подачу струму як для побутових, так і для комерційних об'єктів.

Основні елементи системи накопичення енергії:

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>			13. Індивідуальне завдання. Використання систем накопичення електричної енергії на промислових підприємствах	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>					90	114
Реценз.		<i>Столяров О.Я.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3		
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

Система перетворення енергії (PCS) – відповідає за перетворення змінного струму у постійний під час заряджання акумуляторів та зворотне перетворення при подачі енергії споживачу.

Система управління акумуляторами (BMS) відповідає за контроль заряду, стану акумуляторних батарей та координацію їхньої роботи. В її основі – мікроконтролер, що забезпечує ефективне управління та зв'язок між компонентами системи.

Причини зростання популярності ESS.

З огляду на стрімкий розвиток відновлюваної енергетики та збільшення енергоспоживання, підприємства і домогосподарства дедалі частіше звертаються до автономних джерел живлення. Це дозволяє:

- знизити залежність від централізованих мереж;
- покращити стабільність енергопостачання;
- підвищити енергоефективність;
- зменшити викиди;
- ефективно управляти ризиками;
- скоротити навантаження на державну енергосистему.

Оскільки альтернативні джерела енергії нестабільні, ESS компенсує ці коливання, дозволяючи зберігати надлишки та використовувати їх у міру потреби. Це оптимізує роботу мереж, дозволяючи працювати на середньому навантаженні замість пікового.

Переваги систем накопичення енергії.

Сучасні ESS: забезпечують безперебійне живлення критичних споживачів; підвищують адаптивність інфраструктури; сприяють стабільності електропостачання; дозволяють уникати перевантажень у години пік.

Системи зберігання електроенергії (ESS) дозволяють забезпечити електроживлення в регіонах без централізованої мережі або в умовах нерегулярного постачання. Вони відіграють ключову роль у підтримці енергонезалежності підприємств і домогосподарств. Попри техногенні ризики, як-от перегрів чи коротке замикання, при належному технічному обслуговуванні

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ESS залишаються безпечними.

Типи систем зберігання енергії:

- хімічні системи – використовуються переважно в промисловості (водень, аміак тощо).
- електричні накопичувачі (SMES) – це суперконденсатори, ефективні та прості в експлуатації, також застосовуються у промисловості.
- електрохімічні системи (BESS) – акумуляторні батареї, широко використовувані з сонячними станціями, мають високий ресурс і стабільність.
- механічні системи – включають маховики, компресори, гідроакумулятори; мають обмежене застосування через специфічні вимоги.

ESS підтримують стабільність мережі, полегшують інтеграцію відновлюваних джерел енергії, скорочують витрати та втрати у періоди пікових навантажень. Вони дозволяють власникам уникати бюрократичних процедур із підключенням додаткової потужності, роблячи їх менш залежними від централізованих енергомереж.

Системи зберігання енергії охоплюють різноманітні технології для ефективного управління електропостачанням.

1. Однією з ключових категорій є твердотільні накопичувачі, до яких належать сучасні електрохімічні акумулятори та конденсатори (див. рис. 13.1). Вони широко застосовуються завдяки високій щільності енергії, швидкому реагуванню та компактності.

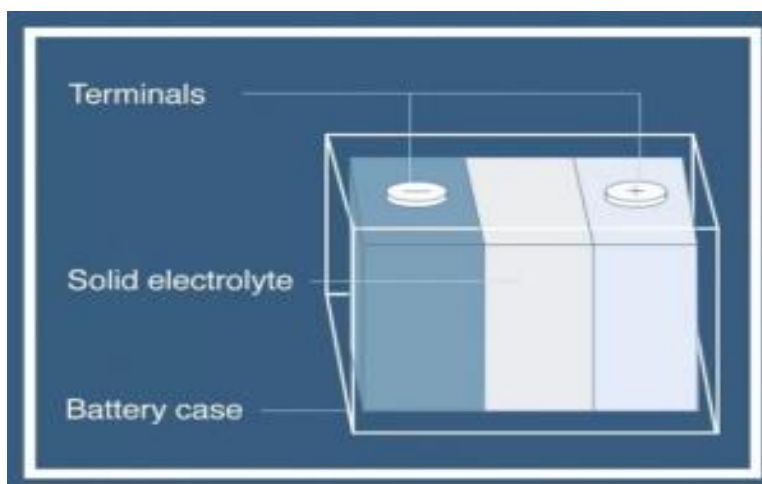


Рисунок 13.1 – Твердотільні акумулятори

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

2. Проточні акумулятори – це системи, у яких електроенергія зберігається у вигляді хімічної енергії в рідкому електроліті. Така конструкція забезпечує довговічність і швидке реагування на зміни навантаження (див.рис.13.2).

