

**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)**

\_\_\_\_\_  
(підпис)                      Сергій БЛАЖЕНКО  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_  
(підпис)                      Сергій БАЛЮТА  
(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 мідного заводу.  
Моделювання електроенергетичних мереж із застосуванням програмного  
забезпечення Siemens PSS SINCAL»**

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕЛ 4-3

Волочай Олександр Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

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

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант Сірик А. О.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент Грищенко Р. В.  
(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. академіка  
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**

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Волочай Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «**Розробка системи електропостачання мідного заводу.  
Моделювання електроенергетичних мереж із застосуванням  
програмного забезпечення Siemens PSS SINCAL**»

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

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

2. Строк подання здобувачем роботи 30.05.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Призначення підприємства та його розміри,  
Потужності споживачів мідного заводу і ремонтно-механічного цеху,  
Розташування технологічного обладнання в цеху.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Умови проектування; розрахунок електричних навантажень; побудова  
картограми навантаження; вибір зовнішнього електропостачання; вибір  
внутрішнього електропостачання; вибір потужності трансформаторів;  
визначення необхідної потужності компенсуючи пристроїв; вибір перерізу  
кабелів; розрахунок струмів; вибір обладнання; вибір релейного захисту  
елементів системи електропостачання. Розгляд питань охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу  
Схема генерального плану; Схема електропостачання ГПП; Схема  
електропостачання цеху; Схема освітлення цеху.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 21.04.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дипломний проект	21.04.2025 р	
2	Вступ	23.04.2025 р	
3	Вибір напруги живлячих та розподільчих мереж	24.04.2025 р	
4	Розрахунок електричних навантажень цеху.	26.04.2025 р	
5	Розрахунок електричних навантажень цеху.	02.05.2025 р	
6	Вибір потужності трансформатора.	08.05.2025 р	
7	Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ).	12.05.2025 р	
8	Вибір апаратури розподільчої мережі, ШРА і СПМ.	16.05.2025 р	
9	Вибір комутаційної та захисної апаратури	19.05.2025 р	
10	Розрахунок розподільчої мережі.	21.05.2025 р	
11	Спец-питання.	23.05.2025 р	
12	Розробка заходів з охорони праці, техніки безпеки.	25.05.2025 р	
13	Список літератури	28.05.2025 р	
14	Здача дипломного проекту на перевірку	30.05.2025 р	
15			
16			
17			

Здобувач

\_\_\_\_\_ (підпис)

Волочай О.О.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Зінкевич П.О.

## Анотація

Волочай Олександр Олександрович.

Дипломний проект на тему:

«Розробка системи електропостачання мідного заводу»

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 86 сторінок.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: схема електропостачання ГПП, схема генерального плану, схема електропостачання цеху, схема освітлення цеху.

У проекті розглянуто характеристику підприємства і надано опис технологічного процесу. Виконано розрахунки електричних навантажень і побудовано картограму навантажень. Розраховано трансформатори головної понижувальної підстанції, а також розраховані кількість і потужність цехових трансформаторів. Виконано розрахунок робочих струмів і обрано відповідні кабелі. Для системи електропостачання заводу виконано розрахунок струмів короткого замикання. Обрано електричні апарати захисту і управління. Розраховано кількість і тип обладнання для компенсації реактивної потужності.

У розділі охорона праці розглянуто можливі аварійні ситуації та засоби техніки безпеки і захисту обслуговуючого персоналу.

**Ключові слова:** понижувальна підстанція, силовий трансформатор, струми короткого замикання, апарати захисту, компенсація реактивної потужності.

## Abstract

VOLOCHAI OLEKSANDR.

Diploma project on the topic:

" Development of a power supply system for a copper plant "

National University of Food Technologies, Kiev -2025

141. "Electric power engineering, electrical engineering and electro-mechanics"

The added explanatory note consists of an introduction, 13 chapters, conclusions and a list of used literature. The project is 86 pages.

The description includes a graphic section consisting of four drawings: a diagram of the power supply for the main step-down substation, a diagram of the general plan, a diagram of the power supply for the workshop, and a diagram of the workshop lighting.

The project examines the characteristics of the enterprise and provides a description of the technological process. Calculations of electrical loads were performed and load cartogram was built. Transformers of the main substation are calculated, as well as the calculated number and power of the department transformers. The calculation of operating currents was performed and the corresponding cables were selected. For the power supply system of the plant, the calculation of short-circuit currents was performed. Electrical protection and control devices are selected. The number and type of equipment for reactive power compensation was calculated.

The section labor protection considers possible emergencies, safety and protection of service personnel.

**Keywords:** low-power substation, power transformer, short-circuit currents, protection devices, reactive power compensation.

# Завдання

## Тема. Розробка СЕП мідного заводу

### Вихідні дані на проектування:

1. Генеральний план заводу – мал. 1.
2. Відомості про електричні навантаження мідного заводу - табл. 1.
3. Відомість електричних навантажень ремонтно-механічного цеха (в. 31).
4. Живлення можна здійснити від підстанції, з первинною напругою 110 кВ і вторинною – 10 кВ.
5. Потужність енергосистеми 1000 МВА; реактивний опір системи на стороні 110 кВ, віднесений до потужності системи становить 0,5 Ом.
6. Відстань від підстанції енергосистеми до мідного заводу становить 10 км.

Таблиця 1

### Відомість електричних навантажень мідного заводу

#### Живлення від п/ст системи

№ № п/п	Найменування цеха	Встановлена потужність, кВт	F – площа приміщення , м <sup>2</sup>
1	2	3	4
1	Корпус великого дроблення	670	1060
2	Корпус середнього дроблення	550	2900
3	Корпус відливання та згущення шламів	1100	2760
4	Склад дроблення руди	300	1000
5	Головний корпус	3500	2900
6	Реагентний корпус	280	520
7	Баритовий корпус	1400	2760
8	Насосне водопостачання	320	400
9	Золотовидобувна секція	1800	988
10	Корпус сушки	210	400
11	Склад концентратів	150	350
12	Адміністративно-технічний корпус	175	140
13	Ремонтно-механічний цех	-	2800
14	Перевантажувальний вузол №1	120	400
15	Перевантажувальний вузол №2	120	120
16	Ремонтно-будівельні майстерні	200	120
17	Столова	35	408
18	Інститут	600	640
19	Пральня	35	532
20	Гараж	50	640

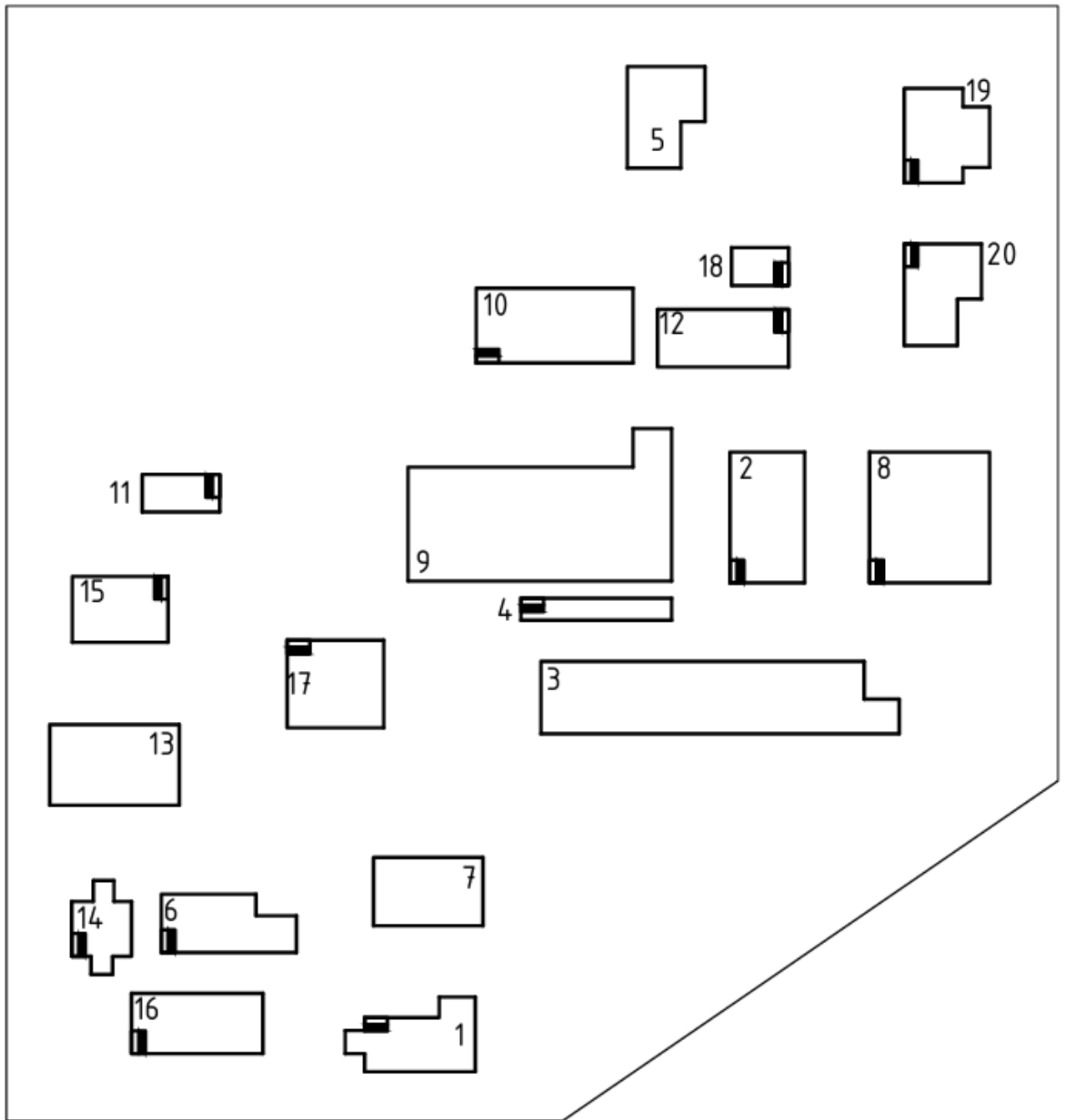


Рис. 1. Генеральний план мідного заводу

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. УМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ.....	11
1.1. Загальна характеристика промислового об'єкта.....	11
1.2. Коротка характеристика технологічного процесу виробництва.....	12
1.3. Загальна характеристика споживачів електричної енергії.....	13
1.4. Характеристика джерел живлення.....	14
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	15
2.1. Розрахунок електричних навантажень силових установок.....	15
2.2. Розрахунок електричних навантажень освітлювальних установок.....	21
2.3. Розрахунок сумарного електричного навантаження підприємства.....	27
3. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ МІДНОГО ЗАВОДУ.....	30
4. ВИБІР ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	33
4.1. Вибір напруги живлячої мережі.....	33
4.2. Вибір трансформатора на ГПП.....	34
4.3. Вибір схеми головної підстанції підприємства.....	35
4.4. Вибір лінії електропередачі.....	37
5. ВИБІР ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ .....	38
5.1. Вибір напруги внутрішньозаводської мережі.....	38
5.2. Вибір схеми внутрішнього електропостачання.....	38
6. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТП.....	39
7. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ...	41
8. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ КАБЕЛІВ.....	46
9. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	48
10. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ.....	55
10.1. Вибір основних комутаційних апаратів.....	55
10.2. Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги.....	59
11. ВИБІР РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	64
11.1. Розрахунок струмової відсічки.....	66
11.2. Розрахунок максимального струмового захисту.....	67
12. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. Моделювання електроенергетичних мереж із застосуванням програмного забезпечення Siemens PSS SINCAL.....	68
12.1. Теоретичне ознайомлення з PSS®SINCAL.....	68
12.2. Побудова та параметризація моделі мережі.....	70
12.3. Розрахунок режиму роботи та аналіз результатів.....	74
13. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	78
ВИСНОВОК.....	85
Список використаної літератури.....	86

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Зміст</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>						
Перевірив		<i>Зінькевич П.О.</i>					8	86
Н. Контр.		<i>Ізволеньський І.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3 8		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

## ВСТУП

**Мідна промисловість** є важливою галуззю металургійного комплексу, що забезпечує виробництво міді — одного з найважливіших кольорових металів. Мідь широко використовується в електротехніці, машинобудуванні, будівництві, транспорті та інших сферах. Розміщення мідеплавильних заводів значною мірою залежить від наявності сировинної бази — родовищ мідних руд, а також від енергетичних ресурсів і розвинутої транспортної інфраструктури.

Основними напрямками діяльності мідної промисловості є видобуток мідної руди, її збагачення, виплавка чорнової та електролітичної міді, а також виготовлення мідних виробів. В Україні мідна галузь менш розвинута, ніж у країнах з великими родовищами (наприклад, Чилі чи Казахстан), але в останні роки спостерігається активізація інвестицій у розробку нових родовищ і модернізацію існуючих підприємств.

Серед основних мідеплавильних заводів України виділяються: ЗАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», яке опрацьовує мідні шлаки як побічний продукт металургії; ПАТ «ПоліметалУкраїна», що займається вторинною переробкою кольорових металів; та ТОВ «Європейський металургійний завод», який спеціалізується на виробництві мідного прокату. Також перспективним є освоєння Балківського та Волинського мідних родовищ.

У структурі споживання міді найбільшу частку займають підприємства електротехнічної галузі (до 60 %), а також будівельний сектор (близько 20 %) і машинобудування (до 15 %). У зв'язку зі зростанням попиту на електромобілі, відновлювану енергетику та цифрові технології, потреба в міді зростає, що створює передумови для подальшого розвитку мідної промисловості в Україні.

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Вступ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>					9	86
Перевірив		<i>Зінкевич П.О.</i>						
Н. Контр.		<i>Ізволенький І.</i>						
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3 9		

На ринку мідної продукції України ТОП-10 підприємств складають: Запорізький завод кольорових металів (ЗЗКМ); ТОВ «Катех-Електро»; ТОВ СП «Панком-Юн»; ДП «Донецьквторкольормет»; ТОВ «Запорізький завод кольорових сплавів»; АОЗТ «Втормет»; СП «Техноскрап»; ТОВ «Екометал»; ТОВ «Бона»; ПРАТ «Завод по обробці кольорових металів» (Бахмут). Більшість із цих підприємств спеціалізується на переробці вторинної сировини, виробництві мідного прокату та сплавів, а також забезпеченні потреб електротехнічної та будівельної галузей.

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. УМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ

## 1.1. Загальна характеристика промислового об'єкта

В дипломному проекті виконано електропостачання мідного заводу. Загальна площа об'єкта складає  $S = 180000 \text{ м}^2$ , площа виробничих приміщень  $S = 21838 \text{ м}^2$ , чисельність виробничого персоналу складає приблизно 450 чоловік.

Територія мідного заводу забудована рівномірно на рівнинному рельєфі місцевості. Підземні води зосереджені на глибині близько 16-20 метрів.

Ґрунти дерново-підзолисті, піщані та глинисто-піщані в комплексі.

Клімат: річна кількість опадів 650-700 міліметрів, середня температура липня  $23^\circ\text{C}$ , середня температура січня  $-6^\circ\text{C}$ , переважаючий напрям вітру у липні — південно-західний, а у січні — західний.

Середньорічна тривалість блискавок від 50 до 70 годин.

Основну частину забудови складають виробничі приміщення з кількістю поверхів 2-3 і першою, другою та третьою категорією надійності електропостачання. Також на території об'єкта розташовані зони для куріння, відпочинку та зелені насадження. Усі вище перераховані об'єкти збудовані з урахуванням рівномірності електричних навантажень і забезпеченням комфортного переміщення транспорту та виробничого персоналу.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2025 141			
Розробив		Волочай О.О.			Умови проектування	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Зінкевич П.О.					11	86
Н. Контр.		Ізволеньський І.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3 1		
Затвердив		Балюта С.М.						

## 1.2. Коротка характеристика технологічного процесу мідного заводу

Технологічний процес виробництва міді починається зі збагачення, оскільки вміст міді в природній руді зазвичай складає лише 1–5%. Збагачення проводять методом флотації, що базується на вибіркового змочуванні мінералів спеціальними реагентами. Під час процесу пульпа (суміш подрібненої руди, води та флотореагентів) насичується повітрям, у результаті чого мінерали міді підіймаються на поверхню, а порожня порода осідає. Таким способом вилучають до 90% міді. Отримані концентрати містять 15–30% металу. Далі концентрат надходить на випал — термічну обробку в печах киплячого шару при 600–700°C. Випал дозволяє видалити вологу та сірчисті сполуки. Газоподібні продукти процесу надходять до пиловловлювачів і частково використовуються для виробництва сірчаної кислоти, а твердий залишок — огарок — направляється на плавку.

