

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

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

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

**«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_  
(підпис)                      Сергій БЛАЖЕНКО  
(ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_  
(підпис)                      Сергій БАЛЮТА  
(ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

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

**«Розробка системи електропостачання заводу по ремонту важкої техніки  
м. Щепетівка. Використання фільтро-компенсуючих пристроїв».**

Виконав: здобувач\_3\_ курсу, групи ЗЕЛ5-3

\_ Балдін Микола Миколайович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ ст викладач Ізволєнський І.Є.  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_ доцент Сірик А.О \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ Грищенко А.Г. \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

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

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2025 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. Гулого І.С.

Кафедра \_\_\_\_\_ Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь \_\_\_\_\_ Бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Електротехніка та інформаційні технології»  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач

кафедри \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Балдіна Миколи Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ «Розробка системи електропостачання заводу по ремонту важкої техніки м. Щепетівка. Використання фільтро-компенсуючих пристроїв».

Керівник роботи \_\_\_\_\_ ст викладач Ізволенький І.Є. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “10”\_10.\_2024\_року № 861 кс.

2. Строк подання здобувачем роботи 25 січня 2025 року \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_ генеральний план підприємства, перелік споживачів та їх потужність, план розвитку підприємства.

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

Вибір силових трансформаторів цеху.  
Вибір кількості і потужності силових пунктів. Розрахунок перерізу кабелів.  
Вибір автоматичних вимикачів. Розрахунок струмів КЗ. Вибір вимірювальних трансформаторів, Розгляд питань з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу .

1. Генеральний план підприємства \_\_\_\_\_

2. Схема електропостачання цеху. \_\_\_\_\_

3. Схема освітлення цеху. \_\_\_\_\_

4. Спецпитання. \_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 15 жовтня 2024 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дипломний проект	10.10.2024р	
2	Вступ	13.11.2024р	
3	Коротка характеристика електроприймачів цеху	18.11.2024р	
4	Розрахунок ел. навантажень цехових електроприймачів	23.11.2024р	
5	Побудова графіків електричних навантажень цеху	28.11.2024р	
6	Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання цеху	05.12.2024р	
7	Розрахунок навантажень підприємства	10.12.2024р	
8	Вибір кількості, потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій	15.12.2024р	
9	Розрахунок силової мережі цеху	20.12.2024р	
10	Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного та низьковольтного ел. обладнання	25.12.2024р	
11	Релейний захист (РЗА)	02.01.2025р	
12	Розрахунок освітлення складу ГСМ	06.01.2025р	
13	Вибір вимірювальних трансформаторів	10.01.2025р	
14	Спецпитання. Застосування фільтрів вищих гармонік.	14.01.2025р	
15	Охорона праці	17.01.2025р	
16	Список літератури	20.01.2025р	
17	Здача дипломного проекту на перевірку	25.01.2025р	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Балдін М. М.**

(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Ізволєнський І.Є.**

(прізвище та ініціали)

## Анотація

Балдін Микола Миколайович Дипломний проект на тему :  
«Розробка системи електропостачання заводу по ремонту важкої техніки  
м. Щепетівка. Використання фільтро-компенсуючих пристроїв»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ -2022  
141. «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 16 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проекту становить 120 сторінок .

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень : генеральний план підприємства, схема внутрішнього електропостачання, схема освітлення цеху, однолінійна схема електропостачання.

У проекті розглянуто характеристики цехів, що обслуговують підприємство, надано опис технологічного процесу. Виконано розрахунок силових навантажень і зроблено аналіз характеру електричних потужностей підприємства.

Виконано розрахунок електричних навантажень в мережах до 1000 В і вище 1000В. Для компенсації реактивної потужності розраховували потужність регульованої конденсаторної установки. Зроблено розрахунок струмів коротких замикань, що виконується для перевірки і обрання захисно-комутаційного обладнання та кабельно-провідникової продукції. Зроблено розрахунки для вибору і перевірки роз'єднувачів. Виконано розрахунок робочого освітлення.

У розділі охорона праці обґрунтували рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання та розписали організаційні та технічні заходи з охорони праці.