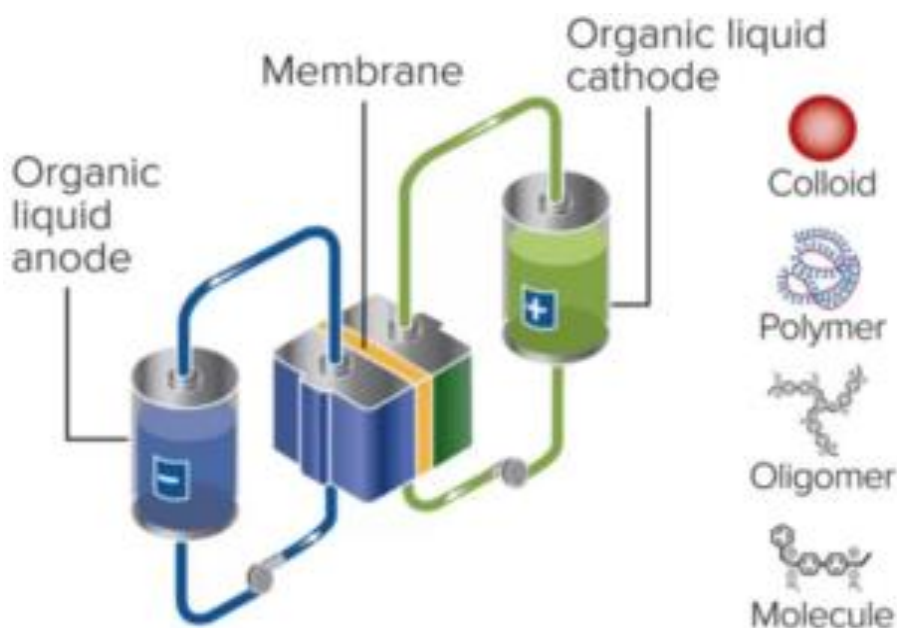


Рисунок 13.2 – Принцип роботи проточного акумулятора

3. Маховикові накопичувачі – це механічні системи, які зберігають енергію за рахунок обертання ротора. Завдяки інерції вони здатні оперативно видавати електроенергію при необхідності (рис. 13.3). Наприклад, компанія Temporal Power розробила високопродуктивні маховики, що забезпечують потужність до 500 кВт кожен.



Рисунок 13.3 – Приклад принципу роботи маховика компанії АВВ

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

4. Акумулявання теплової енергії – технологія, що дозволяє зберігати тепло або холод з подальшим використанням для генерації електроенергії у потрібний момент. Такий підхід дозволяє оптимізувати споживання енергії та підвищити ефективність систем. Яскравим прикладом є сонячна електростанція Crescent Dunes Solar Reserve у штаті Невада (США), яка має потужність 110 МВт (рис. 13.4).



Рисунок 13.4 – Електростанція CrescentDunes Solar Reserve, Невада, США

13.2 Накопичувачі електричної енергії

Електричний акумулятор це багаторазове хімічне джерело струму, здатне накопичувати та зберігати електричну енергію завдяки зворотним хімічним процесам, що відбуваються всередині нього. Його головна особливість полягає в можливості багаторазового циклічного використання, тобто заряджання та подальшого розряджання, що забезпечує живлення для різноманітних електротехнічних систем і пристроїв. Такі пристрої належать до вторинних хімічних джерел електроенергії [18-20].

Робота акумулятора базується на зворотній хімічній реакції. Наприклад, кислотні та лужні акумулятори здатні накопичувати хімічну енергію під час зарядки та перетворювати її в електричну під час розряджання, подібно до гальванічних елементів. Завдяки можливості повторної зарядки, акумулятори зберігають свою працездатність протягом багатьох циклів.

Максимальний обсяг електричного заряду, який повністю заряджений акумулятор здатен віддати при розряді до мінімально допустимої напруги, називається ємністю акумулятора. Вона вимірюється в кулонах або ампер-годинах ($1 \text{ A} \cdot \text{год} = 3600 \text{ Кл}$).

Акумулятор, як і будь-яке інше джерело хімічної енергії, включає два електроди — позитивний і негативний, що занурені в електроліт. На межі контакту електродів з електролітом виникає різниця потенціалів, яка визначає електрорушійну силу (ЕРС) або напругу при розімкненому ланцюгу. У процесі розряду хімічна енергія перетворюється на електричну, тоді як під час заряджання відбувається зворотне перетворення — електрична енергія акумулюється у вигляді хімічної.