Плавлення огарку здійснюється у полум'яних печах, довжиною до 40 м. У них температура досягає 1450°C, що забезпечує розплавлення шихти й утворення штейну — сплаву, який містить 20–50% міді, залізо, сірку та домішки. Над штейном формується шлак, який видаляється, а сам штейн направляється на конвертування.

У конверторі розплавлений штейн продувають повітрям під тиском, додаючи кварцовий флюс. В результаті окислюються домішки, утворюється шлак, а мідь переходить у чорнову мідь із вмістом понад 95%. Для очищення металу від газів і шкідливих домішок у розплав занурюють спочатку сирі, а потім сухі дерев'яні жердини. Готову мідь розливають у зливки або анодні пластини, придатні для подальшого електролітичного очищення. Мідь містить також цінні домішки: срібло, золото, селен, миш'як тощо.

Забруднення атмосферного повітря виникає на стадіях випалу, плавки та конвертування внаслідок виділення сірчистого газу й продуктів згоряння палива. Частина викидів уловлюється та використовується для виробництва сірчаної кислоти, що дозволяє зменшити екологічний вплив.

Виробничий цикл включає чітко структуровані етапи: збагачення, випал, плавлення, конвертування і первинне очищення, що дозволяє ефективно добувати мідь при мінімізації витрат та шкідливих викидів.

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

### 1.3. Загальна характеристика споживачів електричної енергії

Споживачів електроенергії за надійністю електропостачання розділяють на три категорії:

I - споживачі, порушення електропостачання яких може призвести до загрози життю людей, значних збитків у народному господарстві, пошкодження обладнання, масовий брак продукції, порушення складного технологічного процесу і особливо важливих елементів міського господарства;

II - споживачі, перерва в електропостачанні яких пов'язана з суттєвою недодачею продукції, простоєм робочих механізмів і промислового транспорту, порушенням нормальної життєдіяльності міських мешканців.

III - решта споживачів, які не підходять під I та II категорії (споживачі цехів несерійного виробництва, допоміжних цехів, невеликих сіл і т. д.).

Споживачі I категорії повинні отримувати електроенергію від двох незалежних джерел живлення, і перерва в електропостачанні може бути лише на час автоматичного вводу резервного живлення.

Для споживачів II категорії допускаються перерви в електропостачанні на час, необхідний для включення резервного живлення черговим персоналом або виїзною бригадою. Живлення споживачів II категорії можливе по одній повітряній лінії напругою 6 кВ і більше. При живленні споживачів по кабелям допускається живлення однією лінією, розщепленою не менше ніж на 2 кабелі, підключених через самостійні роз'єднувачі. При наявності централізованого резерву споживачі II категорії живляться від одного трансформатора.

Для споживачів III категорії можливі перерви в електропостачанні на час, необхідний для ремонту або заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, але не більше однієї доби.

До споживачів I категорії відносяться: електроприймачі протипожежних установок (пожежні насоси, сигналізація, димовидалення, аварійне освітлення).

До споживачів II категорії відносяться: споживачі, залучені в основному виробничому процесі.

До споживачів III категорії відносяться: котельня та майстерні.

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

#### 1.4. Характеристика джерел живлення

Джерелом живлення для проєктованого підприємства є підстанція енергосистеми, розташована на відстані 10 км від заводу.

Підстанція з первинною напругою 110 кВ і вторинною -10 кВ.

Потужність енергосистеми 1000 МВА: реактивний опір системи на стороні 110 кВ, віднесений до потужності системи становить 0,5.

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

### 2.1. Розрахунок електричних навантажень силових установок

*Електричні навантаження* – це вихідні дані для вирішення важкого комплексу технічних та економічних питань, які виникають при проектуванні електричного постачання підприємства.

За ступенями надійності електропостачання, електроприймачі заводу відносяться до I, II та III категорії.

Споживачами електроенергії є асинхронні електродвигуни технологічного та сантехнічного обладнання, а також лампи розжарювання та люмінесцентні лампи електроосвітлення.

#### Опис метода розрахунку електричних навантажень

Для даного підприємства відомі кількість, паспортні дані та режим роботи обладнання. Тому розрахункові навантаження визначають за формулою:

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

де

$P_{CM}$  - середнє навантаження за найнавантаженішу зміну групи електроприймачів однакового режиму, кВт;

$P_H$  - сумарна встановлена потужність електроприймачів (ЕП) цієї групи, кВт;

$k_M$  - коефіцієнт максимуму навантаження;

$k_B$  - коефіцієнт використання.

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

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

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Розрахунок електричних навантажень</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>					15	86
Перевірив		<i>Зінкевич П.О.</i>						
Н. Контр.		<i>Ізволенький І.</i>						
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ 4-3/5		

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

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

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

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

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

У загальному виді ефективне число ЕП :

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

Для спрощення розрахунків вводиться поняття коефіцієнту максимуму:

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

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

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

де

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

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

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

де

$\beta$  - коефіцієнт завантаження, який дорівнює 0,9 - для електроприймачів тривалого режиму роботи електрообладнання та 0,75 - для електроприймачів повторно-короткочасного режиму роботи.

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- Токарно- гвинторізні верстати (15, 26, 36, 37)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 4 \cdot 23,85 \cdot 0,14 = 13,35 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 4 \cdot 23,85 \cdot 0,14 \cdot 1,17 = 15,62 \text{ квар};$$

- Свердлильний верстат (16)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 8,05 \cdot 0,14 = 1,12 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 8,05 \cdot 0,14 \cdot 1,73 = 1,95 \text{ квар};$$

- Горизонтально-фрезерний верстат (18, 19, 27, 28, 30)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 5 \cdot 11,34 \cdot 0,14 = 7,94 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 5 \cdot 11,34 \cdot 0,14 \cdot 1,73 = 13,7 \text{ квар};$$

- Прес (20, 21, 23, 24)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 4 \cdot 3 \cdot 0,17 = 2 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 4 \cdot 3 \cdot 0,17 \cdot 0,75 = 1,53 \text{ квар};$$

- Зубофрезерний верстат (9,13,14)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 3 \cdot 9 \cdot 0,18 = 4,86 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 3 \cdot 9 \cdot 0,18 \cdot 1,73 = 8,4 \text{ квар};$$

- Внутрішньошліфувальний верстат (29)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 12,04 \cdot 0,25 = 3 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 12,04 \cdot 0,25 \cdot 1,73 = 5,2 \text{ квар};$$

- Довжинний верстат (32,35)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 2 \cdot 13,2 \cdot 0,15 = 3,96 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 2 \cdot 13,2 \cdot 0,15 \cdot 1,73 = 6,85 \text{ квар};$$

- Поздовжньо-стругальний верстат (34)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 75,5 \cdot 0,14 = 10,57 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 75,5 \cdot 0,14 \cdot 1,17 = 12,3 \text{ квар};$$

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вентилятор (43, 44)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 2 \cdot 18,5 \cdot 0,65 = 24 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 2 \cdot 18,5 \cdot 0,65 \cdot 0,75 = 18 \text{ квар};$$

Розрахункові навантаження визначаємо в такій послідовності:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} = \frac{99,41}{549,33} = 0,18$$

$$n_{\text{еф}} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{Hi})^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2} =$$

$$= \frac{(549,33)^2}{2 \cdot 25,7^2 + 2 \cdot 3^2 + 2 \cdot 12,3^2 + 4 \cdot 7,38^2 + 6 \cdot 14,62^2 + 4 \cdot 23,85^2 + 8,05^2 + 5 \cdot 11,34^2 + 4 \cdot 3^2 + 3 \cdot 9^2 + 12,04^2 + 2 \cdot 13,2^2} = 23$$

де  $K_B$  – взято з таблиці 24-3 [3].

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

$$P_M = K_M \cdot K_B \cdot P_H = 1,0 \cdot 99,41 = 99,41 \text{ кВт},$$

$$Q_M = 1,1 \cdot K_B \cdot P_H \cdot \text{tg}\varphi_{CM} = 1,1 \cdot 0,18 \cdot 99,41 \cdot 1,73 = 133 \text{ квар}.$$

Визначаємо  $S_M$  електроприймачів:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{99,41^2 + 133^2} = 166 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Решта розрахунків навантаження цеху і навантаження для інших цехів мідного заводу проводяться аналогічно. Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.1.1.

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

## Приклад розрахунку навантаження ремонтно-механічного цеху

Визначення середньої активної та реактивної потужності за найнавантаженішу зміну цеху.

Сумарна встановлена потужність електроприймачів ремонтно-механічного цеху складає 166 кВт;

$$P_{CM} = K_B \cdot P_H = 0,25 \cdot 166 = 41,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{CM} = 41,5 \cdot 0,75 = 31,12 \text{ квар.}$$

Визначаємо ефективне число електричних приймачів:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_H}{P_{H \max}} = \frac{2 \cdot 166}{34} = 10$$

Для визначення розрахункової потужності  $P_p$ , знаходимо коефіцієнт максимуму (за табличними даними):

$$K_M = f(n_e; K_B); K_M = 1,72$$

Знаходимо  $P_p$  й  $Q_p$  цеху:

$$P_p = K_M \cdot P_{CM} = 1,72 \cdot 41,5 = 71,38 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{CM} = 31,12 \text{ квар.}$$

тому що  $n_e > 10$ .

Визначаємо повне розрахункове навантаження електроприймачів:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{71,38^2 + 31,12^2} = 77,87 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Аналогічно розраховується навантаження для інших цехів заводу і результати зводяться у таблицю 2.1.2.

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

## 2.2. Розрахунок електричних навантажень освітлювальних установок

### Приклад розрахунку освітлювального навантаження ремонтно-механічного цеху

Навантаження, розрахункова величина якого визначається за формулою:

$$P_{p.o} = P_{уст} \cdot K_{п} \cdot K_{ПРА},$$

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;

$h_c = 0,21$  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 являється доступність їх при обслуговуванні. Крім того, 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 легше виявляються недоліки, допущені при обробці деталей і, отже, поліпшується якість продукції. У свою чергу, недостатнє або нераціональне освітлення можуть стати причиною підвищення травматизму, так як при недостатній освітленості утруднюється розрізнення небезпечних частин верстатів.

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

Для освітлення цеху вибрані світильники TCW060 з люмінесцентними лампами 2xTL-D36W, для яких  $\lambda = 0,9$ .

Знаходимо значення розрахункової висоти  $h$  за формулою:

$$h = H - h_p - h_c,$$
$$h = 7,2 - 0,8 - 0,21 = 6,19 \text{ м}$$

Відстань між рядами світильників в цеху:

$$L = \lambda \cdot h$$
$$L_B = 0,9 \cdot 6,19 = 5,6 \text{ м}$$

Відповідно до отриманих значеннями  $L$  виконуємо розміщення світильників в цеху.

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

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_{\text{зап}} \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}$$

де  $\Phi$  - світловий потік одного світильника, лм;

$E_n$  - нормована мінімальна освітленість, лк;

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

$S$  - площа приміщення,  $\text{м}^2$ ;

$z = 1,1$  - для люмінесцентних ламп;

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку;

$N$  - кількість світильників.

Норма освітленості для верстатного відділення становить -  $E_n = 300$  лк [3].

Коефіцієнт використання світлового потоку є функцією індексу приміщення  $i$ :

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

де  $A$  - довжина приміщення, м;

$B$  - ширина приміщення, м.

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

Індекс приміщення для верстатного відділення цеху згідно плану:

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

Окрім індексу приміщення, для знаходження коефіцієнта використання світлового потоку необхідно знати коефіцієнти відбиття стелі, стін і робочої поверхні:  $p_n = 70 \%$ ,  $p_c = 50 \%$ ,  $p_p = 30 \%$  [3, табл. 5-1].

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

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

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 2800 \cdot 1,1}{40 \cdot 0,9} = 33367 \text{ лм}$$

Вибираємо лампи 2xTL-D36W, що мають потужність  $P_{\text{ном}} = 72 \text{ Вт}$  і світловий потік  $\Phi_{\text{ном}} = 2850 \text{ лм}$ .

Кількість світильників:

$$N = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot z}{2\Phi_{\text{л}} \cdot \eta};$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу:  $k=1,3$ ;

2 - кількість ламп в одному світильнику TCW060.

$$N = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 2800 \cdot 1,1}{2 \cdot 3000 \cdot 0,9} \approx 222 \text{ світильників}$$

Загальна кількість ламп 2xTL-D36W в цеху  $N = 444$ .

Встановлена потужність ламп:

$$P_{\text{уст}} = N \cdot P_{\text{ном.л}}$$

$$P_{\text{уст}} = 222 \cdot 72 \cdot 2 + 6 \cdot 100 = 32568 \text{ Вт.}$$

Встановлюємо 6 рядів світильників по 39 світильників у ряду з відстанню між рядами по 5 м.

Для аварійного освітлення встановлюємо шість ламп розжарювання типу МОЕ27 100 W, потужністю 100 Ват кожна.

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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:

$$P_{\text{р.о}} = 32,568 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 30,518 \text{ кВт.}$$

### Розрахунок освітлювального навантаження приміщень

Виходячи з питомої потужності, що витрачається на одиницю освітлення площі виробничих корпусів і складів, визначається активна потужність, яка витрачається на освітлення:

$$P_{\text{р.о}} = P_{\text{пит}} \cdot F$$

де  $P_{\text{р.о}}$  - розрахункове освітлювальне навантаження, кВт;

$F$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>.

Приймаємо для освітлювання виробничих приміщень:

$$P_{\text{пит}} = 15 \text{ Вт/м}^2;$$

для складів:

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

Переважає більшість освітлювальних установок підприємства – це люмінесцентні лампи, які працюють з коефіцієнтом потужності  $\cos\varphi = 0,8$ .

Реактивна складова розрахункової потужності цехів дорівнює

$$Q_{\text{р.о}} = P_{\text{р.о}} \cdot \text{tg}\varphi.$$

Потужність аварійного освітлення становить 5 % від загального навантаження освітлення приміщень. Отже, дорівнюватиме 15,6 кВт.

Результати зведені у таблиці 2.2.1.

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

Таблиця 2.2.1

	Назва приміщення	$P_o$ , кВт/м. кв.	F, м. кв.	$P_{p.o.}$ , кВт	tg	$Q_{p.o.}$ , квар	$S_{p.o.}$ , кВА
1	Корпус великого дроблення	0,015	1060	15,9	1	15,9	22,48
2	Корпус середнього дроблення	0,015	2900	43,5	1,17	50,9	66,95
3	Корпус відливання та згущення шламів	0,015	2760	41,4	0,62	25,67	48,71
4	Склад дроблення руди	0,01	1000	10	0,88	8,82	13,33
5	Головний корпус	0,015	3500	43,5	1	43,5	61,51
6	Реагентний корпус	0,015	520	7,8	1	7,8	11,03
7	Баритовий корпус	0,015	2760	41,4	1	41,4	58,54
8	Насосне водопостачання	0,015	400	6	0,62	3,72	7,06
9	Золотовидобувна секція	0,015	988	14,82	0,62	9,19	17,44
10	Корпус сушки	0,015	400	6	1	6	8,48
11	Склад концентратів	0,01	350	3,5	0,75	2,62	4,37
12	Адміністративно-технічний корпус	0,015	140	2,1	0,75	1,58	2,63
13	Ремонтно-механічний цех	0,015	2800	42	0,75	31,5	52,5
14	Перевантажувальний вузол №1	0,015	400	6	1	6	8,48
15	Перевантажувальний вузол №2	0,015	120	1,8	0,75	1,35	2,25
16	Ремонтно-будівельні майстерні	0,015	120	1,8	0,88	1,59	2,40
17	Столова	0,01	408	4,08	0,88	3,6	5,44
18	Інститут	0,01	640	6,4	1	6,4	9,05
19	Пральня	0,01	532	5,32	0,75	4	6,66
20	Гараж	0,015	640	9,6	0,75	7,2	12
	<b>Разом</b>			<b>312,92</b>		<b>269,54</b>	<b>415,38</b>

### Розрахунок навантаження зовнішнього освітлення

Освітлення проїздів та доріг, відкритих виробничих майданчиків, а також освітлення для потреб охорони виконується світильниками зовнішнього освітлення із ртутними лампами, що встановлюються на залізобетонних опорах вздовж підприємства, а також на покрівлях та стінах будівель на кронштейнах.

							Арк.
							25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ДП 2025 141</b>		

Орієнтовно на кожні 200 м<sup>2</sup> площі необхідно встановлювати світильник з лампою типу ДРЛ-250. Площа території підприємства 180000 м<sup>2</sup>, отже необхідна кількість світильників визначається за формулою:

$$N_{\text{св}} = \frac{S}{200} = \frac{180000}{200} = 900 \text{ шт.}$$

Розрахункова активна потужність зовнішнього освітлення:

$$P_{\text{р.зовн.осв.}} = 900 * 250 = 225 \text{ кВт.}$$

Отже, для встановлення зовнішнього освітлення приймаємо світильники РСУ 01-250 з лампами типу ДРЛ з незалежним ПРА.