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

## Abstract

Baldin Mykolai Mykolaiovych. Diploma project on the topic:  
"Development of a power supply system for the plant for the repair of  
heavy equipment in Shchepetivka. Use of filter-compensating devices"

National University of Food Technologies, Kyiv -2022

141. "Electric power, electrical engineering and electromechanics"

The attached explanatory note consists of an introduction, 16 chapters and a list of references. The volume of the project is 120 pages.

The description is accompanied by a graphic part, which consists of four drawings: the general plan of the enterprise, the scheme of internal power supply, the lighting scheme of the workshop, a single-line power supply scheme.

The project considers the characteristics of the workshops serving the enterprise, provides a description of the technological process. The calculation of power loads was carried out and the analysis of the nature of the electrical capacities of the enterprise was made.

The calculation of electrical loads in networks up to 1000 V and above 1000 V was performed. To compensate for the reactive power, the power of the adjustable capacitor unit was calculated. The calculation of short-circuit currents is made, which is performed for checking and selecting protective and switching equipment and cable and wire products. Calculations have been made to select and check disconnectors. The calculation of working lighting has been performed.

In the section on labor protection, the decision on the placement of electrical equipment was substantiated and organizational and technical measures for labor protection were described.

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

## Зміст

Вступ. ....	8
1. Характеристика підприємства та його основних об'єктів. ....	11
1.1. Ковальсько-пресовий цех № 1. ....	11
1.2. Ковальсько-пресовий цех № 2. ....	12
1.3. Обдирково-термічний корпус. ....	13
1.4. Корпус зварювальних заготовок. ....	14
1.5. Корпус допоміжних цехів. ....	15
1.6. Ремонтно-заготівельна база. ....	16
2. Розрахунок електричних навантажень підприємства. ....	17
2.1. Визначення розрахункового навантаження для ТП 38-1. ....	21
2.2. Визначення розрахункового навантаження для ковальсько-пресового цеха №2. ....	22
2.3. Розрахункове навантаження всього підприємства. ....	24
3. Побудова картограми навантажень і визначення центру електричних навантажень (ЦЕН). ....	25
4. Визначення розрахункової потужності на рівні ГПП. ....	28
5. Вибір системи напруг мережі живлення підприємства. ....	29
5.1. Вибір мережі живлення підприємства. ....	29
5.2. Вибір напруги розподільчої мережі підприємства. ....	29
6. Вибір схеми електропостачання цехів. ....	30
7. Вибір числа та потужності цехових ТП. ....	31
8. Техніко-економічний розрахунок. ....	34
8.1. Вибір напруги мережі живлення. ....	34
8.2. Вибір трансформаторів на ГПП. ....	35

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Зміст</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
		Розробив	<i>Балдін М.М.</i>					
		Перевірив	<i>Ізволеньський</i>				6	
		Н. Контр.	<i>Ізволеньський</i>			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
		Затвердив	<i>Балюта С.М</i>					

9.	Розрахунок мережі електропостачання. ....	38
9.1.	Визначення струмів нормального та максимального режимів..	39
9.2.	Вибір перетину струмоведучих елементів. ....	47
10.	Розрахунок струмів короткого замикання. ....	59
10.1.	Розрахунок струмів короткого замикання на шинах ГПП . ....	62
10.1.2.	Коротке замикання в точці К2 на підходящих лініях від ГПГВ	
10.1.3.	Коротке замикання в точці К3 на ТП ВН. ....	68
10.1.4.	Коротке замикання в точці К4 на ТП НН . ....	70
11.	Освітлення складу ГСМ. ....	73
12.	Вибір високовольтного обладнання. ....	76
12.1.	Вибір вимикачів. ....	77
12.2.	Вибір роз'єднувачів. ....	83
12.3.	Вибір трансформаторів струму. . ....	85
12.4.	Вибір трансформаторів напруги. . ....	88
13.	Релейний захист. ....	90
14.	Компенсація реактивної потужності. . ....	93
15.	Фільтри вищих гармонік. ....	96
16.	Охорона праці. ....	113
	Список використаної літератури. ....	121

## ВСТУП

Електроенергетика - основа розвитку економіки, вона є складовою частиною паливно-енергетичного комплексу України.