Акумулятори поділяються на дві основні групи: кислотні (свинцеві) та лужні. Лужні акумулятори характеризуються міцністю, витривалістю до перевантажень, стабільною роботою в широкому діапазоні температур і невибагливістю до умов експлуатації. Проте вони мають порівняно низький ККД (близько 60 %) та меншу напругу (1,2–1,33 В). Натомість свинцево-кислотні акумулятори забезпечують вищу номінальну напругу (2 В), мають низький внутрішній опір і високий ККД (до 85 %), але страждають через обмежений ресурс роботи, меншу стійкість до механічних навантажень і чутливість до температурних коливань [18-22].

Лужні акумулятори класифікуються за матеріалами електродів, зокрема: нікель-кадмієві, нікель-залізні, нікель-цинкові та срібно-цинкові.

Щодо хімічного складу батарей [18-22], найбільш поширеними залишаються свинцево-кислотні акумулятори. У зарядженому вигляді вони мають негативний електрод із свинцю, а позитивний — із діоксиду свинцю, занурені в розчин сірчаної кислоти. Під час розрядки на обох електродах утворюється сульфат свинцю, а електроліт перетворюється на воду. Цей тип акумуляторів є недорогим і простим у використанні, однак має обмежену тривалість служби через швидке падіння доступної ємності та невисоку щільність збереженої енергії.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						95
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нікель-кадмієві батареї (NiCd) використовують гідроксид нікелю як позитивний електрод і металевий кадмій — як негативний. Через токсичність кадмію у 2004 році Європейський Союз заборонив застосування цих батарей у більшості сфер. З того часу нікель-кадмієві акумулятори практично повністю витіснили нікель-металогідридні (NiMH).

Нікель-металогідридні батареї (NiMH) вперше з'явилися на ринку у 1989 році та зараз широко застосовуються у побуті й промисловості. Негативним електродом у них слугує воднепоглинальний сплав, що замінив кадмій.

Літій-іонні акумулятори є найпопулярнішим вибором для мобільної електроніки, оскільки мають одне з найкращих співвідношень енергії до ваги та дуже низький рівень саморозряду при тривалому зберіганні.

Літій-іонні полімерні акумулятори вирізняються малою вагою і здатністю виготовлятися у будь-яких формах, що розширює їх застосування.

Суперконденсатори (або ультраконденсатори) — це електрохімічні конденсатори, які не містять традиційних твердих діелектриків. Їх ємність визначається комбінацією двошарової ємності та псевдоємності, що забезпечує високу швидкість заряджання та розряджання.

Стаціонарні акумуляторні установки на електростанціях повинні працювати довго і надійно, підтримуючи стабільну напругу на шинах постійного струму як у нормальному, так і в аварійному режимі [18-22]. В екстрених ситуаціях акумулятори мають забезпечувати безперервне живлення обладнання щонайменше протягом однієї години з необхідним рівнем напруги.

Перед введенням в експлуатацію батареї повинні досягти 100 % своєї номінальної ємності і експлуатуватися в режимі постійної підзарядки.

Для кислотних акумуляторів рекомендовано уникати тренувальних розрядів і проводити регулярні вирівнювальні перезарядки для підтримання оптимального стану.

Сигналізація про несправність кіл постійного струму повинна мати резервне живлення. Рівень пульсацій на шинах постійного струму не повинен перевищувати нормативні значення, встановлені технічними умовами заводу-

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

виробника та вимогами до живлення пристроїв РЗА й АСК ТП, при цьому вибирається найжорсткіше обмеження.

Періодичність і обсяги технічного обслуговування акумуляторних батарей (АБ) затверджує технічний керівник енергооб'єкта. Поточні огляди АБ здійснює персонал установки: при наявності постійного чергового персоналу – щоденно, а за його відсутності – за графіком не рідше одного разу на 10 днів під час огляду іншого обладнання.

Технічне обслуговування щитів постійного струму рекомендується проводити раз на 6–8 років, включно з ревізією контактів, перевіркою перерізу з'єднувальних перемичок і шин.

Ремонт свинцево-кислотних батарей (СК) виконується за потребою. Капітальний ремонт з заміною електродів проводять, як правило, після 15–20 років експлуатації. Ремонт починають при зниженні фактичної ємності батареї до 70 %. Для інших типів акумуляторів експлуатація здійснюється згідно з інструкціями виробника.

Установка кислотних і лужних АБ в одному приміщенні заборонена.

13.3 Промислові системи накопичення енергії

Акумуляторні системи накопичення енергії (СНЕ) — це електрохімічні пристрої, призначені для накопичення електроенергії з електромережі з подальшим її віддаванням у потрібний момент [22]. Найефективнішим способом збереження енергії наразі вважаються літій-іонні акумулятори.