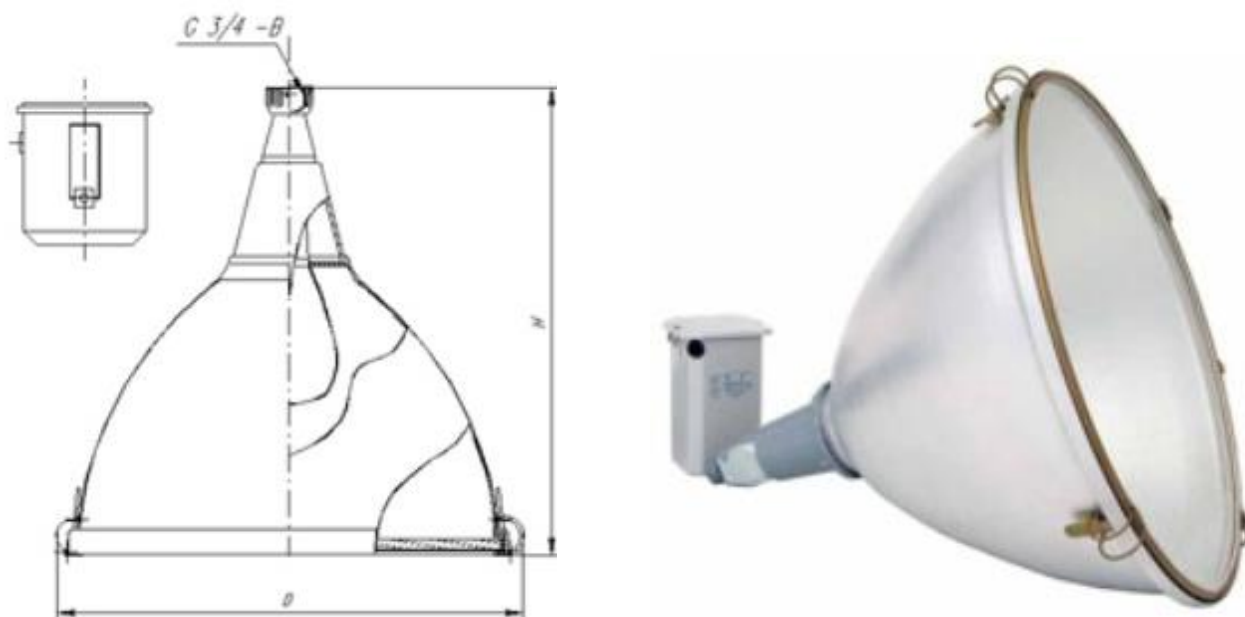


Рис. 2.1.

#### Конструкція:

- корпус світильника виготовлений з алюмінієвого сплаву литтям під тиском;
- кабельне уведення ущільнене гумовим сальником;
- відбивач алюмінієвий, освітлений, виготовлений методом видавки;
- захисне скло силікатне загартоване термостійке;
- пускорегулюючий апарат незалежний електромагнітний;
- патрон E40, керамічний;

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

- спосіб установки - на трубу, підвіс (гак) або монтажний профіль;
- можливе комплектування захисною сіткою (захисна сітка сталева зварена).

Тип світильника	Розмір D, мм	Розмір H, мм	Маса, кг	Потужність лампи	Ступінь захисту
PCY 01-250	345	490	8,0	250	IP53

### 2.3. Розрахунок сумарного електричного навантаження підприємства

Сумарна розрахункова потужність по всьому підприємству:

$$P_{p.\Sigma} = P_{p.\text{прим.}} + P_{p.\text{осв.прим}} + P_{p.\text{зовн.осв}} =$$

$$= 8563,75 + 312,92 + 225 = 9101,67 \text{ кВа},$$

$$Q_{p.\Sigma} = Q_{p.\text{прим.}} + Q_{p.\text{осв.прим}} + Q_{p.\text{зовн.осв}} =$$

$$= 6208,24 + 269,54 + 0 = 6477,78 \text{ квар.}$$

Повна розрахункова потужність по всьому підприємству:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{9101,67^2 + 6477,78^2} = 11171,48 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 2.1.1 - Розрахунок електричних навантажень низьковольтної мережі по групах підключення

Вихідні дані							Змінна потужність ЕП		ne	K <sub>м</sub>	Розрахункова потужність		
По завданню				Довідкові дані			P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар			P <sub>p</sub> , кВт	P <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА
Найменування	№ На плані	Кількість	Номинальна потужність, кВт		K <sub>в</sub>	tgφ							
			одного ЕП	загальна									
Токарно-револьверні верстат	10, 11, 12, 22, 25, 33	6	14,62	87,72	0,17	1,73	15,8	27,3					
Внутрішньошліфувальний верстат	29	1	12,04	12,04	0,25	1,73	3	5,2					
Поздовжньо-стругальний верстат	34	1	75,5	75,5	0,14	1,17	10,57	12,3					
<b>СП1</b>		<b>8</b>	<b>102,16</b>	<b>175,26</b>	<b>0,18</b>	<b>1,54</b>	<b>29,37</b>	<b>44,8</b>					
Горизонтально-фрезерний верстат	18, 19, 27, 28, 30	5	11,34	56,7	0,14	1,73	7,94	13,7					
Зубофрезерний верстат	9, 13, 14	3	9	27	0,18	1,73	4,86	8,4					
<b>СП2</b>		<b>8</b>	<b>20,34</b>	<b>83,7</b>	<b>0,16</b>	<b>1,73</b>	<b>12,8</b>	<b>22,1</b>					
Заточувальний верстат	2, 17	2	3	6	0,15	1,73	0,9	1,56					
Вертикально-фрезерний верстат	3, 5	2	12,3	24,6	0,14	1,73	3,44	5,96					
Плоскошліфувальний верстат	4, 6, 7, 8	4	7,38	29,52	0,2	1,73	5,9	10,2					
<b>СП3</b>		<b>8</b>	<b>22,68</b>	<b>60,12</b>	<b>0,16</b>	<b>1,73</b>	<b>10,24</b>	<b>17,72</b>					
Токарно-гвинторізні верстати	15,26,36,37	4	23,85	95,4	0,14	1,73	13,35	15,62					
Довжинний верстат	32, 35	2	13,2	26,4	0,15	1,73	3,96	6,85					
Свердильний верстат	16	1	8,05	8,05	0,14	1,73	1,12	1,95					
<b>СП4</b>		<b>7</b>	<b>45,1</b>	<b>129,85</b>	<b>0,14</b>	<b>1,73</b>	<b>18,43</b>	<b>24,42</b>					
Крани із ПВ-25%	1, 31	2	25,7	51,4	0,05	1,73	2,57	4,45					
Прес	20,21,23,24	4	3	12	0,17	0,75	2	1,53					
Вентилятор	43, 44	2	18,5	37	0,65	0,75	24	18					
<b>СП5</b>		<b>8</b>	<b>47,2</b>	<b>100,4</b>	<b>0,29</b>	<b>1,07</b>	<b>28,57</b>	<b>23,98</b>					
<b>Всього</b>		<b>39</b>	<b>237,48</b>	<b>549,33</b>	<b>0,19</b>	<b>1,55</b>	<b>99,41</b>	<b>133</b>	<b>23</b>	<b>1</b>	<b>99,41</b>	<b>133</b>	<b>166</b>
Електричні печі опору	38, 39, 40	3	50	150	0,7	0,48	105	50,4					
Електропід ковпака	41, 42	2	30	60	0,7	0,48	42	20,2					
<b>Всього</b>		<b>5</b>	<b>80</b>	<b>210</b>	<b>0,7</b>	<b>0,48</b>	<b>147</b>	<b>70,6</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>147</b>	<b>70,6</b>	<b>163</b>

Арк.

28

ДП 2025 141

Дата

Підпис

№ докум.

Арк.

Зм.

Таблиця 2.1.2 - Розрахунок електричних навантажень мідного заводу

№	Назва приміщення	$P_{ном},$ кВт	$n_e$	$P_{макс.}$ кВт	$K_B$	$tg\phi$	$cos\phi$	$P_{см.}$ кВт	$Q_{см.}$ квар	$K_M$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА
1	Корпус великого дроблення	670	13	100	0,65	1	0,70	435,5	435,5	1,230	535,67	435,5	690,36
2	Корпус середнього дроблення	550	15	75	0,70	1,17	0,65	385	450,45	1,120	431,2	450,45	623,57
3	Корпус відливання та згушення шламів	1100	37	60	0,80	0,62	0,85	880	545,6	1,050	924	545,6	1073
4	Склад дроблення руди	300	30	20	0,70	0,88	0,75	210	185,22	1,100	231	185,22	296
5	Головний корпус	3500	63	110	0,50	1	0,70	1750	1750	1,110	1942,5	1750	2614,53
6	Реагентний корпус	280	10	55	0,65	1	0,70	182	182	1,260	229,32	182	292,76
7	Баритовий корпус	1400	47	60	0,65	1	0,70	910	910	1,100	1001	910	1352,81
8	Насосне водопостачання	320	5	130	0,80	0,62	0,85	256	158,72	1,120	286,72	174,59	335,69
9	Золотовидобувна секція	1800	65	55	0,60	0,62	0,85	1080	669,6	1,090	1177,2	669,6	1354,31
10	Корпус сушки	210	11	40	0,65	1	0,70	136,5	136,5	1,260	172	136,5	219,58
11	Склад концентратів	150	14	22	0,70	0,75	0,80	105	78,75	1,130	118,65	78,75	142,4
12	Адміністративно – технічний корпус	175	29	12	0,60	0,75	0,80	105	78,75	1,130	118,65	78,75	142,4
13	Ремонтно-механічний цех	329	28	34	0,25	0,75	0,80	246,41	203,6	1	246,41	203,6	329
14	Перевантажувальний вузол №1	120	11	22	0,40	1	0,70	48	48	1,430	68,64	48	83,75
15	Перевантажувальний вузол №2	120	11	22	0,40	0,75	0,80	48	36	1,430	68,64	36	77,5
16	Ремонтно-будівельні майстерні	200	17	25	0,50	0,88	0,75	100	88,2	1,230	123	88,2	151,35
17	Столова	35	6	12	0,50	0,88	0,75	17,5	15,43	1,510	26,42	16,97	31,4
18	Інститут	600	80	15	0,50	1	0,70	300	300	1,100	330	300	445,98
19	Пральня	35	10	7	0,60	0,75	0,80	21	15,75	1,260	26,46	15,75	30,79
20	Гараж	50	10	10	0,60	0,75	0,80	30	22,5	1,260	37,8	22,5	44
	Сумарне НН	12981									8095,28	6327,98	<b>10331,18</b>

Дата

Підпис

№ докум.

Арк.

Зм.

### 3. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА З ВИЗНАЧЕННЯМ ЦЕНТРУ НАВАНТАЖЕННЯ МІДНОГО ЗАВОДУ

Для полегшення роботи щодо розміщення підстанції на генеральний план підприємства наноситься картограма навантажень. 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. Користування картограмою навантажень робить роботу з розміщення підстанції найточнішою і дозволяє запобігти серйозним похибкам.

Центр електричних навантажень можна прийняти співпадаючим з центром ваги фігури, що зображає корпус підприємства на плані. Підстанцію слід розмістити якнайближче до центра навантажень. Таке розміщення підстанції 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.

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Побудова картограми навантажень підприємства</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>						
Перевірив		<i>Зінькевич П.О.</i>					30	86
Н. Контр.		<i>Ізволенький І.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-30		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

Розглянемо на приклад розрахунок ковбасного цеху.

Сумарна потужність:

$$P_{P\Sigma} = P_{OC} + P_p.$$

$$P_{P\Sigma} = 22,48 + 535,67 = 558,15 \text{ кВт}$$

Радіус кола:

$$r = \sqrt{\frac{P_{P\Sigma}}{\pi \cdot m}},$$

де  $m = 0,05$  - масштаб площі кола, який вибирається проаналізувавши картограму,

$$r = \sqrt{\frac{558,15}{3,14 \cdot 0,5}} = 18,85$$

Кут, що обмежує сектор освітлювального навантаження

$$\gamma = \frac{P_{PO}}{P_{P\Sigma}} \cdot 360^\circ,$$

$$\gamma = \frac{18,85}{558,15} \cdot 360^\circ = 12,15$$

Аналогічно розраховуємо інші приміщення, результати заносимо в таблицю 3.1.

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

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

$$X = 250$$

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

$$Y = 190$$

де  $n$  – кількість цехів;

$X_i, Y_i$  — координати центра навантажень окремої споруди.

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл. 3.1.

Назва приміщення	Р <sub>о</sub> , кВт/м.кв.	F, м.кв.	Рр. о, кВт	Рр., кВт	ΣРр, кВт	г, мм	γ, град	X, м	Y, м
Корпус великого дроблення	0,015	1060	15,9	535,67	558,15	18,85	12	425	195
Корпус середнього дроблення	0,015	2900	43,5	431,2	498,15	17,81	13	335	235
Корпус відливання та згущення шламів	0,015	2760	41,4	924	972,71	24,89	9	295	235
Склад дроблення руди	0,01	1000	10	231	244,33	12,47	18	260	235
Головний корпус	0,015	2900	43,5	1942,5	2004,01	35,72	6	260	270
Реагентний корпус	0,015	520	7,8	229,32	240,35	12,37	18	250	220
Баритовий корпус	0,015	2760	41,4	1001	1059,54	25,97	9	185	240
Насосне водопостачання	0,015	400	6	286,72	293,78	13,67	17	185	290
Золотовидобувна секція	0,015	988	14,82	1177,2	1194,64	27,58	8	185	320
Корпус сушки	0,015	400	6	172	180,48	10,72	21	185	370
Склад концентратів	0,01	350	3,5	118,65	123,02	8,85	26	185	460
Адміністративно-технічний корпус	0,015	140	2,1	118,65	121,28	8,78	26	360	435
Ремонтно-механічний цех	0,015	2800	42	246,41	298,91	13,79	17	185	30
Перевантажувальний вузол №1	0,015	400	6	68,64	77,12	7	33	195	100
Перевантажувальний вузол №2	0,015	120	1,8	68,64	70,89	6,72	34	315	395
Ремонтно-будівельні майстерні	0,015	120	1,8	123	125,40	8,93	26	325	455
Столова	0,01	408	4,08	26,42	31,86	4,50	51	185	190
Інститут	0,01	640	6,4	330	339,05	14,69	16	370	40
Пральня	0,01	532	5,32	26,46	33,12	4,59	50	135	270
Гараж	0,015	640	9,6	37,8	49,8	5,63	41	260	330

										Арк.
										32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ДП 2025 141</b>					

## 4. ВИБІР ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

### 4.1. Вибір напруги живлячої мережі

Вибір напруги живлячої мережі залежить від потужності, що споживається підприємством, його віддаленості від джерела живлення, кількості та потужності окремих електроприймачів.

Значення величини живлячої напруги визначає параметри ліній електропередачі та вибраного електрообладнання, а також розміри капіталовкладень, втрати електроенергії.

Для визначення раціональної напруги спочатку визначаємо нестандартну напругу, при якій мають місце мінімальні приведені річні витрати електроенергії.

Отже, напруга живлячої мережі становитиме 110 кВ.

Живлення підприємства здійснюється від підстанції енергосистеми, на якій встановлено два три-обмоткових трансформатори потужністю 25 МВ·А, кожен, з первинною напругою 110 кВ і вторинною – 10 кВ.

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Вибір зовнішнього електропостачання підприємства</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>					33	86
Перевірив		<i>Зінькевич П.О.</i>						
Н. Контр.		<i>Ізволенький І.</i>						
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-33		

## 4.2. Вибір трансформатора на ГПП

Для підприємств середньої потужності ( $P_p = 15...75 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ ) пунктом прийому електроенергії за наявності у джерела живлення напруг  $35...220 \text{ кВ}$  є *головна понижувальна підстанція* (ГПП).

Трансформатори ГПП повинні забезпечувати надійне електропостачання в нормальному і після-аварійному режимах.

Якщо на підприємстві маються споживачі першої та другої категорій, приймаємо до установки на підстанції два трансформатори однакової потужності з вбудованим регулюванням напруги під навантаженням. Потужність трансформаторів вибираємо таким чином, щоб при відключенні одного з трансформаторів інший, що залишився в роботі, міг передавати усю задану потужність при допустимому перенавантаженні.

Вибір потужності трансформаторів ГПП здійснюється на підставі розрахункового навантаження заводу та інших споживачів, що живляться від ГПП,  $S_p$  на шинах  $10 \text{ кВ}$ .