У господарському комплексі України електроенергетика відіграє дуже важливу роль. Близько половини всього первинного палива (вугілля, нафта, газ, уран), що його має чи одержує з інших держав Україна, а також енергія окремих річок використовується для виробництва електроенергії та теплоенергії. Електроенергетика - одна з найдавніших галузей народного господарства України. Вона забезпечує всебічний науково-технічний прогрес у всіх без винятку виробництвах, поліпшує умови праці і побуту.

Розвиток електроенергетики, будівництво потужних електростанцій сприяють створенню нових промислових вузлів. Окремі галузі промисловості територіально наближені до джерел дешевої електроенергії.

Електроенергію в Україні виробляють теплові (ТЕС), гідравлічні (ГЕС), гідроаккумулятивні (ГАЕС) та атомні (АЕС) станції. У перспективі набуде поширення використання екологічно чистої енергії Сонця і вітру. Потужність електростанцій України - 54,0 млн кВт.

Енергетика впливає на прискорення прогресу в промисловому виробництві, в аграрній сфері.

Система електропостачання забезпечує електроенергією промислові споживачі, основними з яких є електроприводи різних машин і механізмів, електроосвітлення, електронагрівальні прилади.

Робота промислових електроприводів та інших споживачів, як при

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Вступ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>						
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>					8	
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

проектуванні, так і під час експлуатації, повинна знаходитись в точній відповідності з окремими приймачами так і з комплексом електроприводів, забезпечуючи роботу складання механізмів.

Вплив системи електропостачання на виробничий процес визначається показниками системи промислового електропостачання і електроприладів, які забезпечують нормальний режим роботи всього промислового підприємства.

Структура і об'єм споживання електроенергії залежить від специфікації галузі промисловості, визначаючи шляхи ефективного використання електроенергії і впровадження прогресивних технологій.

Основні проблеми в галузі електропостачання промислових підприємств наступні:

- Раціональна побудова системи електропостачання промислових підприємств;
- Питання компенсації реактивної потужності в системах електропостачання;
- Застосування змінного, постійного струму для релейного захисту та автоматики;
- Правильне визначення очікуваних електричних навантажень;
- Комплексне виконання цехових та загальномісцевих систем живлення та конструкцій підстанції.

Незадовільний фінансовий стан підприємств є сьогодні основним фактором, що заважає стабілізації роботи галузі. Галузь на сьогоднішній день неспроможна самостійно вийти з кризового стану. З цією метою слід ініціювати заходи по формуванню такої політики в податковій, бюджетній, фінансово-кредитній, антимонопольній, амортизаційній сферах, яка б забезпечила прискорений розвиток електроенергетичної галузі.

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

Здійснення реформ в електроенергетиці слід розпочинати лише тоді, коли є впевненість у тому, що нова система взаємин дозволить досягти значних переваг, порівняно з наявною.

Реформи в електроенергетиці — складний і надзвичайно делікатний процес, який потребує уважного, кваліфікованого підходу, великих фінансових та інтелектуальних вкладень протягом усього періоду реформування.

Електроенергетика — інфраструктурна галузь, і від того, як вона функціонуватиме, залежать не лише економічні показники, від цього залежить життя і здоров'я населення країни, можливості суспільства нормально жити та працювати.

Останнім часом зроблено досить багато для реформування галузі електроенергетики. Деякі заходи вже дали свої результати, а деякі - ще ні. Тому перед державою стоїть ще ціла низка проблем, які вона має вирішувати як самостійно, так і з залученням неурядових організацій.

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

## 1. Характеристика підприємства та його основних об'єктів.

### 1.1. Ковальсько-пресовий цех № 1

У ковальсько-пресовому цеху № 1 виконується кування різного призначення злитків, відлитих у плавильному корпусі. Найбільша вага заготовок - 220 т. Для кування заготовок у цеху встановлено два гідравлічні кувальних чотириколонних преса: зусиллям 15000 тис. тонно сил і зусиллям 6000 тис. тонно сил. Для подачі енергоносія до пресів служить насосно-акумуляторна станція. Цех оснащений відповідним підйомно-транспортним устаткуванням (крани змінного й постійного струму вантажопідйомністю до 500 т), полум'яними нагрівальними й термічними печами з висувним подом для нагрівання й термообробки заготовок.