Комерційні акумуляторні СНЕ для контролю електропостачання або надання сервісів електромережі є відносно новими технологіями, які набирають все більшої популярності. Зростання інтересу пов'язане з необхідністю забезпечення більшої гнучкості, стабільності та надійності енергосистем, особливо тих, що використовують відновлювані джерела енергії. Окрім цього, стрімке здешевлення акумуляторних технологій також стимулює їх впровадження. Завдяки цьому роль СНЕ у сучасних енергосистемах значно зросла і вони тепер можуть виконувати широкий спектр завдань — від підтримки

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

навантаження під час відключень до стабілізації споживання електроенергії.

Основні напрямки застосування СНЕ:

Компенсація дефіциту енергії з мережі. Залежно від типу системи, СНЕ здатні автоматично постачати електроенергію у разі змін або падіння напруги та частоти, а також підвищувати потужність при недостатній подачі з основної мережі. Це дозволяє уникнути великих інвестицій у модернізацію мережі передачі та розподілу.

Підтримка енергетичного балансу. Системи накопичують електроенергію в періоди низького попиту, коли тарифи на електрику мінімальні, щоб потім використовувати її у пікові години, тим самим знижуючи загальні витрати на електропостачання.

Балансування генерації з відновлюваних джерел. Вплив ВДЕ на енергосистему збільшується, що створює виклики у забезпеченні стабільності. Інтеграція СНЕ з сонячними електростанціями, наприклад, дозволяє згладжувати коливання виробництва та підвищувати передбачуваність генерації.

Автономне живлення. СНЕ застосовуються для об'єктів із частими перебоями електропостачання або де потрібна резервна автономна енергоподача.

Розглянемо особливості роботи СНЕ у режимі резервного живлення. Не всі системи здатні працювати повністю автономно, і ця функція потрібна не для кожного об'єкта. Деякі СНЕ призначені лише для підтримки параметрів мережі — напруги, частоти та інших показників. Системи з автономною роботою зазвичай мають вищу вартість. У минулому рішення для роботи без мережі були рідкісними та переважно спеціалізованими для окремих промислових об'єктів. Проте, завдяки зростанню попиту на СНЕ в житловому секторі, комерційна сфера починає адаптувати ці технології і масштабувати їх застосування. Виробники пропонують продукти, які здатні працювати при часткових або повних відключеннях від мережі.

Проте масштабування цих систем викликає нові технічні виклики —

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зокрема, питання пожежної безпеки, охолодження, запобігання перегріву та забезпечення належного технічного обслуговування. Завдяки постійному розвитку СНЕ, найближчим часом очікується суттєвий прогрес у перетворенні ВДЕ з непередбачуваних у надійні джерела енергії, що значно зменшить залежність від вугільних електростанцій та їхній вплив на довкілля.

Компоненти та функції СНЕ.

Основним елементом будь-якої системи накопичення енергії є акумуляторна система. Вона формується з літєвих елементів, які складають акумуляторний блок. Декілька таких блоків, з'єднаних між собою, утворюють акумуляторний модуль. Для досягнення потрібної напруги, модулі зазвичай з'єднують послідовно, формуючи акумуляторну стійку. Якщо ж необхідно збільшити загальну ємність системи, кілька таких стійок з'єднують паралельно, створюючи масштабовану акумуляторну систему. Така структура дозволяє легко налаштовувати параметри СНЕ залежно від потреб споживача (прикладі зображені на рисунку 13.5).

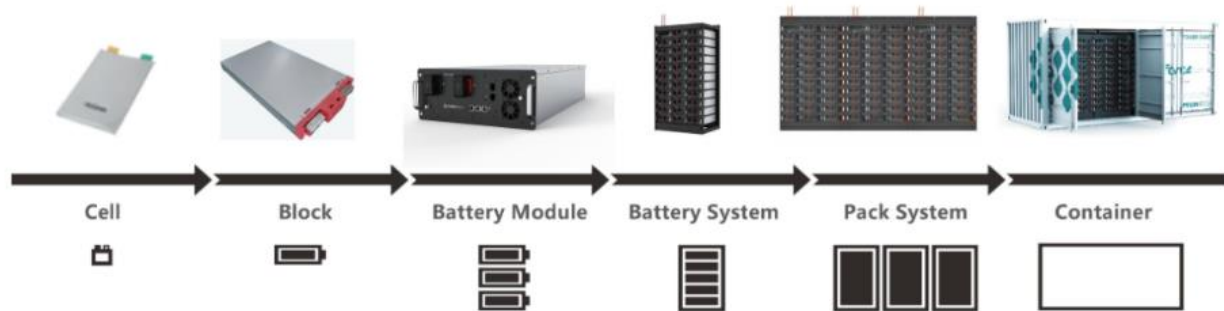


Рисунок 13.5 – Приклад масштабування акумуляторної системи

Для досягнення потрібної напруги та потужності акумуляторні елементи можуть бути з'єднані як послідовно, так і паралельно. Комбінація цих з'єднань дозволяє формувати систему з оптимальними параметрами напруги та ємності.