Необхідну потужність трансформаторів  $S_T$  попередньо визначаємо за умови

$$S_T \geq \frac{S_p}{2K_3},$$
$$S_T = \frac{10331,18}{2 \cdot 0,7} = 7379,41$$

де  $K_3 = 0,7$  – коефіцієнт завантаження трансформатора в нормальному режимі.

За отриманим значенням потужності  $S_T$  вибирається номінальна потужність трансформатора  $S_{T,ном}$ .

Вибираємо трансформатор типу ТДН-10000/110 за табл. 4.2. [1] з такими характеристиками:

$$S_{тр}^{ном} = 10000 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad \Delta P_x = 18 \text{ кВт} \quad i_x = 0.9\%$$

$$U_{номВН} = 110 \text{ кВ} \quad \Delta P_k = 60 \text{ кВт}$$

$$U_{номНН} = 10 \text{ кВ} \quad U_k = 10,5 \%$$

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Розподільний пристрій (РП) 10(6) 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 (КРП). До складу КРП входять ввідні КРП, які розташовуються посередині секції шин, трансформатора власних потреб, шино-з'єднуючого КРП, КРП для відгалужень до окремих споживачів (РП, трансформаторів і т.п), вимірювальних трансформаторів, конденсаторних батарей. Передбачається встановлення розрядників на стороні 10(6) кВ, а також резервних КРП для відгалужень. Можлива електрична схема розподільного пристрою 10(6) кВ наведена на рисунку 4.2.

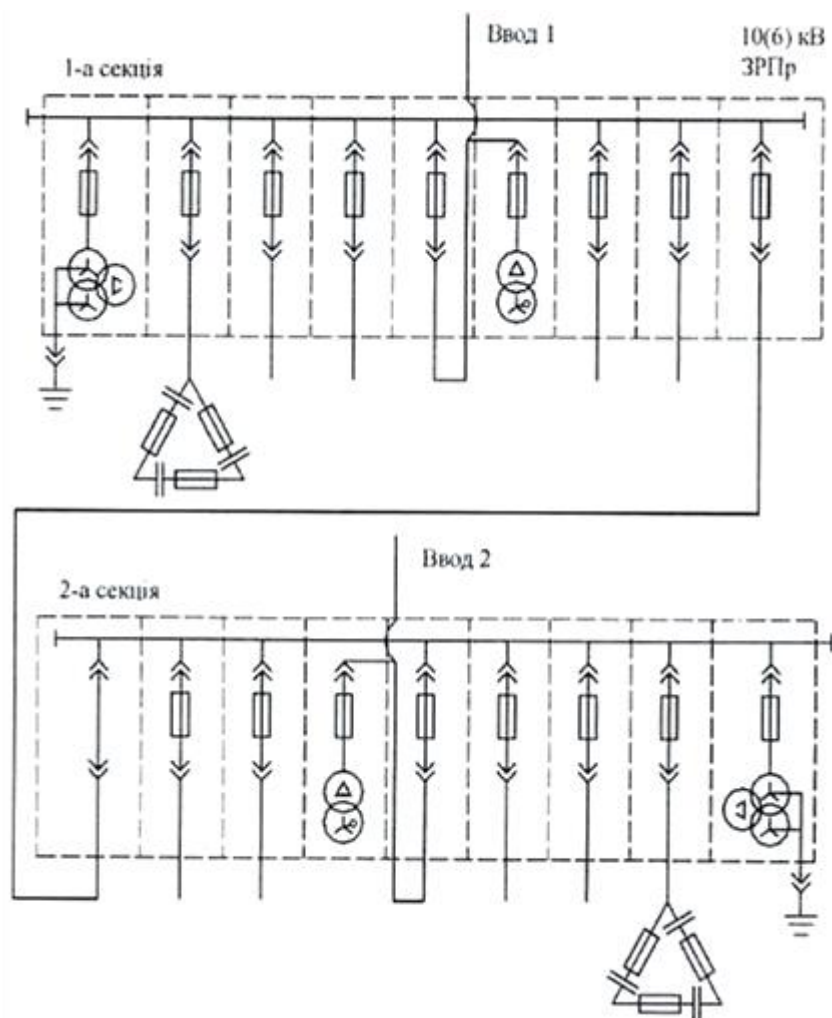


Рисунок 4.2. Електрична частина розподільного пристрою 10(6) кВ ГПП

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

#### 4.4. Вибір лінії електропередачі

Для живлення ГПП (напруга 110) в більшості випадків використовується ПЛ, для живлення ЦРП (напруга 6...35 кВ) - кабельні лінії (КЛ).

##### Вибір повітряної лінії напругою 110 кВ

Визначаємо струми нормального та максимального режимів:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{ПЛ}} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{10331,18}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 110} = 27,11 \text{ А.}$$

$$I_{\text{макс}} = 2 \cdot I_{\text{норм}} = 2 \cdot 27,11 = 54,22 \text{ А.}$$

Економічно вигідну густину струму приймаємо  $j_{\text{ек}} = 1,1 \text{ А/мм}^2$  (для алюмінієвих проводів, при  $T_{\text{макс}} = 3800 \text{ год}$ ).

Знаходимо економічно вигідний переріз повітряної лінії:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{макс}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{54,22}{1,1} = 49,29 \text{ мм}^2.$$

За табл. 3.23. [1] вибираємо провід типу АС-70/11.

$$S_{\text{ст}} = 70 \text{ мм}^2 > S_{\text{ек}} = 49,29 \text{ мм}^2$$

$$I_{\text{доп}} = 265 \text{ А} > I_{\text{макс}} = 54,22 \text{ А.}$$

Мінімальний переріз повітряної лінії 110 кВ за умовою корони складає  $70 \text{ мм}^2$ . Отже, вибираємо провід типу АС-70/11. Допустимий струм АС-70/11 складає 265 А.

Погонні параметри лінії:  $r_0 = 0,46 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,275 \text{ Ом/км}$ .

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

$$\Delta U_{\%} = \frac{P_3 \cdot R + Q_3 \cdot X}{U_{\text{н}}^2} \cdot 100\% < 10 - 15\%;$$

$$R = r_0 \cdot l = 0,46 \cdot 10 = 4,6 \text{ Ом};$$

$$X = x_0 \cdot l = 0,275 \cdot 10 = 2,75 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{P_3 \cdot R + Q_3 \cdot X}{U_{\text{н}}^2} \cdot 100\% = \frac{10331,18 \cdot 4,6 \cdot 10^{-3} + 0,275 \cdot 10^{-3}}{110^2} \cdot 100\% = 0,39\%$$

За умовою коронного розряду проводу такого перерізу можна використовувати

									Арк.
									37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

## 5. ВИБІР ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

### 5.1. Вибір напруги внутрішньозаводської мережі

Серед споживачів електроенергії мідного заводу є споживачі з номінальною напругою 380/220 В. У зв'язку з цим для внутрішньозаводської мережі приймаємо номінальну напругу 10 кВ, оскільки вона є більш економічною та універсальною і забезпечує ефективне електропостачання підприємства з різнорідними споживачами

### Вибір схеми внутрішнього електропостачання

На підприємстві розподіл енергії проводиться кабельними лініями. Можливі дві основні схеми розподілу електроенергії – радіальна та магістральна в залежності від розташування електроприймачів.

На мідному заводі приймаємо радіальну схему електропостачання. Вона забезпечує високу надійність, гнучкість розташування мережі дозволяє організувати керування.

Однак радіальна схема має недолік - висока вартість та наявність щитів до 1000 В у вигляді великої кількості радіальних ліній.

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Вибір внутрішнього електропостачання</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>					38	86
Перевірив		<i>Зінькевич П.О.</i>						
Н. Контр.		<i>Ізволеньський І.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-38		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

## 6. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТП

Число і потужність цехових трансформаторів вибирають, виходячи з одержаних даних про повну розрахункову потужність цеху та категорії споживачів.

На ТП можуть встановлювати 1 або 2 трансформатори.

Якщо в цеху передбачено декілька підстанцій, та електроприймачі мають I і II категорію встановлюють, як правило, двотрансформаторні підстанції й одно-трансформаторні з обов'язковим з'єднанням по нижчій напрузі. Двотрансформаторні цехові підстанції мають застосовуватися при перевазі електроприймачів I і II категорій, а також при нерівномірному добовому чи річному графіку навантаження.

Потужність трансформатора вибирається на основі техніко-економічного розрахунку із врахуванням можливості перевантаження його в аварійному режимі.

Згідно з ПУЕ допускається після-аварійне перевантаження трансформаторів на 40 % на час максимуму загальною добовою тривалістю понад 6 годин протягом не більше як п'яти діб.

При цьому коефіцієнт заповнення добового графіка в умовах перевантаження не повинен перевищувати 0,75, тобто:

$$S_c / (1.4 \cdot S_{\text{ном}}) < 0,75.$$

Отже, за вказаних умов перевищення середньодобового навантаження трансформатора над його номінальною потужністю допускається не більше як 5%. Трансформатори перевантажувати по середній потужності не дозволяється. ПУЕ рекомендує перевантажувати трансформатори за рахунок нерівномірності добового графіка, графіка за місяць або за рік.

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Вибір потужності трансформаторів цехових ТП</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>						
Перевірив		<i>Зінкевич П.О.</i>					39	86
Н. Контр.		<i>Ізволеньський І.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-39		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

Номинальна потужність трансформатора на ТП 1

$$S_{\text{НОМ}}^{\text{ТР}} = \frac{S_p}{K_{\text{пер}}^{\text{ав}}} = \frac{2004,01}{1,4} = 1431,43 \text{кВ} \cdot \text{А},$$

де  $K_{\text{пер}}^{\text{ав}}$  - коефіцієнт перевантажувальної здатності трансформатора в аварійному режимі.

За  $S_{\text{НОМ}}^{\text{ТР}}$  з табл. 4.2. [2] вибираємо трансформатор типу ТМ 1600/10/0,4.

Аналогічно вибираються трансформатори для інших ТП.

Розміщення ТП показано на генплані підприємства (лист №1).

№ ТП	Назва цеху	$P_p$ , кВА	$S_{p,\text{осв}}$ , кВА	$S_{p\Sigma}$ , кВА	$Q_{p\Sigma}$ , кВА	$S_{p\Sigma}/$ 1,4, кВА	$S_{\text{тр.ном}}$ , кВА
ТП1	Головний корпус	1942,5	61,51	2004,01	1750	1431,43	2x1600
ТП2	Реагентний корпус	229,32	11,03	2060,56	1663,7	1471,82	2x1600
	Баритовий корпус	1001	58,54				
	Корпус великого дроблення	535,67	22,48				
	Перевантажувальний вузол №1	68,64	8,48				
	Ремонтно-будівельні майстерні	123	2,40				
ТП3	Корпус середнього дроблення	431,2	66,95	2224,97	1549,39	1589,26	2x1600
	Корпус відливання та згущення шламів	924	48,71				
	Насосне водопостачання	286,72	7,06				
	Адміністративно-технічний корпус	118,65	2,63				
	Інститут	330	9,05				
ТП4	Золотовидобувна секція	1177,2	17,44	1928,14	1161,29	1377,24	2x1600
	Корпус сушки	172	8,48				
	Склад концентратів	118,65	4,37				
	Перевантажувальний вузол №2	68,64	2,25				
	Столова	26,42	5,44				
	Пральня	26,46	6,66				
	Гараж	37,8	12				
	Склад дроблення руди	231	13,33				
ТП5	Ремонтно-механічний цех	246,41	52,5	298,91	203,6	213,5	1x250

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

## 7. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

Одним з основних питань, що вирішують при проектуванні та експлуатації систем електропостачання промислових підприємств, є питання компенсації реактивної потужності.

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

Встановлення джерела реактивної потужності призводить до зниження втрат в період максимуму навантаження в середньому на 0,08 кВт / квар.

Оскільки силове обладнання та освітлювальне навантаження розташовані на стороні низької напруги з напругою 0,4 кВ та електричне більш віддалене від джерела живлення, тому передача реактивної потужності в мережу НН потребує збільшення перерізу проводів та кабелів, підвищення потужності силових трансформаторів і супроводжується втратами активної та реактивної потужностей.

Витрати, зумовлені переліченими вище факторами, можна зменшити та навіть ліквідувати, якщо здійснити компенсацію реактивної потужності безпосередньо в мережі НН.

Для компенсації реактивної потужності встановлюємо низьковольтні КУ. Виберемо низьковольтні КУ на ТП 1.

Оптимальне значення реактивної потужності, яку можна передати через трансформатори ТП

$$Q_T = \sqrt{(S_T \cdot N_T^e \cdot \beta)^2 - (P_p)^2} \text{ квар;}$$

$$Q_T = \sqrt{(1600 \cdot 2 \cdot 0,75)^2 - 1942,5^2} = 1409,5 \text{ квар,}$$

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Визначення необхідної потужності компенсуючи пристроїв</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>					41	86
Перевірив		<i>Зінкевич П.О.</i>						
Н. Контр.		<i>Ізволеньський І.</i>						
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-31		

де  $S_T = 1600$  кВА – потужність одного трансформатора на трансформаторній підстанції;

$\Delta N_T^e = 2$  шт. - кількість трансформаторів на ТП;

$\beta = 0,75$  - коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$P_p = 1942,5$  кВт - розрахункова потужність електроприймачів напругою до 1 кВ.

Потужність КУ, що визначається пропускнуою здатністю трансформаторів ТП

$$Q_{НК1} = Q_{р.НН} - Q_T \text{ квар};$$

$$Q_{НК1} = 1750 - 1409,5 = 340,5 \text{ квар};$$

Оскільки  $Q_{НК1} < 0$ , приймаємо  $Q_{НК1} = 0$  квар.

Потужність КУ, які забезпечують оптимальну величину втрат електричної енергії в електромережах

$$Q_{НК2} = Q_{р.НН} - Q_{НК1} - \gamma \cdot S_T \cdot N_T^e \text{ квар};$$

$$Q_{НК2} = 1750 - 340,5 - 0,1 \cdot 1600 \cdot 2 = 1089,5 \text{ квар};$$

де  $\gamma = f(k_1; k_2)$ .

Показник  $k_1$  характеризує відношення питомих витрат на НБК та високовольтних батарей конденсаторів і в практичних розрахунках для енергетичної системи України при кількості робочих змін 3 дорівнює 11, при двозмінній роботі - 12, однозмінній - 24. Отже,  $k_1 = 24$ .

$k_2$  - залежить від характеристики електричної мережі й для радіальної мережі його чисельне значення беруть згідно з даними табл. 2.10. [2],  $k_2 = 3$ .

Оскільки  $Q_{НК2} > 0$ , тоді  $Q_{НК2} = 1089,5$  квар.

Сумарна розрахункова потужність низьковольтних КУ:

$$Q_{НК} = Q_{НК1} + Q_{НК2} \text{ квар}$$

$$Q_{НК} = 340,5 + 1089,5 = 1430 \text{ квар}.$$

З розрахунків видно, що на стороні НН ТП 1 необхідно становити КУ потужністю  $Q_{НК} = 1430$  квар.

Отже, згідно табл. 4.37. [1] вибираємо:

2хУКМФ-0,4-750-50

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

Аналогічно вибираємо КУ для інших ТП та інформацію заносимо в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1

Трансформаторна підстанція	Установка компенсації реактивної потужності
ТП1	2хУКМФ-0,4-750-50
ТП2	2хАУКРМ-VE-0,4-675-25УЗ
ТП3	2хАУКРМ-VE-0,4-625-25УЗ
ТП4	-
ТП5	-

Потужність високовольтних конденсаторних установок:

$$Q_{НК} = Q_p - Q_{p.вн} + \sum \Delta Q_{ТТП} - Q_{e1} - Q_{СДном} - \sum Q_{нкф} + \sum \Delta Q_{ТГПП} \text{ квар.}$$

Втрати реактивної потужності в трансформаторах трансформаторної підстанції:

$$\sum_{i=1}^n \Delta Q_{ТТП} = n \cdot [\Delta Q_x + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_k],$$

Для ТП1:

$$\Delta Q_{ТТП} = 2 \cdot [22,4 + 0,612^2 \cdot 88] = 110,719 \text{ квар.}$$

де n – кількість трансформаторів на трансформаторній підстанції;

$\Delta Q_k$ ,  $\Delta Q_x$  - втрати реактивної потужності в трансформаторах при холостому ході  $n_f$  короткому замиканні:

$$\Delta Q_x = \frac{S_{тр.ном} \cdot i_x}{100} = \frac{1600 \cdot 1,4}{100} = 22,4 \text{ квар.}$$

$$\Delta Q_k = \frac{S_{тр.ном} \cdot U_k}{100} = \frac{1600 \cdot 5,5}{100} = 88 \text{ квар.}$$

$$\beta_T = \frac{\sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{нкф})^2}}{n \cdot S_{тр.ном}} = \frac{\sqrt{1942,5^2 + (1750 - 1500)^2}}{2 \cdot 1600} = 0,612$$

- коефіцієнт завантаження трансформатора.