У проекті передбачено встаткування 4-х трансформаторних підстанцій кожна 2 XI600 кВа - 2 на вентстанціях і 2 на ковальсько-кувальних комплексах. Відповідно до вказівок технологів і, враховуючи, що всі термічні печі є газовими й проектована вентиляція в цеху забезпечує повний відвід виділень із печі й виникаючої в процесі роботи пилу — середовище приміщень приймається нормальної. Режим роботи цеху - 3 зміни при безперервному робочому тижні. За надійності електропостачання споживачі електроенергії в основному відносяться до 2-ї категорії надійності. Усі споживачі розраховані на живлення від мережі змінного струму - 380 В.

Кувальні крани, установлені в цеху, обладнані електродвигунами постійного струму на напрузі 220 В. Сумарна встановлена потужність електроприймачів у цеху - 13780 кВт. Розрахункове навантаження 4250 кВт. Основні групи споживачів електроенергії:

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Характеристика підприємства</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>						
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>					11	
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>						

- а) механізми викочування подів печей і підйому заслінок;
- б) вентсистеми для газових печей;
- в) насоси до преса 2150 тис;
- г) підйомно -транспортне устаткування.

У відокремленій насосно-акумуляторній станції, що обслуговує преса 15000 тис і 6000 тис. тонно сил, встановлено 32 насосних агрегати з електродвигунами

500 кВт на напрузі 6 кВ. Встановлено потужність 16000 кВт, розрахункова потужність 12750 кВт.

## 1.2. Ковальсько-пресовий цех № 2

Ковальсько-пресовий цех №2 призначений для виготовлення спеціальних труб і різних кувань до 30 т. У цеху передбачається два ковальсько-кувальні комплекси. Перший комплекс - прес-маніпулятор 2500 тис. До складу даного коьплексу входять гідравлічний прес зусиллям 2500 тис, два маніпулятора по 30 тис і система автоматичного керування кувального комплексу із застосуванням ЕОМ.

Другий кувальний комплекс призначений для протягування спеціальних труб. Комплекс складається із преса зусиллям 45 тис. тонно сил, маніпуляторів і інших допоміжних механізмів, насосно-акумуляторної станції, у якій установлюється 10 насосів з електродвигунами потужністю 500 кВт напругою 6 кВ.

Для нагрівання заготівель при куванні й термообробці передбачаються великі газові печі з викатними подами, шахтні печі, кругові газові печі та ін.

У цеху передбачена розгалужена вентиляція повітря (вдув і витяг).

Крім того, для газових печей передбачають дві вентстанції з електродвигунами 200 кВт, 380 В та димососі потужністю 200 і 500 кВт на напрузі 6,0 кВ.

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

Додатково, у цеху передбачене різне механічне, зварювальне й інше устаткування для обробки труб. Проектується електролітична установка для консервації труб потужністю близько 6000 кВт.

Середовище в приміщенні нормальне. У районах, де розташовані полум'яні печі, середовище жарке.

Термічне встаткування працює 3 зміни при безперервному робочому тижні, механічне та інше встаткування 2 зміни з перериваним робочим тижнем. За надійності електропостачання споживачі відносяться до 2 категорії надійності.

Сумарна встановлена потужність електроприймача 0,38 кВ - 26480 кВт; розрахункова 18720. кВт. Встановлено потужність електроприймача 6,0 кВ - 8000 кВт, розрахункова потужність 5600.

### 1.3 Обдирково-термічний корпус

Відповідно до технічних вимог сталеве лиття (злитки) і кування, що виробляються заводом споживачеві, повинні бути обдерті на верстатах і відповідним чином термічно оброблені в печах. Для проведення зазначених робіт служать обдирний і термічний цехи, розташовані в обдирково-термічному корпусі. У обдирного цеху встановлюються важкі вальце-токарні верстати, токарно-гвинторізні, токарно-карусельні й розточувальні верстати. Потужність електродвигунів великих агрегатних верстатів досягає величини 250 кВт. У термічному цеху зосереджені великі газові камерні печі з висувними подами й шахтні газові печі. Крім того, у цеху встановлюються великі електричні шахтні печі опору потужністю 2500 і 3200 кВт.

Підйомно-транспортне встаткування корпусу - мостові крани вантажопідйомністю - до 250 тис тонно сил. Середовище приміщень нормальне й у деяких частинах гарячого цеху. Режим роботи:

Обдирного цех і допоміжні ділянки - перериваний тиждень 3 зміни.