Основні складові акумуляторної системи:

1. Система управління акумулятором (Battery Management System, BMS)

BMS є «інтелектом» акумуляторної системи, відповідальним за контроль та захист літєвих акумуляторів під час експлуатації. Головні завдання BMS включають підтримку роботи акумулятора у безпечних межах, таких як:

- рівень заряду (SoC — State of Charge),
- напруга (Вольти),
- температура (градуси Цельсія),
- сила струму (Ампери).

Це запобігає ризикам пожежі, перенавантаження, коротких замикань та дисбалансу елементів. Надійна і грамотно спроектована BMS є критично важливою для безпеки й тривалого терміну служби акумуляторної системи.

2. Система перетворення енергії (Power Conversion System, PCS) або гібридний інвертор

Оскільки акумулятори зберігають енергію у вигляді постійного струму (DC), а електрична мережа і більшість споживачів працюють на змінному струмі (AC), для ефективної взаємодії потрібен пристрій, що перетворює струм у потрібному напрямку.

PCS (Power Conversion System) — це комплекс пристроїв, який перетворює електроенергію з DC в AC і навпаки. Гібридний інвертор також виконує аналогічні функції, але в одній конструкції. Такі системи можуть заряджати акумулятори від мережі та віддавати накопичену енергію назад у мережу або на навантаження.

Тип PCS чи гібридного інвертора визначає функції системи:

- стабілізація слабких мереж,
- робота в автономному режимі (без підключення до мережі),
- надання послуг електромережі.

Ці пристрої тісно інтегровані з акумуляторною системою, керують процесами заряджання і розряджання відповідно до заданих параметрів і режимів роботи.

Типи конфігурацій систем перетворення енергії в поєднанні з сонячними електростанціями

Для СНЕ, що працює спільно із сонячною фотоелектричною системою, існують два основні способи підключення:

AC-couple (паралельне підключення по змінному струмі):

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						100
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вибухонебезпечних газів.

У випадку, коли процес поширюється на весь модуль, у замкненому просторі може накопичитися велика кількість горючих газів, що створює серйозну загрозу вибуху. Тепловий пробій також може бути спричинений зовнішнім перегрівом, наприклад, унаслідок пожежі. Слід зазначити, що звичні протипожежні підходи — такі як вимкнення вентиляційних систем чи застосування інертних вогнегасників — можуть бути неефективними або навіть небезпечними. Відсутність вентиляції може сприяти накопиченню горючих газів, що значно підвищує ризик вибуху.

З огляду на це, системи аварійного реагування та протоколи безпеки для акумуляторних установок повинні передбачати не лише ефективне гасіння пожеж, але й контрольовану вентиляцію приміщення з метою зменшення концентрації небезпечних газів.

При роботі з системами накопичення енергії завжди слід пам'ятати, що акумуляторні модулі, струмоведучі елементи та суміжні компоненти перебувають під високою напругою. Це створює потенційний ризик ураження електричним струмом. Особливу увагу слід приділяти паспортам безпеки, які містять важливу інформацію щодо хімічного складу акумуляторів і можливих загроз.

У разі виникнення надзвичайної ситуації, пов'язаної з СНЕ, персонал та аварійні служби повинні дотримуватись таких кроків:

- ідентифікувати тип і розташування системи накопичення;
- знеструмити установку, якщо це потрібно для забезпечення безпеки;
- бути пильними щодо наявності небезпечної напруги або можливих пошкоджень;
- використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема при роботі з роз'єднувачами — рекомендується відвертати обличчя на випадок виникнення електричної дуги;
- контактувати з відповідальним персоналом об'єкта або екстреними службами через вказані номери;

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						102
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- керувати вентиляційними та кліматичними системами, щоб запобігти накопиченню токсичних або вибухонебезпечних газів.

Технічне обслуговування СНЕ.

Ефективна та безпечна робота акумуляторних систем неможлива без регулярного технічного обслуговування. Своєчасний контроль та підтримання належних умов експлуатації дозволяють уникнути пошкоджень і продовжити термін служби системи.

Ключові аспекти технічного обслуговування включають:

- контроль температурного режиму: Акумулятори повинні експлуатуватися у встановленому температурному діапазоні. Перегрів може скоротити кількість робочих циклів або спричинити пошкодження. Взимку важливо забезпечити опалення приміщення, влітку — ефективне кондиціонування;

- калібрування і налаштування: система має бути коректно налаштована. Параметри рівнів заряду та розряду повинні відповідати вимогам виробника для запобігання глибокому розряду або надмірному заряджанню, що шкодить батареї;

- моніторинг і аналіз даних: Постійне спостереження за роботою СНЕ дозволяє виявляти відхилення у роботі, перегрів, несправності та інші ризики. Завдяки аналізу сповіщень і показників можна оперативно реагувати на потенційні проблеми.