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Отже, втрати реактивної потужності в трансформаторах трансформаторних підстанціях :

$\Delta Q_{\text{гтп1}}$	110,719 квар
$\Delta Q_{\text{гтп2}}$	112,236 квар
$\Delta Q_{\text{гтп3}}$	121,465 квар
$\sum_{i=1}^n \Delta Q_{\text{гтп}}$	344,12 квар

Фактична потужність КУ напругою до 1000 кВ:

$$\sum_{i=1}^n \Delta Q_{\text{нкф}} = 1500 + 1350 + 1250 = 4100 \text{ квар.}$$

Втрати реактивної потужності в трансформаторах ГПП:

$$\sum \Delta Q_{\text{тгпп}} = n \cdot [\Delta Q_{\text{x}} + \beta_{\text{т}}^2 \cdot \Delta Q_{\text{к}}] = 2 \cdot [90 + 0,675^2 \cdot 1050] = 1136,8 \text{ квар.}$$

Потужність високовольтних конденсаторних установок:

$$Q_{\text{нк}} = 4003,71 + 0 + 344,12 - 0 - 0 - 4100 + 1136,8 = 1384,63 \text{ квар}$$

Знак «+» вказує на недокомпенсацію реактивної потужності.

З розрахунків видно, що на стороні високої напруги трансформаторної підстанції необхідно ставити конденсаторні установки потужністю  $Q_{\text{нк}} = 1384,63$  квар.

За табл. 4.33/ [1] маємо дві конденсаторні установки:

УКРМ-10,5-1400-50 (3x400 +200)

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

Низьковольтні конденсаторні установки підключені через автоматичні вимикачі.

Розрахунковий струм:

$$I_{p.ку1} = \frac{Q_{ку}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{750}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1082 \text{ А.}$$

$I_{p.ку1}$	1082 А
$I_{p.ку2}$	974 А
$I_{p.ку3}$	902 А

Вибираємо вимикач типу ВА57-43, який має струм до 1600 А і широкий діапазон номінальних струмів.

Номінальний струм для високовольтної конденсаторної установки:

$$I_p = \frac{Q_{ку}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{1400}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 80,82 \text{ А.}$$

Економічно вигідний переріз:

$$S_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек.кл}} = \frac{80,82}{1,4} = 57,728 \text{ мм}^2$$

Вибираємо кабель типу ААШВУ-10-3х70.

$$S_{ст} = 70 \text{ мм}^2 > S_{ек} = 57,728 \text{ мм}^2.$$

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

## 8. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ КАБЕЛІВ

Вибір кабелів для підключення цехових ТП.

Приклад розрахунку для ТП1:

Нормальний та максимальний струми:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{ном.тр}} \cdot \beta}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{1600 \cdot 0,73}{\sqrt{3} \cdot 10} = 67,4 \text{ А.}$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 129,326 \text{ А.}$$

Знаходимо економічно вигідний переріз кабельної лінії:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{норм}}}{J_{\text{ек.кл}}} = \frac{67,4}{1,1} = 61,27 \text{ мм}^2.$$

По економічно вигідному перерізу обираємо стандартний переріз кабельної лінії:  $S_{\text{ст}} = 70 \text{ мм}^2 > S_{\text{ек}} = 61,27 \text{ мм}^2$ .

Вибираємо 2 кабелі типу 2хААШВУ -10-3х70, прокладка в землі.

Погонні параметри кабельної лінії за табл. 3.28. [1]:

$g_0 = 0,443 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,083 \text{ Ом/км}$ .

Перевіряємо кабельну лінію за умовою допустимого нагріву ( $I_{\text{доп}}$  за табл. 3.36. [1]):  $I_{\text{доп}} = 162 \text{ А} > I_{\text{макс}} = 129 \text{ А}$ .

Дані розрахунків заносимо до таблиці 8.1.

Таблиця 8.1

Назва КЛЕП	$I_{\text{норм}}^{\text{р}}$ , А	$I_{\text{макс}}^{\text{р}}$ , А	$S_{\text{ек}}$ , мм <sup>2</sup>	$I_{\text{доп}}^{\text{нр}}$ , А	К-сть, марка і переріз кабеля
ГПП-ТП1	67,4	129,326	61,27	162	2хААШВУ-10-3х70
ГПП-ТП2	67,4	129,326	61,27	162	2хААШВУ-10-3х70
ГПП-ТП3	67,4	129,326	61,27	162	2хААШВУ-10-3х70
ГПП-ТП4	67,4	129,326	61,27	162	2хААШВУ-10-3х70
ГПП-ТП5	10,53	20,207	9,57	75	2хААШВУ-10-3х16

					<b>ДП 2025 141</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Вибір перерізу кабелів</b>					
Розробив	Волочай О.О.							Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Зінкевич П.О.								46	86
Н. Контр.	Ізволенький І.							ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-36		
Затвердив	Балюта С.М									

Визначаємо переріз кабелю від ТП2 до РП 1 корпусу великого дроблення:

Визначаємо струми нормального і максимального режимів:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{кл}} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{535,67}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 0,4} = 386,58 \text{ А.}$$

$$I_{\text{макс}} = 2 \cdot I_{\text{норм}} = 2 \cdot 386,58 = 773,16 \text{ А.}$$

Економічно вигідну густину струму приймаємо  $J_{\text{ск}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$  та при  $T_{\text{макс}} = 3800 \text{ год.}$

Знаходимо економічно вигідний переріз кабельної лінії:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{норм}}}{J_{\text{ек}}} = \frac{386,58}{1,4} = 276,12 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель типу ААШВУ-0,4-150  $I_{\text{доп}} = 775 \text{ А}$ , прокладений в землі.

Перевіряємо кабельну лінію за умовами нагріву:

$$S_{\text{ст}} = 150 \text{ мм}^2 < S_{\text{ек}} = 276,12 \text{ мм}^2.$$

$$I_{\text{доп}} = n_{\text{кб}} \cdot k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{п}} = 775 \cdot 1 \cdot 1,15 = 891,25 \geq I_{\text{макс}} = 773,16 \text{ А.}$$

Вибираємо кабель типу, ААШВУ-0,4-4x150. Дані заносимо до таблиці 8.2.

Таблиця 8.2

Назва КЛЕП	$I_{\text{норм}}$ , А	$I_{\text{макс}}$ , А	$S_{\text{ск}}$ , мм <sup>2</sup>	$I_{\text{доп}}^{\text{нр}}$ А	К-сть, марка і переріз кабеля
ТП2-РП1	386,58	773,16	276,12	891,25	6хААШВУ-0,4-4х150
ТП2-РП6	165,49	330,98	118,20	558,9	2хААШВУ-0,4-4х120
ТП2-РП14	49,53	99,06	35,37	155,25	2хААШВУ-0,4-4х35
ТП2-РП16	88,76	177,52	63,4	320	2хААШВУ-0,4-4х70
ТП3-РП2	311,19	622,38	222,27	714,15	4хААШВУ-0,4-4х185
ТП3-РП8	206,92	413,84	147,8	496,8	4хААШВУ-0,4-4х95
ТП3-РП12	85,62	171,24	61,15	320	2хААШВУ-0,4-4х70
ТП3-РП18	238,15	476,3	170,10	414	4хААШВУ-0,4-4х70
ТП4-РП4	166,70	333,4	119,07	558,9	2хААШВУ-0,4-4х120
ТП4-РП10	124,13	248,26	88,66	248,4	2хААШВУ-0,4-4х95
ТП4-РП11	85,62	171,24	61,15	320	2хААШВУ-0,4-4х70
ТП4-РП15	49,53	99,06	35,37	155,25	2хААШВУ-0,4-4х35
ТП4-РП17	19,06	38,12	13,61	103,5	2хААШВУ-0,4-4х16
ТП4-РП19	19,09	38,18	13,63	103,5	2хААШВУ-0,4-4х16
ТП4-РП20	27,27	54,54	19,47	103,5	2хААШВУ-0,4-4х16

ДП 2025 141

Арк.

47

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

## 9. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

*Коротким замиканням* називають будь-яке непередбачене нормальними умовами роботи з'єднання двох точок електричного кола. Причинами короткого замикання є механічні пошкодження ізоляції, її пробій від перенапруг і старіння, обриви, накиди та перетини проводів, повітряних ліній, помилкові дії обслуговуючого персоналу.

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.

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

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

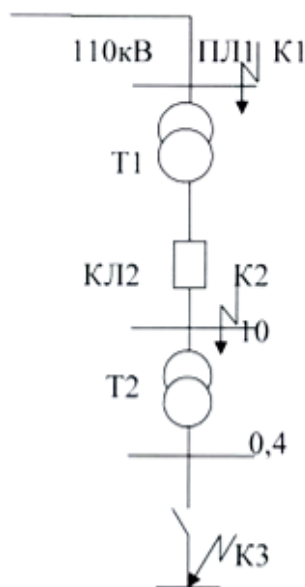


Рис. 9.1. Розрахункова схема

					ДП 2025 141					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Розрахунок струмів короткого замикання</b>					
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Зінкевич П.О.</i>							48	86
Н. Контр.		<i>Ізволенький І.</i>						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-38		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>								

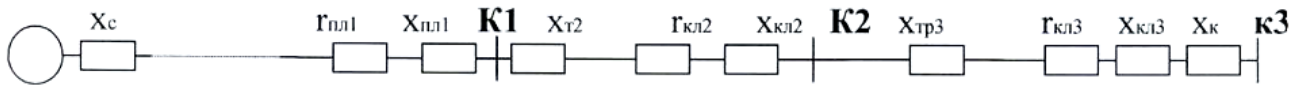


Рис. 9.2. Схема заміщення

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:  $S_6 = 100$  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:

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{ кА}$$

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_{63} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{63}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,34 \text{ кА}$$

4. Визначаємо опір схеми заміщення:

а) ПЛ:

$$X_{пл1*} = X_{*б.л.} = \frac{x_0 L S_6}{U_{61}^2} = \frac{0.46 \cdot 10 \cdot 100}{115^2} = 0,035$$

$$r_{пл1*} = r_{*б.л.} = \frac{r_0 L S_6}{U_{61}^2} = \frac{0.46 \cdot 10 \cdot 100}{115^2} = 0,035$$

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

б) Трансформатора на ГПП:

$$x_{T2*} = x_{*б.т.} = \frac{U_K S_6}{100 \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 10} = 1,05$$

в) КЛЕП:

$$x_{ПЛ2*} = x_{*б.л.} = \frac{x_0 L S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,081 \cdot 0,3 \cdot 100}{10,5^2} = 0,022$$

$$r_{ПЛ2*} = r_{*б.л.} = \frac{r_0 L S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,258 \cdot 0,3 \cdot 100}{10,5^2} = 0,07$$

5. Трансформатор на підстанції № 3:

$$x_{Т3} = x_{*б.т.} = \frac{U_K S_6}{100 \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 1,6} = 6,56$$

Визначаємо силу струмів К.3.:

Точка К-1

$$z_{1*} = \sqrt{(x_{1*} + x_c)^2 + r_{1*}^2} = \sqrt{(0,035 + 0,5)^2 + 0,035^2} = 0,536$$

$$I_{к1} = \frac{I_{61}}{z_{1*}} = \frac{0,5}{0,536} = 0,932 \text{ кА}$$

$$i_{y1} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,932 = 2,372 \text{ кА}$$

де  $K_y = 1,8$ , [2]

Аперіодична стала часу для системи:

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

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

де  $k_y = 1,8$  – ударний коефіцієнт.

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

Час протікання К.З.:

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

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

Аперіодична складова струму К.З.:

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

$$i_a = \sqrt{2} \cdot 0,915 \cdot e^{\frac{-0,09}{0,045}} = 0,178 \text{ кА.}$$

Тепловий імпульс:

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

$$B_K^{к1} = (0,932)^2 \cdot (0,4 + 0,045) = 0,386 \text{ кА}^2 \cdot \text{с,}$$

Перевіряємо КЛ, яка йде від джерела за умовою:

$$S_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{B_K^{к1}}}{C} < S_{\text{ст}}^{\text{кл}} \text{ мм}^2 ,$$

$$S_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{0,386 \cdot 10^6}}{90} = 69,03 \text{ мм}^2 < S_{\text{ст}}^{\text{кл}} = 70 \text{ мм}^2 ,$$

Точка К-2

$$X_{\Sigma 2} = X_{Т2} + X_{кЛ2} + X_c + X_{пл1} = 1,05 + 0,022 + 0,50 + 0,035 = 1,607$$

$$r_{\Sigma 2} = r_{пл1} + r_{кЛ2} = 0,035 + 0,07 = 0,105$$

Активний опір не враховуємо, тому що  $r_{\Sigma 2} \leq 0,3X_{\Sigma 2}$ ,  $0,105 \text{ Ом} \leq 0,50 \text{ Ом}$ .

$$I_{к2} = \frac{I_{б2}}{X_{\Sigma 2}} = \frac{5,5}{1,607} = 3,422 \text{ кА}$$

$$i_{y2} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к2} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,422 = 8,71 \text{ кА,}$$

де  $K_y = 1,8$  = для напруги 10 кВ

$$S_{к2} = \frac{S_6}{X_{\Sigma 2}} = \frac{100}{1,607} = 62,227 \text{ МВА}$$

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аперіодична стала часу для системи:

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

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

де  $k_y = 1,8$  – ударний коефіцієнт.

Час протікання К.З.:

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

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

Аперіодична складова струму К.З.:

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

$$i_a = \sqrt{2} \cdot 3,422 \cdot e^{\frac{-0,09}{0,045}} = 0,654 \text{ кА}.$$

Тепловий імпульс:

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

$$B_K^{к2} = (3,422)^2 \cdot (0,4 + 0,045) = 5,21 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

Точка К-3. Опір контактів для цехових ТП

$$r_K = 20 \text{ Ом}.$$

Опір кабельних ліній, що живлять ТП потужністю 1600 кВА

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

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

$$X_{кЛЗ} = X_0 \cdot l_{кЛ} \cdot \left( \frac{U_{НОМ}^{НН}}{U_{НОМ}^{ВН}} \right)^2 \cdot 10^3 ,$$

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

$$x_{кЛ3} = 0,022 \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 \cdot 10^3 = 0,011,$$

Опір трансформаторів на ТП потужністю 1600 кВА

$$r_{Т3} = \frac{\Delta P_{к}}{(S_{НОМ}^T)^2} \cdot (U_{НОМ}^{cp})^2 \cdot 10^3,$$

$$r_{Т3} = \frac{23,5 \cdot 10^3}{1600^2} \cdot 0,4^2 \cdot 10^3 = 1,468;$$

$$x_{Т3} = \sqrt{(10 \cdot U_{к})^2 - \frac{\Delta P_{к}}{(S_{НОМ}^T)^2} \cdot \frac{(U_{НОМ}^{cp})^2}{S_{НОМ}^T}} \cdot 10^3,$$

$$x_{Т3} = \sqrt{(10 \cdot 605)^2 - \frac{23,5 \cdot 10^3}{1600^2} \cdot \frac{0,4^2}{1600}} \cdot 10^3 = 6,04.$$

Сумарні опори

$$r_{\Sigma} = r_{пл1} + r_{кЛ2} + r_{кЛ3} + r_{Т3} + r_{к},$$

$$r_{\Sigma} = 0,035 + 0,07 + 0,034 + 1,468 + 20 = 21,607,$$

$$x_{\Sigma} = x_{пл1} + x_{кЛ2} + x_{Т2} + x_{кЛ3} + x_{Т3},$$

$$x_{\Sigma} = 0,035 + 0,022 + 1,05 + 0,011 + 6,04 = 7,158,$$

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

$$z_{\Sigma} = \sqrt{21,607^2 + 7,158^2} = 22,761$$

Початковий струм К.З.

$$I_{к4} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma}} \text{ кА},$$

$$I_{к4} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 22,761} = 10,14 \text{ кА}.$$

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

Ударний струм К.З.