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

Термічній цех (печі) безперервний робочий тиждень 3 зміни. За ступенем надійності всі електроприймачі ставляться, в основному, до 2 категорії, частково - до 3 категорії. Споживачі електроенергії, за винятком гартівних кранів, живляться змінним струмом (380 В. На гартівних кранах встановлені електродвигуни постійного струму 220 В.

Режим роботи кранів - важкий. Великі верстати оснащуються тиристорними обладнаннями для харчування електродвигунів приводів механізмів верстатів.

Встановлено потужність електроприймачів у корпусі - 45000 кВт. Розрахункова потужність - 33670 кВт. Підстанції, розташовувані в обдирному цеху встановлюються відкрито між колонами. У термічному цеху через навколишнє середовище трансформаторні приміщення розташовуються в закритих приміщеннях.

#### 1.4. Корпус зварювальних заготовок.

У корпусі зварених заготовок проводиться заготівля деталей, складання й зварювання конструкцій. Виготовлення конструкції офарблюються й упаковуються й у необхідних випадках зазнають консервації.

Корпус складається з розкрійно-заготівельного цеху, ділянки складання й зварювання й фарбувального відділення. Відповідно до прийнятих технологічних операцій на ділянках передбачене необхідне встаткування.

У заготівельному цеху розміщаються ножиці для різання металу, машини й стенди для газового різання, установка повітряно-плазмового різання, преса гідравлічні, а також устаткування для механічної обробки заготовок, у складально-зварювальному корпусі, встановлюються, в основному, зварювальні напівавтомати й джерела живлення зварювального встаткування.

У якості таких застосовуються зварювальні випрямлячі типів ВДМ-1001, ВДМ-1601 і ВДУ-504. Встановлено потужність зварювального встаткування близько 5000 кВа.

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

Для термічної обробки зварених конструкцій у складально-зварювальному цеху передбачається електропечі опору камерні потужністю 3000 кВт і 800 кВт. У сушильній камері й камері для фарбування встановлюються.

Число змін роботи в корпусі - 2 при перериваному робочому тижні. Середовище приміщень - нормальна, курна. Загальна встановлена потужність усіх електроприймачів - 19636 кВт, розрахункова потужність - 11100 кВт.

По надійності електропостачання споживачі цехи ставляться до 2-й категорії .

Загальна встановлена потужність усіх електроприймачів - 19636 кВт, розрахункова потужність - 11100 кВт.

За надійності електропостачання споживачі цехи ставляться до 2-ї категорії.

Напруга живлення струмоприймачів 380 В.

#### 1.5. Корпус допоміжних цехів.

Об'єкти допоміжного призначення заводу групуються й розташовуються в корпусі допоміжних цехів. У цеху народного споживання встановлюються три автоматичні лінії гальванопокрігтів і автооператорна лінія підготовки під емальювання. У якості джерел харчування прийняті випрямні агрегати типу ВАКР Бистровського електротехнічного заводу.

Для випалу емалевого покриття передбачено дві електричні печі потужністю по 400 кВт кожна.

Крім того, у цеху запроектована складально-зварювальна ділянка, у якій передбачений для дугового електрозварювання випрямляч потужністю 120 кВт. А й машини контактного зварювання загальною потужністю 700 кВт.А.

Середовище в основних виробничих цехів приміщеннях - нормальне.

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

Робота основного устаткування - 2.-х змінна з перериваним робочим тижнем. За надійності електропостачання споживачі ставляться до 2-ї категорії. Загальна встановлена потужність електроприймачів -12640 кВт. Розрахункова потужність 4000 кВт. Напруга живлення споживачів - 380 В.

#### 1.6 Ремонтно-заготівельна база.

База складається з ряду відділень, у тому числі з відділення готування сумішей, грубого відділення та ін.

У відділенні готування сумішей розміщуються різні спеціальні установки й ділянки для розмелу різних матеріалів, готування коксу, жужільних, вогнетривких і інших мас і тощо.

Усі механізми й агрегати зазначених установок і ділянок зв'язані блокуваннями й керування кожної з них проводиться з окремого пульта, розташованого близько установки або в районі даної ділянки. На ці ж пульти виносяться сигналізація роботи й аварійної зупинки механізмів. Для термічної обробки конструкцій установлюються електропечі опору загальною потужністю близько 2000 кВт. У відділенні ремонту й виготовлення індукторів і кристалізаторів також передбачається електронагрівальна установка потужністю 1000 кВт.