Належне функціонування систем накопичення енергії (СНЕ) напряму залежить від якості регулярного технічного обслуговування. Окрім моніторингу параметрів у реальному часі, до комплексу заходів слід віднести: рутинне очищення обладнання від пилу та забруднень; огляд та заміну зношених або пошкоджених компонентів систем; періодичну перевірку фактичної ємності акумуляторних модулів, щоб переконатися, що вони зберігають енергію на рівні, близькому до номінального; калібрування інверторів для забезпечення ефективного перетворення постійного струму, що надходить від батарей, у змінний струм, необхідний для живлення споживачів або подачі в мережу.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

Регламентоване обслуговування дозволяє вчасно виявити відхилення, мінімізувати ризики аварій та зберегти ефективність системи протягом усього її життєвого циклу.

Системи накопичення електроенергії можуть виконувати стратегічно важливі функції в межах комерційних або промислових енергетичних проєктів. Зокрема, СНЕ здатні: Накопичувати надлишкову електроенергію (наприклад, від сонячних або вітрових установок) для подальшого використання у періоди підвищеного попиту; Підтримувати надійність енергопостачання в умовах нестабільної або слабкої мережі; Генерувати електроенергію в мережу для реалізації фінансово вигідних моделей управління споживанням. Основні стратегії використання СНЕ в комерційних цілях: Ціновий арбітраж, система заряджається в періоди низьких тарифів на електроенергію (наприклад, уночі) і розряджається у години пік, коли ціна на електроенергію найвища. Це дозволяє зменшити витрати та оптимізувати фінансові потоки. Покриття пікових навантажень, швидке вивільнення енергії з СНЕ дозволяє зменшити навантаження на основну мережу під час пікових періодів, запобігаючи перевантаженням і зниженню якості енергопостачання. Відтермінування інвестицій у модернізацію електромережі, у випадках, коли потужність підключення до мережі обмежена, установка СНЕ дозволяє тимчасово покривати пікові навантаження без потреби у дорогій реконструкції або збільшенні приєднаної потужності.

Акумуляторні системи зберігання енергії (BESS, Battery Energy Storage Systems) стрімко набирають популярності завдяки поєднанню технологічного поступу, зниження вартості обладнання та зростаючої обізнаності щодо їхніх технічних і економічних переваг. У найближчі п'ять років очікується подальше зростання темпів впровадження BESS, що зумовлено актуальними викликами в енергетиці — необхідністю гнучкого управління енергосистемами, підтримки стабільності мережі та ефективної інтеграції відновлюваних джерел енергії. Системи BESS для комерційного та промислового (C&I) застосування.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						104
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єм накопичення енергії таких систем може варіюватися від кількох мегават-годин до кількох сотень мегават-годин, залежно від масштабу проєкту, технічних вимог та характеристик конкретного сегменту мережі. У великих енергетичних проєктах ємність окремих BESS може досягати сотень мегават-годин.

Переваги та обмеження використання BESS

Переваги:

- підтримка відновлюваних джерел енергії. Системи BESS забезпечують накопичення надлишкової енергії, виробленої з відновлюваних джерел (сонце, вітер), у періоди перевищення генерації над споживанням. Надалі ця енергія використовується у періоди зниженого виробництва, що дозволяє підвищити ступінь інтеграції ВДЕ в енергосистему;
- балансування потужності та надання допоміжних послуг. BESS забезпечують миттєве реагування на зміни в навантаженні, надаючи допоміжні послуги — зокрема, регулювання частоти, компенсацію реактивної потужності та стабілізацію напруги;
- зменшення пікових навантажень (peak shaving) та енергетичний арбітраж. Системи дозволяють заряджатися у періоди низького навантаження (і низьких тарифів), а розряджатися в години пік (коли тарифи високі), що оптимізує навантаження на мережу та зменшує витрати споживачів;
- резервне живлення та підвищення надійності. BESS можуть слугувати резервним джерелом енергії для споживачів критичної інфраструктури (лікарні, центри обробки даних тощо), підвищуючи стійкість і надійність електропостачання.