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{c.k4}'' \text{ кА,}$$

$$i_y = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,14 = 14,340 \text{ кА,}$$

Таблиця 9.1

**Результати розрахунків струмів короткого замикання**

Т-ки к.з.	Місце к.з.	Базисні умови			Зак- лючні опори	Початкові струми, кА $I_c$	Аперіодична складова, кА $i_a$	Ударні струми, кА $i_y$	Тепловий імпульс, кА <sup>2</sup> ·с
		U <sub>б</sub> , кВ	S <sub>б</sub> МВА	I <sub>б</sub> , кА					
К1	КЛ1	115	100	0,502	0,536	0,932	0,178	2,372	0,386
К2	Шини ТП 10 кВ	10,5	100	5,5	1,607	3,422	0,654	8,671	5,21
К3	НН ТП1	0,4	-	-	22,761	10,14	—	14,340	—

## 10. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

### 10.1. Вибір основних комутаційних апаратів

#### Вибір вимикачів 110 кВ ГПП

Вимикачі вибираємо по параметрах нормального режиму:

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{НОМ}} &\geq U_{\text{НОМ.мер}} \\ I_{\text{НОМ}} &\geq I_{\text{НОМ.розр}} \end{aligned} \right\}$$

а потім перевіряємо за критеріями аварійного режиму:

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{відкл}} &\geq I_{\text{роб.відкл}} \\ i_{\text{макс}} &\geq i_y \\ B_k = I_t^2 \cdot t &\geq I_{\infty}^2 \cdot t \end{aligned} \right\}$$

За номінальними параметрами  $U_{\text{НОМ}} = 110\text{кВ}$  і  $I_{\text{НОМ}} = 162,45\text{ А}$  вибираємо вимикач ВБК-110Б-20/1000У1 з такими даними:

$$U_{\text{НОМ}} = 110\text{кВ};$$

$$I_{\text{НОМ}} = 1000\text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ.откл}} = 20\text{ кА};$$

$$I_{\text{Мах}} = 52\text{ кА};$$

$$I_t = 20\text{ кА};$$

$$T = 3\text{ с.}$$

Перевірка за (1.40):

$$20\text{ кА} > 0,932\text{ кА}$$

$$52\text{ кА} > 2,372\text{ кА}$$

$$20^2 \cdot 3 = 1200 > 0,386^2 \cdot 2 = 0,297\text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

#### Вибір роз'єднувачів 110 кВ

Роз'єднувачі вибираємо по номінальних параметрах аналогічно вимикачам.

Вибираємо роз'єднувачі РНД-3-110/1000У1 з такими даними:

$$U_{\text{НОМ}} = 110\text{кВ}; I_{\text{НОМ}} = 1000\text{ А}; i_{\text{макс}} = 80\text{ кА}; I_t = 31,5\text{ кА}; t = 4\text{ с.}$$

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Вибір обладнання</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>					55	86
Перевірив		<i>Зінькевич П.О.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-35		
Н. Контр.		<i>Ізволеньський І.</i>						
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

Перевіряємо по (1.40):

$$80 \text{ кА} > 2,372 \text{ кА}$$

$$31,5^2 \cdot 4 = 3969 > 0,386^2 \cdot 2 = 0,297 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

### **Вибір вимикачів 10 кВ**

Вибір вимикачів на вторинній стороні ПШ

Розрахунковий струм на вторинній стороні ПШ складає:

$$I_p = \frac{S_i}{2\sqrt{3}U_i}$$

$$I_p = \frac{10331,18}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 298,235 \text{ А}$$

Вибираємо вимикачі ВВ/TEL-10 з наступними даними:

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

Перевіряємо обрані вимикачі за умовами (1.40):

$$12,5 \text{ кА} > 3,422 \text{ кА}$$

$$32 \text{ кА} > 8,671 \text{ кА}$$

$$12,5^2 \cdot 4 = 625 > 5,21^2 \cdot 2 = 54,288 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

### **Вибір вимикачів навантаження напругою 10 кВ цехових ТП**

Вимикачі навантаження вибираємо по номінальних параметрах аналогічно вимикачам.

Вибираємо вимикачі навантаження ВНЗ-17 з такими даними:

$$U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А};$$

$$i_{\text{откл}} = 400 \text{ А};$$

$$I_t = 14 \text{ кА};$$

$$t = 1 \text{ с.}$$

Перевіряємо по (1.40):

$$400 \text{ А} > 389,56 \text{ А}$$

$$14^2 \cdot 1 = 196 > 5,21^2 \cdot 2 = 54,288 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вибір запобіжників напругою 10 кВ цехових ТП

Запобіжники вибираємо по номінальних параметрах аналогічно вимикачам.

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

$$U_{\text{НОМ}} = 10\text{кВ},$$

$$I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А},$$

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

## Вибір апаратів захисту мережі 0.4 кВ

Згідно з ПУЕ, як апарати захисту мереж застосовуються автоматичні вимикачі або запобіжники.

Апарати захисту слід встановлювати в місцях мережі, де переріз провідника зменшується, а також у місцях приєднання провідників, що захищаються, до живильної лінії.

Запобіжники мають встановлюватися на всіх незаземлених полюсах або фазах. Установлення запобіжників у нульових робочих провідниках заборонено. При захисті мереж з глухо заземленою нейтраллю розчеплювачі автоматичних вимикачів мають установлюватися в усіх незаземлених провідниках.

Апарати захисту за своєю вимикаючою здатністю мають відповідати максимальному значенню струму короткого замикання на початку ділянки, що захищається, електричної мережі.

Номінальні струми плавких вставок і струми розчеплювачів автоматичних вимикачів слід обирати за розрахунковими струмами ділянок мережі, чи за номінальними струмами електроприймачів. Причому апарати захисту не повинні вимикати електроустановки при короткочасних перевантаженнях (пускові струми, пікові струми тощо).

### Умови вибору автоматичних вимикачів:

° За номінальною напругою:

$$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{НОМ.мер}};$$

де  $U_{\text{НОМ.мер}}$  - номінальна напруга мережі, в якій застосовується вимикач.

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

° За номінальним струмом розчеплювача:

$$I_{\text{ном.розч}} \geq I_{\text{розч}}$$

де  $I_{\text{розч}}$  – розрахунковий струм ділянки мережі, що захищається.

° За номінальним струмом автоматичного вимикача:

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.розр}}$$

° За умовою спрацювання при короткочасних перевантаженнях:

$$I_{\text{спр}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пik}}$$

- За умовою спрацювання при однофазному короткому замиканні:

$$I_{\text{к}}^1 \geq 3 \cdot I_{\text{спр}}$$

Якщо автоматичний вимикач має тільки електромагнітний розчеплювач,  
то

$$I_{\text{к}}^1 \geq 1,1 \cdot I_{\text{спр}}$$

Перевірку за умовою спрацювання при однофазному короткому замиканні здійснимо наступним чином. Визначимо струм КЗ для найбільш віддаленого споживача, який живиться проводом незначного перерізу (1,5 мм). Цей струм буде мінімальним із всіх струмів КЗ, тому якщо захист спрацює на його значення, то отже спрацює і на більші струми.

Для трансформаторів максимальний струм розчеплення:

$$I_{\text{розч}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3403 \text{ А.}$$

Для секційного вимикача:

$$I_{\text{розч}} = \frac{(0,7 \div 0,8) \cdot S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{0,7 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1701 \text{ А.}$$

Вибираємо автоматичні вимикачі серії ВА45. Автоматичні вимикачі показані на листі № 2 графічної частини.

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 10.2. Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги

### 10.2.1. Вибір вимірювальних трансформаторів струму

*Трансформатори струму* являють собою однофазні електричні пристрої та вибираються у двофазному чи трифазному виконанні для кожного приєднання усіх розподільчих пристроїв конкретної системи електропостачання. У зв'язку з цим вимірювальні трансформатори струму з'єднуються за схемою неповної або повної зірки.

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

Вибираємо трансформатор ТЛ -10.

Паспортні дані :

$$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{НОМ1}} = 400 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ2}} = 5 \text{ А};$$

$$z_{\text{НОМ}^2} = 0,8 \text{ Ом};$$

$$k_{\text{Т}} = 0,5.$$

Таблиця 10.1

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	«Альфа»	3.6	3.6	3.6
Разом		4.6	4.6	4.6

Визначаємо опір найбільш завантаженої фази:

$$z_{\Sigma\text{прил}} = \frac{S_{\Sigma\text{прил}}}{I_{\text{ном.2}}^2} = \frac{4,6}{5^2} = 0,184 \text{ Ом}$$

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

$$z_{\text{прил}} = z_{\text{ном}^2} - z_{\Sigma\text{прил}} - z_{\text{к}} [\text{Ом}],$$

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

$z_{\text{ном}^2}$  - номінальний опір вторинної обмотки ( $z_{\text{ном}^2} = 0,8 \text{ Ом}$ );

$z_{\text{к}}$  - опір контактів ( $z_{\text{к}} = 0,1 \text{ Ом}$ ).

$$z_{\text{прил}} = 0,8 - 0,184 - 0,1 = 0,516 \text{ Ом.}$$

Мінімально можливий переріз з'єднувальних проводів:

$$S_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{р}}}{z_{\text{прил}}} = \frac{0,028 \cdot 60 \cdot \sqrt{3}}{0,516} = 5,6 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо стандартний переріз  $6 \text{ мм}^2$ .

Перерахунок опору з'єднувальних проводів :

$$z_{\text{пр}} = \frac{0,028 \cdot 60 \cdot \sqrt{3}}{16} = 0,29 \text{ Ом.}$$

Розрахунок навантаження лінії:

$$z_{\text{роз}} = z_{\text{прил}} + z_{\text{пр}} + z_{\text{к}} = 0,516 + 0,181 + 0,1 = 0,797 \text{ Ом.}$$

Оскільки номінальне навантаження трансформатора струму більше ніж розрахункове:

$$z_{\text{ном}} \geq z_{\text{роз}} [\text{Ом}]$$

$$0,8 \text{ Ом} \geq 0,797 \text{ Ом.}$$

то вибраний трансформатор струму працюватиме в даному класі точності.

Схема підключення вимірювальних трансформаторів струму представлена на рис. 10.1.

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

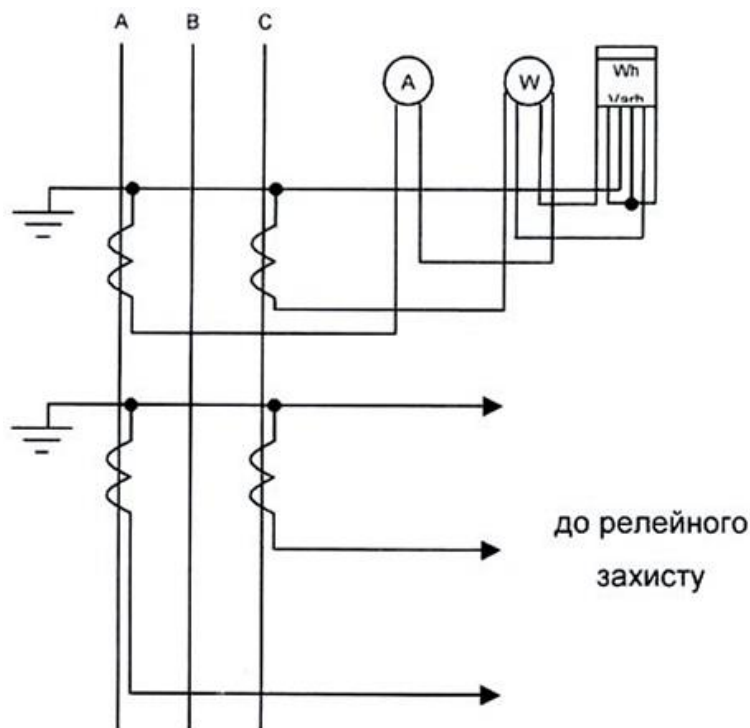


Рис. 10.1. Схема підключення вимірювальних трансформаторів струму

### 10.2.2. 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 - 100 або л/З -100, 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.

$$S_{\text{НОМ2}} \geq S_{\text{P}}, [\text{ВА}].$$

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Таблиця 10.2

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	«Альфа»	-	6	22
Вольтметр	Э-335	2	1	2
Разом				28

Розраховуємо сумарне навантаження вторинних обмоток вимірювального трансформатора напруги.

$$S_{\Sigma 2} = S_{\text{ПР}} + S_{\text{р.з.}}, [\text{В А}],$$

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

$S_{\text{р.з.}}$  — навантаження оперативних кол.

$$S_{\Sigma 2} = 28 + 90 = 118 \text{ В А}$$

Оскільки, умова:

$$S_{\text{НОМ}2} = 120 \text{ В А} \geq S_{\text{р}} = 118 \text{ В А.}$$

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

Визначаємо втрати напруги в з'єднувальних проводах.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{НОМ}} \cdot z_{\text{пр}}}{U_{\text{НОМ}2}} \cdot 100\% \leq 0.5\%,$$

$$\text{де } I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\Sigma 2}}{U_{\text{НОМ}2}} = \frac{118}{100} = 1.18 \text{ А};$$

$$z_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{р}}}{S_{\text{ст}}} = \frac{0,028 \cdot 40}{6} = 0,186 \text{ Ом};$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,18 \cdot 0,186}{100} \cdot 100\% = 0,38\% \leq 0,5\%$$

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



## 11. ВИБІР РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

При виборі типів релейного захисту (РЗ) слід керуватися тим, що пристрої РЗ мають забезпечувати автоматичне відключення елемента, що захищається, у випадку його пошкодження, яке становить безпосередню небезпеку для нього чи всієї установки, а також у разі виникнення умов, що загрожують пошкодженням (різке зниження рівня масла в трансформаторі) або порушення нормального режиму роботи електроустановки. Якщо порушення нормального режиму роботи чи пошкодження не являють безпосередню небезпеку для електроустановки, то пристрої релейного захисту мають забезпечувати сигналізацію, яка вказує на виконання цих режимів.

При виборі схеми релейного захисту треба керуватися типовими схемними рішеннями. Але слід пам'ятати про особливості конкретного РЗ, що накладаються використовуваною комутаційною апаратурою, фактичним джерелом оперативного струму, віддаленістю підстанції від джерела живлення тощо.

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.

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>			<b>Вибір релейного захисту</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Зінкевич П.О.</i>					64	86
Н. Контр.		<i>Ізволенький І.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4- <del>3</del> 64		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

Встановлюємо релейний захист на наступних елементах системи електропостачання:

### *I. Трансформатори.*

Від пошкоджень та ненормальних режимів роботи встановлюється наступні види релейного захисту:

1. Захист від багатофазних коротких замикань в обмотках та на виводах.
2. Захист від однофазних коротких замикань на землю в обмотці та на виводах, які приєднанні до мережі з глухо заземленою нейтраллю.
3. Захист від виткових замикань в обмотках.
4. Захист від струмів в обмотках, які зумовлені зовнішнім коротким замиканням.
5. Захист від струмів в обмотках, які зумовлені перенавантаженням.
6. Захист від пониження рівня масла.
7. Захист від однофазних коротких замикань на землю в мережах 3-10 кВ з ізолюваною нейтраллю, якщо транс-ор живить мережу, в якій відключення однофазних коротких замикань на землю необхідно за вимогами безпеки.

Для захисту трансформаторів від надструмів при зовнішніх коротких замиканнях встановлюється максимальний струмів захист із дією на відключення. Також в схему включають одне додаткове реле з дією на сигнал для захисту трансформаторів від перенавантажень.

Крім вказаних захистів на трансформаторах, що встановлюється в цехах, передбачається газовий захист. Цей захист реагує на всі види внутрішніх пошкоджень і діє на відключення.

### *II. Лінія зв'язку з енергосистемою.*

Від пошкоджень та ненормальних режимів роботи встановлюється наступні види релейного захисту:

1. Максимальний струмовий направлений захист із дією на відключення.
2. Частотний тривалий захист із дією на відключення.
3. Тривалий захист по напрузі із дією на відключення.

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

### III. Електродвигуни.

Від пошкоджень та ненормальних режимів роботи встановлюється наступні види релейного захисту:

1. Сумова відсічка із дією на відключення.
2. Захист від однофазних замикань на землю.
3. Захист від перенавантажень із дією на сигнал.
4. Захист від недопустимого зниження напруги.

Так, як захист обладнання цехових трансформаторних підстанцій передбачений схемами електричних з'єднань КТП, розглянемо релейний захист, встановлений на секції ТП1, до якої приєднана кабельна лінія зв'язку КЛ. Для захисту КЛ та ТП1 планується застосувати двоступінчастий струмовий захист - струмову відсічку без витримки часу в поєднанні з максимальним струмовим захистом з незалежною витримкою часу.

#### 11.1. Розрахунок струмової відсічки

В якості сприймаючого пристрою застосуємо реле струму Schneider Electric серії Easergy P3. Захист виконаний за двофазною дворелейною схемою зі з'єднанням трансформаторів струму та реле в неповну зірку.