Середовище приміщень нормальне.

Число змін роботи - 2 при перериваному робочому тижні.

За надійності електропостачання електроприймачі відносяться до 2-ї категорії.

Загальна встановлена потужність у корпусі - 8050 кВт. Розрахункова потужність - 6120 кВт. Напруга живлення споживачів - 380 В.

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

## 2. Розрахунок електричних навантажень підприємства.

Визначення електричних навантажень є першим і дуже важливим етапом проектування, оскільки величини електричних навантажень є вихідними даними для розв'язання комплексу технічних і пов'язаних з ними економічних питань, які виникають при проектуванні систем електропостачання. За величинами електричних навантажень вибирають елементи систем електропостачання, визначають втрати потужності. Від правильної оцінки очікуваних навантажень залежать: величина капітальних витрат в систему електропостачання (СЕП), надійність роботи та термін експлуатації СЕП, або окремих її елементів, експлуатаційні витрати тощо. Слід зауважити: якщо при проектуванні помилково занижити розрахункову потужність, всі елементи СЕП будуть перегріватися. Процес старіння ізоляції прискориться.

Термін служби елементів СЕП (кабелів, трансформаторів і таке інше) зменшиться і вони будуть аварійно виходити з ладу. Якщо ж помилково розрахункову потужність збільшити, то термін служби елементів СЕП збільшиться, але використати цей термін служби не вдається внаслідок морального старіння обладнання.

Є декілька методів визначення розрахункової потужності підприємств. Якщо відомі потужності електричних приймачів підприємства, то доцільно використовувати досить точний метод розрахунку розрахункової потужності: метод коефіцієнту максимуму.

Суть цього методу полягає у наступному: усі споживачі, що є на підприємстві (окрім таких, що працюють в короткочасному режимі і резервних, які при визначенні розрахункової потужності групи споживачів не враховуються) поділяють на дві групи:

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Розрахунок електричних навантажень</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>					17	
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>						
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>				<b>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3</b>		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

1) такі, що працюють за постійним графіком навантаження;

2) такі, що працюють за змінним графіком навантаження. Для даних двох підгруп споживачів подальші розрахунки проводяться окремо за різними методиками. Алгоритм розрахунку розрахункової потужності для вищезгаданих підгруп споживачів наведено нижче.

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

Розрахунки електричних навантажень на шинах розподільних пунктів і живильних підстанцій виконаних шляхом підсумовування розрахункових навантажень за ТП, групам високовольтних електродвигунів, цехам і корпусам заводу з урахуванням коефіцієнта різночасності максимумів навантаження.

Таблиця електричних навантажень на шинах ГПП-110 / 6 кВ і РП-6 кВ наведена.

Розрахункова сумарна потужність заводу становить 94 003 кВА.

Річне число годин використання максимуму навантажень 4000.

Розрахунок навантажень здійснюється для вибору та перевірки струмоведучих елементів (шин, кабелів, проводів), силових трансформаторів, а також для розрахунку втрат, коливань та відхилень напруг, вибору релейного захисту, сигналізації та компенсуючих пристроїв.

Для визначення розрахункових навантажень підприємства використовуємо метод коефіцієнта максимуму та коефіцієнта використання. Розрахунок навантажень ведеться за найнавантаженішу зміну, під час якої є найбільшим споживачем електричної енергії.

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

### *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:

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

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

$$P_{CM} = K_B \cdot P_H;$$
$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \text{tg } \varphi_{CM},$$

де  $\text{tg } \varphi_{CM}$  – 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  $k_M = \Gamma(p_e)$ , при  $k_B = 0,1 \text{--} 0,9$ , в залежності від величини групового коефіцієнту використання та зведеного числа електроприймачів  $p_e$ .

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

У загальному виді ефективне число ЕП :

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

Для спрощення розрахунків вводиться поняття коефіцієнту максимуму:

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

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

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

де

$P_H^{\text{МАХ}}$  – 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 : (5- коефіцієнт завантаження, який дорівнює 0,9-для електроприймачів тривалого режиму роботи електрообладнання та 0,75 - для електроприймачів повторно-короткочасного режиму роботи.