Попри значні переваги, широке застосування BESS стикається з низкою обмежень, що уповільнюють їх масове впровадження:

Висока початкова вартість. Незважаючи на поступове зниження цін на акумуляторні технології, первинні капітальні витрати на проєктування, закупівлю та монтаж систем залишаються відносно високими. Це обмежує економічну доцільність впровадження BESS для малого бізнесу та невеликих споживачів. Обмежена енергетична щільність і тривалість служби. Існуючі акумуляторні

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						107
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технології (особливо літій-іонні) мають нижчу енергетичну щільність у порівнянні з теоретичними можливостями. Крім того, кількість ефективних циклів заряджання/розряджання обмежена, що з часом призводить до деградації ємності. Залежність від нестабільних ланцюгів постачання. Ключові сировинні матеріали — зокрема літій, кобальт і нікель — видобуваються в обмеженій кількості країн, що створює потенційні геополітичні та логістичні ризики для виробництва й постачання BESS.

Проблеми безпеки. Акумуляторні системи, особливо на базі літій-іонної технології, схильні до перегрівання, термічного розгону та ризику займання. Це вимагає впровадження складних і дорогих систем моніторингу, охолодження та пожежогасіння, що збільшує загальні витрати на експлуатацію. Відсутність уніфікованих стандартів. На ринку акумуляторних технологій представлено багато різних виробників і технологій, що досі не мають загальноприйнятих стандартів. Це ускладнює інтеграцію BESS у мережеву інфраструктуру, їхню взаємозамінність та масштабування рішень.

13.4 Огляд сучасних технологій систем накопичення електроенергії та перспективи

Компанія Frost & Sullivan, котра займається дослідженням енергетичного ринку, опублікувала звіт, в якому передбачається, що ринок ESS до 2025 року збільшить виручку зі 160,4 млн доларів (дані за 2017 рік) до 1,6 млрд [23,24]. Прогнозується, що до цього часу саме США, Австралія, Німеччина та Великобританія будуть приносити річний дохід у розмірі 1,5 млрд доларів.

1. Tesla. Tesla Powerpack – провідний продукт для зберігання енергії в промислових масштабах (рис. 13.10). Це найбільший літій-іонний акумулятор ємністю 129 МВт·год і потужністю 100 МВт. ESS встановлені на вітровій фермі Hornsdale в Південній Австралії.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

Фудзісави в області мікромереж у Денвері (США) і почати нові проекти по всій території країни.

Національна фінансова корпорація з чистої енергії (CEFC) країни інвестувала 10 млн австралійських доларів у випуск даних облігацій на суму 90 млн австралійських доларів. Мета – стимулювання інституційних інвесторів допомогти прискорити розгортання сонячних фотоелектричних систем на дахах будинків і невеликих систем зберігання енергії.

Перспективи розвитку систем акумуляування енергії (CAE) пов'язані з зростанням попиту на енергію та необхідністю стабілізації енергопостачання, особливо в умовах дедалі більшої частки відновлюваних джерел енергії [10]. Зростання потужностей відновлюваної енергетики вимагає CAE для зберігання та розподілу енергії, що генерується в нестійкий час. Очікується, що ринок CAE буде стрімко зростати, збільшуючи в 120 разів світову потужність акумуляуючих систем до 2040 року, за прогнозом Bloomberg New Energy Finance. Зниження вартості зберігання енергії та зростання використання відновлюваних джерел можуть призвести до значного зростання потреб у CAE, наприклад, до 400 ГВт·год до 2030 року.

У міру збільшення кількості електромобілів на дорогах Європи зростає інтерес до пошуку способів переробки та повторного використання старих автомобільних акумуляторів [26]. Проект CarBatteryReFactory, очолюваний FENECON, займається виробництвом систем зберігання енергії з акумуляторами, початкове використання яких в електромобілях закінчилося, але ще не досягло кінця свого життєвого циклу.

Використані автомобільні акумулятори різних виробників та з різним віком можна поєднувати завдяки гнучкому апаратному та програмному забезпеченню. Системи зберігання енергії прості в установці та підходять для використання в промисловості та секторах енергопостачання. Їх вуглецевий слід низький, оскільки не потрібно демонтаж, перебудова або часткова утилізація. Після того, як акумуляторна батарея в системі досягає кінця свого терміну служби, її можна просто замінити та відправити на переробку. В результаті промислові системи

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

зберігання батарей можуть проводитися швидше та у більшому масштабі. Це сприяє розвитку ефективного ринку для батарей вторинного використання та додає цінність використаним батареям перед остаточною стадією переробки. При покритті пікового попиту використання систем зберігання енергії на основі акумуляторних батарей призводить до чистого абсолютного запобігання викидам приблизно в 1,4 Мт еквівалента CO₂ за перші 10 років роботи заводу. Початкова виробнича потужність цих систем зберігання енергії становила 200 МВт·год у 2023 році і збільшуватиметься на 10% на рік. Одного контейнера системи зберігання ємністю 500 кВт·год достатньо покриття середнього щоденного споживання електроенергії 50 односімейних будинків у ЄС. Наступними кроками проекту є збільшення обсягу виробництва до повної потужності та подальша оптимізація виробничих та складальних процесів.