Струм спрацювання миттєвої відсічки [1]:

$$I_{с.з.} = k_B \cdot I_{кз}^1 = 1,9 \cdot 573,6 = 1089 \text{ А.}$$

$$\text{де } I_{кз}^1 = I_{кз} \cdot \left( \frac{U_{НОМ.НН}}{U_{НОМ.ВН}} \right) = 14340 \cdot \frac{0,4}{10} = 573,6 \text{ А,}$$

де  $k_B = 1.9$  – коефіцієнт відстрочки реле типу Schneider Electric Easergy P3.

Струм спрацювання реле:

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сз} \cdot I_{с.з.}}{K_{тс}} = \frac{1 \cdot 1089}{400/5} = 13,61 \text{ А.}$$

де  $k_{сз} = 1$  - коефіцієнт само-запуску;

$I_{кмаx}$  - КЗ в одній із фаз при вимкненому секційному вимикачі;

$K_{тА}$  - коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

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

Коефіцієнт чутливості:

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3}/2 \cdot I_{\text{к}}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{0,87 \cdot 4650}{1089} = 3,714 > 2$$

### 11.2. Розрахунок максимального струмового захисту

Струм спрацювання МСЗ визначаємо за формулою:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{K_{\text{н}} \cdot K_{\text{сзп}}}{K_{\text{зв}}} \cdot I_{\text{ном}} = \frac{1,3 \cdot 1,5}{0,85} \cdot 192,45 = 441,5 \text{ А,}$$

де  $K_{\text{н}} = 1,3$  - коефіцієнт надійності;

$K_{\text{зв}} = 0,85$  - коефіцієнт звороту струмового реле,

$K_{\text{сз}} = 1,5$  - коефіцієнт само-запуску навантаження.

Струм спрацювання реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{K_{\text{сз}} \cdot I_{\text{с.з.}}}{K_{\text{тс}}} = \frac{1 \cdot 441,5}{400/5} = 6,3 \text{ А.}$$

Коефіцієнт чутливості:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^1}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{573,6}{441,5} = 1,29 < 2$$

Враховуючи, що струмова відсічка не задовольняє умови чутливості, застосовуємо максимальний струмовий захист з блокуванням за напругою із застосуванням реле напруги мінімальної дії.

### 11.3. Опис роботи релейного захисту

В аварійній ситуації, при спрацюванні МСЗ або струмової відсічки (спрацювання секційного вимикача), після витримки часу вмикається пристрій автоматичного повторного включення АПВ однократної дії. Витримка часу відстроюється для спрацювання приводу вимикача навантаження ВН кабельної лінії. При цьому передбачається блокування АПВ при ввімкненому ВН. Після успішного АПВ кабельна лінія від'єднується, а споживачі ТП продовжують отримувати живлення і подається сигнал про аварію на кабельній лінії. При аварії на шинах релейний захист спрацьовує повторно.

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

## 12. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

### Моделювання електроенергетичних мереж із застосуванням програмного забезпечення Siemens PSS SINCAL

#### 12.1. Теоретичне ознайомлення з PSS®SINCAL

Платформа для розрахунку мереж PSS®SINCAL (Siemens Network Calculation) розроблена для аналізу електричних і трубопровідних мереж, а також для візуалізації та оформлення результатів моделювання. Платформа - це фактично три розрахункові комплекси, які використовують одні й ті самі компоненти, що забезпечує однаковість інтерфейсів: SINCAL, NETOMAC і PDMS. Основним програмним забезпеченням для моделювання мереж є PSS®SINCAL. Додаток PSS®NETOMAC - це графічний інтерфейс користувача (ГПІ) для розрахунків динамічної стійкості системи, а PSS®PDMS - програма управління даними пристроїв захисту.

PSS®SINCAL розроблено для задоволення потреб як промислових, так і комунальних підприємств. Це програмне забезпечення широко використовується по всьому світу. Користувачами є муніципальні комунальні підприємства, розподільчі та мережеві компанії, промислові підприємства та електростанції, а також проектні інститути.

PSS®SINCAL - це високопродуктивний засіб планування і проектування мереж постачання для всіх основних видів інфраструктури: електро-, газо-, водопостачання та центральне опалення. Тому він чудово підходить для багатофункціональних компаній, які є постачальниками кількох видів комунальних послуг.

PSS®SINCAL забезпечує зручне та економічно ефективне планування для комплексу інфраструктурних мереж за рахунок синергетичного ефекту від використання одного користувацького інтерфейсу, систем обробки та обміну даними для різних видів інфраструктури.

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>			<b>Індивідуальне завдання</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Зінькевич П.О.</i>					68	86
Н. Контр.		<i>Ізволєнський І.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-38		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

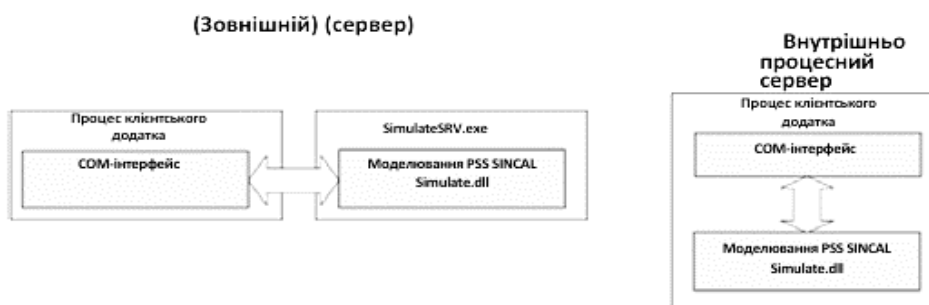
Протягом 50 років компанія "Сіменс" працює над оптимізацією PSS®SINCAL у тісній співпраці з користувачами продукту. "Сіменс" пишається тим, що є одним із провідних світових постачальників програмного забезпечення для розрахунку мереж. Компанія

"Сіменс" розпочала роботи з комп'ютерного аналізу мереж на центральних ЕОМ ще в 1960-х роках і швидко здобула визнання як лідер у моделюванні енергетичних систем.

Сьогодні PSS®SINCAL задає нові стандарти за рахунок унікального комплексу високоякісних і технічно досконалих функцій у поєднанні зі зручним інтерфейсом, який використовує всі переваги сучасних комп'ютерів.

PSS®SINCAL надає фахівцям з розрахунків мереж потужні інструменти для аналізу будь-якого стану мережі та з визначення її оптимальної структури. Платформа дає змогу аналізувати вплив комутаційних операцій, коливань навантаження та генерації, розраховувати різні сценарії розвитку мережі, а також оптимізувати структуру мережі залежно від рівня втрат і навантаження.

Важливою особливістю PSS®SINCAL є повна прозорість даних, яка досягається за рахунок зберігання всіх даних (вихідні дані, графіка мережі з географічним і схематичним зображенням, а також результати моделювання) у реляційній базі даних. Користувачі можуть використовувати, вводити і адмініструвати дані безпосередньо з PSS®SINCAL або з інших зовнішніх додатків. Це спрощує введення та адміністрування даних і знижує витрати на розробку інтерфейсів.



## 12.2. Побудова та параметризація моделі мережі

Створення моделі радіальної електричної мережі є базовим, але надзвичайно важливим етапом при проектуванні та аналізі енергетичних систем. У цьому процесі використовується програмне забезпечення PSS®SINCAL, яке містить широкий набір аналітичних модулів для вирішення задач розвитку, проектування й експлуатації енергетичних мереж. Сфера його застосування охоплює коротко- та довгострокове планування, аналіз пошкоджень, надійності, частотних характеристик, координацію релейного захисту, розрахунки статичної та динамічної стійкості, а також моделювання електромагнітних перехідних процесів (ЕМТ). На початку моделювання створюється новий проект, у якому обираються одиниці вимірювання — правильний вибір зменшує ризик похибок при введенні параметрів. Конфігурація мережі визначається як радіальна, що є типовим варіантом для мереж розподільчого рівня напругою 10 кВ.

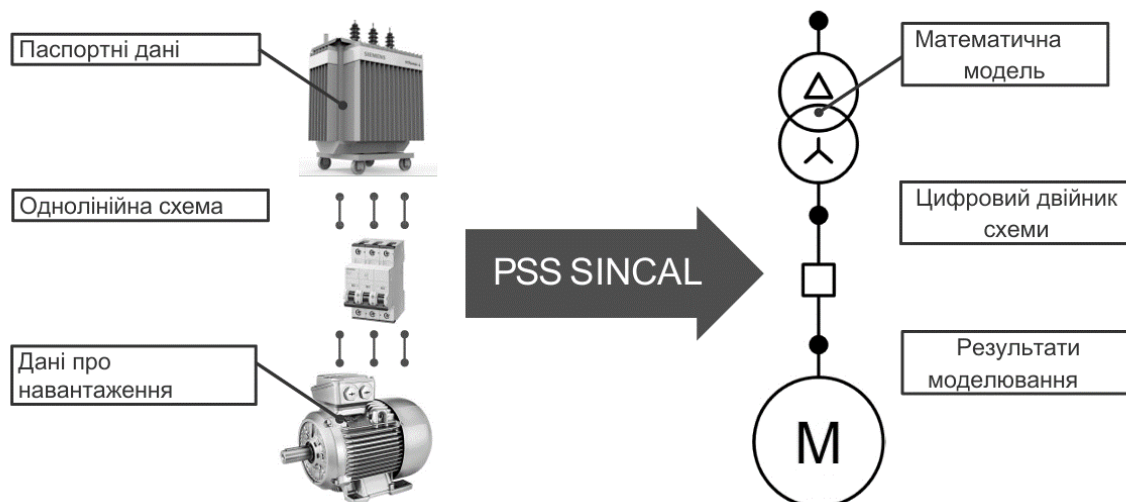
До мережі додаються два джерела живлення (балансуючі вузли) на стороні 110/10 кВ. Для кожного джерела задаються параметри: номінальна напруга, внутрішній опір, обмеження по потужності. Далі створюються три трансформатори типу Y/Δ потужністю 16 МВА із зазначенням активних і реактивних втрат, коефіцієнтів трансформації та струмів короткого замикання. Мережа включає лінії електропередач, що з'єднують усі елементи згідно зі схемою. Використовується типовий провід АПвП 3×150 мм<sup>2</sup>. Для кожної ЛЕП задаються довжина (від 5 до 20 км), питомий опір, індуктивність, ємність і температурний режим, який впливає на опір і втрати потужності.

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

Додаються п'ять вузлів навантаження, у кожному з яких задаються активна й реактивна потужність, cosφ, тип навантаження (постійне, змінне, динамічне) та профіль споживання. Для кращої імітації умов експлуатації рекомендується використовувати добові або сезонні графіки навантаження. Після розміщення всіх елементів виконується перевірка топології — вбудований алгоритм аналізує правильність з'єднань, наявність усіх елементів у мережі, підключення до джерел. У разі помилок система повідомляє про проблеми, наприклад, розімкнуті гілки або дублікати елементів. Це гарантує точність подальших розрахунків. Програма PSS®SINCAL дозволяє моделювати мережі будь-якого класу напруги — від низької до ультрависокої, як симетричні, так і несиметричні. Підтримуються чотирипровідні системи, транспоновані лінії, моделі з матрицею повної провідності. Вона також дає змогу моделювати сценарії розвитку мереж та оцінювати ефективність впровадження розумних технологій, включно зі зв'язком із розумними лічильниками. Крім проектування, програма ідеально підходить для тренінгу персоналу експлуатуючих організацій, зокрема завдяки модулям релейного захисту та розрахунку динамічної стійкості.

У середовищі PSS®SINCAL, окрім стандартних елементів електричної мережі, моделюються додаткові об'єкти, які забезпечують глибший аналіз режимів роботи системи. До таких елементів належать комутаційні апарати — вимикачі, роз'єднувачі, запобіжники, автоматичні вимикачі — кожен з яких має свої електричні характеристики, включаючи граничний струм, час відключення та логіку спрацювання. Їх використання дозволяє досліджувати поведінку мережі під час перемикань, аварій та дій релейного захисту. Це важливо для побудови селективних схем і оцінки часу ліквідації аварій.

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



Велике значення має правильне моделювання заземлення. У PSS®SINCAL можна реалізувати різні варіанти підключення нейтралі — від ізолюваної до жорстко заземленої, через опір або реактивність. Це критично для аналізу несиметричних режимів, а також для точного розрахунку струмів замикання на землю та захисних функцій автоматики. Зокрема, моделювання дугогасильних реакторів або компенсуючих пристроїв дозволяє враховувати складні процеси, які відбуваються в реальних мережах.

Можливість моделювання аварійних і несиметричних режимів охоплює розрахунки одно-, дво- та трифазних коротких замикань, замикань на землю, а також асиметрію навантаження. Програма враховує фазні зсуви у трансформаторах, несиметричні параметри ліній і різні варіанти топології. Це дає змогу інженерам створювати максимально точну картину функціонування мережі в критичних умовах, оцінюючи надійність і стабільність роботи обладнання.

PSS®SINCAL підтримує врахування кліматичних умов, таких як температура навколишнього середовища, швидкість вітру, вологість, що особливо важливо при моделюванні ліній електропередач і обладнання, розміщеного на відкритому повітрі. Такі параметри впливають на електричний опір провідників, допустимі струми та втрати. У випадку з відновлюваними джерелами енергії (наприклад, сонячними або вітровими електростанціями), враховуються погодозалежні профілі генерації, що особливо важливо при

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 12.3. Розрахунок режиму роботи та аналіз результатів

Після завершення побудови мережі наступним кроком є розрахунок усталеного режиму. Для цього використовується модуль Load Flow, який дозволяє визначити, як розподіляється потужність у мережі, які рівні напруг у вузлах, де виникають втрати. Метод Ньютона-Рафсона, реалізований у програмі, є ефективним при розрахунках навіть великих та складних схем. Його використання дозволяє точно враховувати взаємодію між вузлами, лініями, навантаженнями та джерелами. У розрахунок включаються всі параметри елементів, які були введені на попередньому етапі: опори ліній, коефіцієнти трансформації, внутрішній опір джерел. У результаті розрахунку отримується велика кількість даних, які слід проаналізувати. В першу чергу, аналізуються відхилення напруг у вузлах: якщо напруга падає нижче 95% від номінального значення, це є ознакою перевантаження або великої довжини кабельної лінії. Також звертається увага на перевантаження трансформаторів (>90%) і надмірні втрати активної та реактивної потужності. У моделі було виявлено, що деякі вузли мають напругу 9.3–9.4 кВ при номінальних 10 кВ, що потребує втручання. Один із трансформаторів працює на межі допустимого навантаження. Загальні втрати перевищують 3% встановленої потужності, що є критичним показником для ефективної роботи мережі.

Після аналізу виконується оптимізація: встановлення компенсаційних пристроїв у вузлах з найнижчими напругами, зміна коефіцієнтів трансформації, підвищення рівня вхідної напруги. Повторний розрахунок показує покращення показників: зменшення втрат, стабілізація напруги, зниження навантаження на трансформатори. У процесі розрахунку усталеного режиму модуль Load Flow дозволяє не лише побачити миттєвий розподіл потужностей, але й виявити приховані проблеми структури мережі. Окрім методу Ньютона-Рафсона, який є основним для нелінійних систем рівнянь, у PSS@SINCAL також доступні інші чисельні методи (наприклад, метод прямого спрощеного розрахунку), що можуть бути ефективними для окремих типів схем або при попередньому оцінюванні.

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

Доступ до вибору алгоритму дає змогу інженеру балансувати між швидкістю обчислення та точністю, що особливо актуально для моделей з великою кількістю вузлів.

У процесі аналізу результатів моделювання розглядаються реактивні потоки у мережі, які часто ігноруються, але мають критичний вплив на стійкість та втрати. Особливу увагу звертають на вузли з підвищеним споживанням реактивної потужності або наявністю генерації, що спричиняє перекося напруги. Часто виявляється, що частина втрат пов'язана не лише з довжиною ліній, а з недостатньою компенсацією реактивних навантажень або недосконалим регулюванням трансформаторів. Програма надає можливість детального аналізу кутових зсувів між вузлами, що є показником взаємодії між джерелами та навантаженнями. Значні зсуви (понад  $10\text{--}15^\circ$ ) можуть бути ознакою нестабільної конфігурації або порушення режиму паралельної роботи джерел живлення. Також розглядаються струми у лініях — як фактичні, так і у відсотках до допустимих значень, що дозволяє оперативно виявити потенційні перевантаження ще до їхнього виникнення.

У випадку виявлення вузлів із низькою напругою (нижче 95% від номіналу), програма дозволяє ввести варіанти регулювання — зміни коефіцієнта трансформації, встановлення ШАП (шунтуючих реакторів) або БСК (батарей статичної компенсації). Також можливе моделювання автоматичного регулювання напруги на трансформаторах із РПН (регулювання під навантаженням). Додатково проводиться оцінка коефіцієнта використання трансформаторів та джерел живлення. Якщо він перевищує 90–95%, це вказує на необхідність модернізації або включення резервних трансформаторів у паралельну роботу. У нашому прикладі один із трансформаторів працював при 98% завантаження, що значно скорочує його ресурс та підвищує ризик перегріву.