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

Методика визначення розрахункової реактивної потужності залежить від значення  $n_e$ :

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

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

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

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

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

### 2.1. Визначення розрахункового навантаження для ТП 38-1

Визначення середньої активної та реактивної потужності за найнавантаженішу зміну цеха.

Сумарна встановлена потужність електроприймачів ТП 38-1 складає 2748 кВт.

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

$$P_{CM} = 0,5 \cdot 180 = 90 \text{ кВт}$$

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

$$Q_{CM} = 1,75 \cdot 90 = 157,5 \text{ квар}.$$

Знаходимо значення  $m$ :

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

$$m = \frac{120}{1} = 120$$

Оскільки  $m = 120 > 3$  то ефективна кількість електроприймачів

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

$$n_e = \frac{2 \cdot 2748}{120} = 46$$

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

Для визначення розрахункової напруги  $P_p$ , знаходимо коефіцієнт максимуму  $K_M = f(K_a n_e)$  за табл. 8.1 [ 1 ]

$$K_M = 1,11$$

Знаходимо  $P_p$  и  $Q_p$  по ТП

$$P_p = K_M \cdot P_{CM};$$

$$P_p = 1,11 \cdot 917,5 = 1018,43 \text{ кВт};$$

так як  $n_e > 10$ ,

$$Q_p = Q_{CM},$$

$$Q_p = 824,005 \text{ квар.}$$

Визначаємо повне розрахункове навантаження електроприймачів:

$$S_p = \sqrt{(P_p)^2 + (Q_p)^2},$$

$$S_p = \sqrt{1018,43^2 + 824,005^2} = 1310,032 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

## 2.2 Визначення розрахункового навантаження для ковальсько-пресового цеха №2

Визначення середньої активної та реактивної потужності за  
найнавантаженішу зміну цеха.

Сумарна встановлена потужність електроприймачів ТП 38-1 складає  
33400 кВт.

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

$$P_{CM} = 0,5734 \cdot 1600 = 917,5 \text{ кВт}$$

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

$$Q_{CM} = 0,79 \cdot 917,5 = 824 \text{ квар.}$$

Знаходимо значення  $m$ :

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

$$m = \frac{400}{0,5} = 800$$

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

Оскільки  $m = 800 > 3$  то ефективна кількість електроприймачів

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_H}{P_H^{MAX}},$$
$$n_e = \frac{2 \cdot 25600}{400} = 128$$

Для визначення розрахункової напруги  $P_p$ , знаходимо коефіцієнт максимуму  $K_M = f(K_B \cdot n_e)$  за табл. 8.1 [1]

$$K_M = 1,06.$$

Знаходимо  $P_p$  та  $Q_p$  для змінних електроприймачів напругою до 1 кВ цеху:

$$P_p = K_M \cdot P_{CM};$$
$$P_p = 1,06 \cdot 16906,18 = 17920,55 \text{ кВт};$$

так як  $n_e > 10$ .

$$Q_p = Q_{CM},$$
$$Q_p = 9835 \text{ квар.}$$

Визначаємо постійне навантаження цеху електроприймачів до 1 кВ

$$P_{P,0} = 15 \cdot 188 \cdot 284 \cdot 10^{-3} = 800 \text{ кВт};$$

$$P_{CM} = P_{НОМ} \cdot K_M = 800 \cdot 1 = 800 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_{P,0} \cdot \text{tg } \varphi = 880 \cdot 0,62 = 496 \text{ квар};$$

Визначаємо  $P_p$  для електроприймачів напругою понад 1 кВ цеху:

$$P_{CM} = k_B \cdot P_H,$$
$$P_{CM} = 0,8 \cdot 6000 = 4800 \text{ кВт}$$
$$P_p = P_{CM};$$

Знаходимо суму  $P_p$  и  $Q_p$  для всіх трьох груп електроприймачів:

$$P_p = P_{PНН \sim} + P_{PНН=} + P_{PВН} = 17920,55 + 800 + 5600 = 24320,55 \text{ кВт};$$
$$Q_p = Q_{PНН \sim} + Q_{PНН=} = 9835 + 496 = 10331 \text{ квар};$$

Визначаємо повне розрахункове навантаження електроприймачів:

$$S_p = \sqrt{(P_p)^2 + (Q_p)^2},$$
$$S_p = \sqrt{24320,55^2 + 10331^2} = 26423,829 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

### 2.3 Розрахункове навантаження всього підприємства

Визначення середньої активної та реактивної потужності за найнавантаженішу зміну цеха.