Висновки.

Системи акумулявання енергії допоможуть перейти від викопного палива до глобальної декарбонізації та майбутньої стовідсотково відновлюваної енергії.

Системи накопичення енергії дозволяють:

- купувати електричну енергію за нижчими цінами та зберігати її для використання у періоди, коли ціна на неї є вищою;
- максимізувати використання енергії, що виробляється з відновлюваних джерел;
- покривати пікові навантаження;
- забезпечити електричною енергією споживачів у моменти непрогнозованих відключень.

До недоліків систем накопичення можна віднести високу вартість та негативний вплив на довкілля, пов'язаний з виробництвом та утилізацією акумуляторів. Одним із можливих засобів боротьби з цими недоліками є системи накопичення на основі використаних акумуляторів з електромобілів. Недоліком таких систем є гірші технічні характеристики в порівнянні з системами на основі нових акумуляторів.

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
						111
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник з дисципліни «Електропостачання» / М. Й. Бурбело. – Вінниця: ВДТУ. 2002. – 140с.
2. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 123 с.
3. Харченко В.Ф. Електропостачання міст і промислових підприємств: Конспект лекцій для студентів 4 - 5 курсів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 0906 „Електротехніка” (6.050701 „Електротехніка та електротехнології”) / В.Ф. Харченко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 168 с.
4. В.Є. Шестеренко. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. – Вінниця: Нова Книга, 2004р. – 656
5. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
6. Високовольтні конденсаторні установки на 6 кВ або 10 кВ: <https://electrocontrol.com.ua/ua/vysokovoltnoe-oborudovanie/ustrojstva-kompensacii-reaktivnoj-moshhnosti-tipa-ukm04-i-uk610.html>
7. Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.
8. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010, - 408 с.
9. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.

					<i>ДП 2025 141</i>					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	<i>Література</i>					
Розробив		<i>Крючок Д.М.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Романюк В.Т.</i>							112	114
<i>Реценз.</i>		<i>Столяров О.Я.</i>						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3</i>		
Н. Контр.										
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								

10. Споживачі електричної енергії. Електричне освітлення : навч. посіб. / О. І. Соловей, А. В. Чернявський, О. О. Ситник, В. Ф. Ткаченко, Г. В. Курбака ; за ред. Солов'я О. І. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ФОП Гордієнко Є.І., 2018. – 132 с.

11. П.О. Василега Електропостачання.– Суми, Видавництво СумДУ, 2019, - 520 с.

12. Трансформатори силові. Типова інструкція з експлуатації: СОУ 40.1521677681507:2009 / М-во палива та енергетики України

13. Кваліфікаційні вимоги до працівників, які виконують роботи в електроустановках

14. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98)

15. Охорона праці в електроустановках: Підручник для вузів/ Під ред. Б.А. Князевського – М.: Енергоатоміздат, 1983. – 336 с.

16. <https://solarmax.in.ua/info/systemy-zberihannia-elektroenerhii>

17. <https://microinverter.com.ua/news-uk/sistemi-akumuljuvannya-energii-promislovi-ta-pobutovi/>

18. Системи накопичення електричної енергії. Підручник / І.О. Сінчук, С.М. Бойко; під ред. доктора технічних наук, професора О.М. Сінчука. – Кривий Ріг, 2020. – 219 с.

19. Праховник А.В. Мала енергетика: розподілена генерація в системах енергопостачання– К. : «Освіта України», 2007. – 464с.

20. Акумуляторна батарея (АКБ). Призначення, будова і типи: <https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pidruchnyk-po-vlashtuvannju-avtomobilja/rozdil43-akumuljatorna-batareja-pryznachennja-budova-i-vydy>

21. Стационарні свинцево-кислотні акумуляторні батареї Типова інструкція з експлуатації СОУ 31.4-21677681-21:2010

22. Комерційні системи накопичення енергії з можливістю забезпечення автономної роботи. <https://solarity.eu/ua/blog/komercijni-systemy-nakopycennja-enerhiji>

									Арк.
									113
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2025 141				

23. Системи накопичення енергії <https://avenston.com/articles/energy-storage/>

24. Системи акумуляування енергії: промислові та побутові. <https://avenston.com/articles/energy-storage-systems/>

25. Акумуляування енергії: <https://getmarket.com.ua/ua/news/akumulyuvannya-energiyi-chomu-ce-potribno-ta-yak-zaluchiti-investora>.

26. CarBatteryReFactory: даємо друге життя використаним автомобільним акумуляторам. https://cinea.ec.europa.eu/featured-projects/carbatteryrefactory-giving-used-car-batteries-second-life_en

					<i>ДП 2025 141</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114