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні втрати в мережі аналізуються не лише як відсоток встановленої потужності, а й у фінансовому еквіваленті, що дозволяє обґрунтувати потребу в інвестиціях у модернізацію. Втрати понад 3% для мережі середньої напруги вважаються високими і можуть бути критичними у конкурентному енергетичному середовищі. Після аналізу в моделі реалізується оптимізація: проводиться підбір місць для встановлення компенсаційних пристроїв у вузлах з найнижчими напругами, коригуються коефіцієнти трансформації, здійснюється балансування навантажень між трансформаторами. Іноді доцільним є перемикання конфігурації мережі, що дозволяє скоротити довжину навантажених ліній та уникнути втрат.

Повторний розрахунок усталеного режиму після впровадження цих змін показує покращення: стабілізацію напруг у межах 97–100% від номіналу, зниження втрат до 1,8–2,2% від загальної потужності, рівномірніше навантаження трансформаторів (нижче 85%). Це підтверджує ефективність обраних рішень та дозволяє перейти до наступних етапів моделювання — короткочасних перехідних процесів, перевірки релейного захисту або динамічної стійкості.

### **Висновок:**

Моделювання електричних мереж у середовищі PSS®SINCAL є ефективним інструментом для інженерів, проєктантів і експлуатаційних служб. Програма дозволяє створювати точні цифрові моделі енергомереж будь-якого класу напруги — від локальних ділянок до міжсистемних структур. На етапі побудови моделі враховуються джерела живлення, трансформатори, лінії, навантаження, типи споживання та добові графіки, що забезпечує гнучкість аналізу як у поточному, так і в перспективному плануванні.

Особливе значення має модуль Load Flow, що дає змогу розрахувати усталений режим, визначити відхилення напруг, перевантаження та втрати потужності. Після виявлення проблемних зон можливе внесення змін до конфігурації мережі, коефіцієнтів трансформації чи введення компенсуючих пристроїв.

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

Повторний розрахунок демонструє покращення енергетичних показників — стабілізацію напруг, зменшення втрат і розвантаження трансформаторів. Серед додаткових можливостей PSS®SINCAL — аналіз коротких замикань, стійкості, аварійних режимів, погодозалежної генерації, взаємодія з системами обліку та управління. Це робить платформу не лише розрахунковим середовищем, а й інтегрованим цифровим інструментом, що охоплює весь життєвий цикл мережі — від проектування до експлуатації.

Завдяки візуалізації, автоматичним звітам і підтримці сучасних форматів обміну, система є основою для реалізації концепцій Smart Grid, цифрової трансформації та гнучкого управління енергетикою.

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

## 13. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 13.1 Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання

У межах проекту системи електропостачання мідного заводу передбачено застосування розподільчого пристрою (РП) з напругою 10 кВ, живлення якого здійснюється від підстанції з первинною напругою 110 кВ. Потужність енергосистеми становить 1000 МВА, реактивний опір системи на стороні 110 кВ — 0,5 Ом. Відстань до заводу — 10 км. Це потребує особливої уваги до технічних і організаційних рішень щодо розміщення електротехнічного обладнання з огляду на специфіку хімічного виробництва.

Мідний завод характеризується агресивним середовищем, у якому висока вологість, наявність пилу і хімічно активних парів вимагають встановлення обладнання в ізольованих приміщеннях або в окремо розміщених будівлях. Розподільчий пристрій рекомендовано встановлювати у спеціалізованому енергетичному корпусі, обладнаному припливно-витяжною вентиляцією з фільтрами, системою дренажу, освітленням та пожежогасінням. Важливо також забезпечити наявність аварійного освітлення і джерел безперебійного живлення для гарантування безпеки роботи в екстрених умовах. Кліматичне виконання обладнання має відповідати категорії У1. Обладнання повинно бути захищене від впливу вологи, пилу та корозії, з класом захисту не нижче IP54. Поверхня повинна бути оброблена антикорозійним покриттям. Приміщення повинні мати підлогу з діелектричним покриттям та вентиляційні отвори, які не допускають потрапляння хімічно активного пилу в систему вентиляції. Розміщення обладнання повинно забезпечувати вільний доступ до всіх компонентів для обслуговування, ремонту і евакуації в разі надзвичайної ситуації.

					<b>ДП 2025 141</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Охорона праці</b>		
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>					
Перевірив		<i>Зінькевич П.О.</i>				78	86
Н. Контр.		<i>Изволеньський І.</i>			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-3 78		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>					

Фундамент під РП має бути виготовлений із залізобетону, який витримує вібрації та навантаження від важкого обладнання. Усі металеві конструкції, що є елементами каркасу або підтримки обладнання, повинні бути заземлені відповідно до вимог нормативних документів. Допустимий опір заземлення не повинен перевищувати встановлені норми (до 4 Ом). Система заземлення повинна бути замкнутою, мати горизонтальні та вертикальні електроди з обов'язковою перевіркою цілісності ланцюгів. Персонал, що обслуговує РП, повинен мати відповідну кваліфікацію: електротехнічний персонал — не нижче III групи з електробезпеки; оперативний — не нижче IV групи. Всі працівники проходять обов'язкові інструктажі, навчання та перевірку знань не рідше одного разу на рік. Нові працівники проходять стажування та медичний огляд. Стажування триває від 14 днів до місяця, залежно від складності виконуваних робіт і наявності попереднього досвіду. У разі роботи в умовах високої небезпеки стажування повинно проходити під наглядом працівника з досвідом не менше трьох років. Особливу увагу слід приділити безпеці під час монтажу, експлуатації та ремонту обладнання. Монтаж повинен виконуватись сертифікованими організаціями з допуском до роботи в електроустановках до і понад 1000 В. Під час експлуатації необхідно дотримуватись режимів навантаження, своєчасно проводити огляди, діагностику та профілактичне обслуговування. Під час аварійних ситуацій передбачено спеціальні алгоритми дій, сигналізацію та автоматичне відключення. Обов'язковою є наявність планів евакуації, інформаційних схем і кольорового маркування кабельних трас та елементів обладнання.

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

Усі роботи, пов'язані з обслуговуванням електроустановок, мають виконуватись відповідно до «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів» та інших чинних нормативних актів. Особи, які виконують роботи у вибухонебезпечних зонах або на висоті, повинні мати додаткову підготовку. Всі ремонтні роботи мають супроводжуватись оформленням нарядів-допусків, проведенням повторних інструктажів і контролем з боку відповідальної особи. Враховуючи небезпеку ураження електричним струмом, необхідно створити систему технічного контролю та управління допуском. Це включає автоматизовані системи фіксації доступу, відеоспостереження, ведення журналів та обов'язкове надання нарядів-допусків на виконання робіт. Крім того, на території енергооб'єкта має бути розміщено комплект засобів першої допомоги, а також інструкції щодо надання домедичної допомоги при електротравмах. Встановлення аварійних кнопок відключення, попереджувальних табличок і світлових сигналів є обов'язковими заходами безпеки.

### **13.2 Організаційні та технічні заходи з охорони праці**

Організаційні заходи на мідному заводі охоплюють усю структуру управління безпекою — від адміністрації до кожного робітника. Для створення безпечних умов праці необхідно реалізувати інтегровану систему охорони праці, яка охоплює наступні компоненти: аналіз небезпек, планування та впровадження заходів, контроль і вдосконалення системи. Важливо, щоб кожен структурний підрозділ підприємства мав визначеного відповідального за дотримання вимог охорони праці. Основу охорони праці становить створення безпечного середовища в енергооб'єктах. Для цього використовуються такі методи: ізоляція небезпечних ділянок, автоматизація, дистанційне керування, впровадження ергономічних робочих місць, розробка інструкцій з охорони праці. Специфікою мідного заводу є необхідність працювати в умовах високої температури, шуму та запиленості, що накладає додаткові вимоги до вентиляції, захисту органів слуху та зору.

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обладнання має бути встановлене з урахуванням мінімізації шкідливих впливів, а конструкції — забезпечувати ефективне відведення тепла. Колективні засоби захисту — це вентиляційні системи, автоматичне блокування аварійних режимів, системи пожежогасіння, захисні бар'єри. Індивідуальні засоби захисту включають каски, спецодяг з антистатичним захистом, респіратори, окуляри, діелектричні засоби (рукавиці, калоші, інструмент). Всі ЗІЗ повинні бути персоналізовані і мати маркування дати видачі та терміну придатності.

Усі засоби індивідуального захисту повинні відповідати державним стандартам і проходити періодичні перевірки. Працівники повинні знати правила зберігання та догляду за ЗІЗ. Діелектричні рукавиці, калоші, килимки, інструмент мають проходити випробування не рідше одного разу на 6 або 12 місяців. Індикатори напруги, покажчики фази також мають бути перевірені згідно з графіком. Всі протоколи випробувань повинні зберігатись у відповідному журналі та бути доступними для перевірки. Крім технічного забезпечення, важливою є психофізіологічна складова. Робота в умовах впливу шуму, хімічних речовин і високих температур вимагає організації чергувань, відпочинку та змінного графіка. Працівники повинні проходити регулярні медичні огляди. Особлива увага — новим співробітникам, які проходять стажування з наставником. Створення зон психологічного розвантаження та можливість змінити робоче середовище позитивно впливають на загальний рівень безпеки. На мідному заводі передбачається постійна наявність аварійних планів дій, інструкцій при короткому замиканні, вибуху або пожежі. Також розміщуються інформаційні табло з алгоритмами дій. Важливим є створення культури безпеки — інформування працівників, участь у тренуваннях, опитуваннях, конкурсах з безпеки праці. Активна участь персоналу у виявленні ризиків та пропозиціях щодо їх усунення суттєво підвищує ефективність системи охорони праці. В усіх електроустановках застосовується система багаторівневого захисту: перший рівень — запобігання доступу до струмовідних частин; другий — застосування ЗІЗ; третій — підготовка персоналу; четвертий

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

— системи аварійного реагування. Кожен рівень підкріплюється інструкціями, схемами, нормативами.

Необхідно забезпечити зворотний зв'язок від працівників та постійно вдосконалювати існуючі заходи на основі аналізу інцидентів. Особливістю мідного виробництва є також небезпека коротких замикань та дугових пробоїв. Для цього використовуються сучасні вимикачі навантаження, вакуумні вимикачі, системи релейного захисту з дистанційною діагностикою. Усі роботи, пов'язані з переключенням в розподільчому пристрої, мають виконуватись за нарядам-допуском і тільки у присутності відповідальної особи. Під час усіх операцій повинна застосовуватись система дублювання дій, яка передбачає подвійний контроль операцій з метою зниження ймовірності помилок людини. Таким чином, реалізація організаційних та технічних заходів на мідному заводі повинна базуватись на комплексному підході, де кожен етап робіт супроводжується попереднім аналізом, належною підготовкою та постійним моніторингом безпеки.

### 13.3 Практичний розрахунок

Задачі передбачає розробку блискавкозахисту для прямокутної промислової будівлі. Відомо, що розміри будівлі становлять 65 метрів у довжину, 20 метрів у ширину та 10 метрів у висоту. За класифікацією пожежо- та вибухонебезпечності об'єкт належить до категорії П-Па, що означає наявність горючих рідин з температурою спалаху понад 61 °С, які можуть випаровуватися і створювати горючі пари. Таким чином, будівля вимагає обов'язкового захисту від прямого удару блискавки. Кліматична зона, у якій розташований об'єкт, має середню грозову активність понад 20 годин на рік. Це свідчить про підвищену ймовірність ураження блискавкою. За вимогами нормативних документів (ПУЕ, ДСТУ EN 62305-1:2012), для такого об'єкта призначається блискавкозахист III категорії.

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

Згідно з умовами задачі, захист необхідно реалізувати за допомогою подвійного тросового блискавковідводу, що розміщується вздовж будівлі на опорах. Зважаючи на розміри будівлі та тип захисту, доцільно встановити два паралельні троси вздовж довших сторін будівлі. Висоту тросів над рівнем землі приймаємо 18 метрів (тобто на 8 метрів вище від даху), що відповідає практиці для забезпечення надійної зони захисту.

Відстань між тросами вибирається 10 метрів, що дозволяє забезпечити перекриття зон захисту на даху шириною 20 метрів.

Розрахунок зони захисту ведеться згідно з методикою для тросових блискавковідводів III категорії. Використовується емпірична формула:

$$R = 0.85 \cdot (H_{\text{тр}} - H_{\text{буд}})$$

Де:

- $H_{\text{тр}} = 18$  м – висота троса,
- $H_{\text{буд}} = 10$  м – висота будівлі

Отже:

$$R = 0.85 \cdot (18 - 10) = 6.8 \text{ м}$$

Це означає, що кожен трос формує зону захисту шириною 6.8 м на рівні покрівлі. При двох тросах, рознесених на 10 м, зони перекриваються, формуючи повну зону захисту по ширині будівлі. У реальних умовах, щоб підвищити надійність, троси можна змонтувати трохи ближче до країв або використати додаткові струмовідводи з хорошим заземленням. Це дозволить стабільно витримувати будь-які атмосферні умови, характерні для регіону з високою грозовою активністю.

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

Для реалізації блискавкозахисту застосовуються наступні матеріали:

- Троси: сталеві оцинковані  $\varnothing \geq 8$  мм.
- Струмовідводи: сталеві або мідні, переріз не менше 50 мм<sup>2</sup>.
- Заземлювач: контурне заземлення зі смуги 30×4 мм або прутка  $\varnothing 10$  мм.

Необхідний опір заземлення —  $\leq 10$  Ом для III категорії.

Струмовідводи встановлюються в кількості не менше 2 на кожен трос, тобто загалом 4.

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

## ВИСНОВКИ

У даному дипломному проекті був зроблений розрахунок електропостачання мідного заводу та були вивчені основні методики розрахунків і вибору електрообладнання. На підставі отриманих розрахункових значень потужності заводу і додаткового навантаження було обрано для головної понижувальної підстанції трансформатор ТДН-10000/110, також розроблена схема головної підстанції підприємства і обрані лінії електропередач, які були електричною частиною проекту електропостачання. Побудували картограму навантаження і визначили точку центру електричних навантажень. Здійснили вибір внутрішньозаводської мережі та схеми внутрішнього електропостачання. На підставі значень розрахункових потужностей і струмів були обрані типи і марки електроустаткування, необхідні для системи електропостачання. Живильні кабелі та проводи були перевірені на відповідність тривало допустимих струмів, а захисна апаратура – запобіжники і автомати – були обрані за номінальним значенням струмів і за значеннями пускових струмів. Був проведений розрахунок короткого замикання, що дозволило перевірити обрану апаратуру на динамічну стійкість.

У спеціальній частині дипломного проекту (спецзавданні) було виконано моделювання електроенергетичних мереж із застосуванням програмного забезпечення Siemens PSS SINCAL. У процесі моделювання проведено розрахунок режимів роботи мережі, зокрема компенсації реактивної потужності, що дало змогу оптимізувати параметри мережі, зменшити втрати електроенергії та підвищити ефективність функціонування електроустановок.

Також, було розглянуто можливі аварійні ситуації та засоби техніки безпеки і захисту обслуговуючого персоналу.

					<b>ДП 2025 141</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Висновки</b>					
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Зінькевич П.О.</i>							85	86
Н. Контр.		<i>Ізволеньський І.</i>						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-85		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>								

## Список використаної літератури

1. О. М. Сірий, В. Є. Шестеренко. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств. - К.: ІСДО, 1993. - 592 с.
2. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. - Вінниця : Нова Книга, 2004. – 656 с.
3. Благой В. С. Струми коротких замикань: Навч. посібник. - К.: ІДСО, 1994.- 236 с.
4. Охорона праці в галузі: Методичні вказівки до виконання. Розрахунково-граф. Роботи “Розрахунок заземлювального контуру ” для студ. 7.090603 “Електротехнічні системи електроспоживання” напряму 0906 “Електротехніка ” денної та заоч. форм навчання /Уклад.: В. М. Фалес, Є.С. Богданов, А.М. Литвиненко. – К: НУХТ, 2003.
5. Цивільна оборона. Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проекту для усіх спеціальностей денної та заочної форми навчання / укл. М.М. Яцюк К.: УДУХТ 1998 - 12 с.
6. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.  
нязевського – М.: Енергоатоміздат, 1983. – 336 с.

					<b>ДП 2025 141</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Список використаної літератури</b>					
Розробив		<i>Волочай О.О.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Зінкевич П.О.</i>							86	86
Н. Контр.		<i>Ізволенький І.</i>						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ-4-86		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								