Сумарна встановлена потужність електроприймачів ТП 38-1 складає 115330 кВт.

$$P_{CM} = k_B \cdot P_H,$$
$$P_{CM} = 0,8 \cdot 22000 = 17600 \text{ кВт}$$
$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \text{tg } \varphi_{CM},$$
$$Q_{CM} = 0,33 \cdot 17600 = 5808 \text{ квар.}$$

Знаходимо значення  $m$ :

$$m = \frac{P_{\text{НОМ}}^{\text{макс}}}{P_{\text{НОМ}}^{\text{мін}}},$$
$$m = \frac{630}{0,5} = 1260$$

Оскільки  $m = 1260 > 3$  то ефективна кількість електроприймачів

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_H}{P_H^{\text{MAX}}},$$
$$n_e = \frac{2 \cdot 115330}{630} = 183,06$$

Для визначення розрахункової напруги  $P_p$ , знаходимо коефіцієнт максимуму  $K_M = f(k_B \cdot n_e)$  за табл. 8.1 [ 1 ]

$$K_M = 1,05.$$

Знаходимо  $P_p$  и  $Q_p$  підприємства:

$$P_p = K_M \cdot P_{CM};$$
$$P_p = 1,05 \cdot 79599,5 = 81653,88 \text{ кВт};$$

так як  $n_e > 10$ .

$$Q_p = Q_{CM},$$
$$Q_p = 46576,24 \text{ квар.}$$

Визначаємо повне розрахункове навантаження електроприймачів:

$$S_p = \sqrt{(P_p)^2 + (Q_p)^2},$$
$$S_p = \sqrt{81653,88^2 + 46576,24^2} = 94003,73 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

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

### 3. Побудова картограми навантажень і визначення центру електричних навантажень (ЦЕН)

Підстанція зв'язку, цехові трансформатори та підстанції перетворення всіх потужностей і напруг розміщують ближче до ЦЕН, тобто навантажень, що живляться від них. Застосовують внутрішні або вмонтовані в будинок цеху або прибудовані до нього трансформаторні підстанції (ТП), що живлять окремі цехи, корпуси або їх частини. Розподільні пункти й інші вузли без перетворення енергії варто розміщувати на межі ділянок мережі, що живляться ними так, щоб не було зворотніх потоків енергії до приєднаних до них підстанцій. ТП, що живлять струмоприймачі з напругою  $U > 1000$  В сполучають з найближчою ТП, якщо при цьому не маємо значного зміщення від ЦЕН.

ГПП розміщуємо якнайближче до ЦЕН, наскільки це можливо за умови планування заводу. Всі ці міри зводяться до мінімуму довжини мереж, втрат та коливань напруги.

ЦЕН цеху визначаємо як центр ваги фігури, створеними геометричними контурами цеху, якщо цех прямокутний чи квадратний. В інших цехах ЦЕН визначаємо згідно з формулою:

$$x_0 = \frac{\sum P_i x_i}{\sum P_i} ; \quad y_0 = \frac{\sum P_i y_i}{\sum P_i}$$

По розрахункових навантаженнях будуємо картограму навантажень, що відображена в графічному матеріалі проекту, та результати розрахунку зводимо у табл. 3. При цьому приймаємо допущення, що навантаження розподілені рівномірно по цеху. Задаємось масштабом  $m = 0,5$ .

Як приклад розглянемо розрахунок ковальсько-пресового цеху № 2.

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Побудова картограми навантажень</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	<i>Балдін М.М.</i>					25		
Перевірив	<i>Ізволеньський</i>							
Н. Контр.	<i>Ізволеньський</i>					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив	<i>Балюта С.М</i>							

Вихідні дані:

$$P_p^\Sigma = P_{po} + P_{p(вн)} + P_{p(нн)} = 25001,3 \text{ кВт}$$

$$P_{po} = P_o \cdot K_p \cdot S = 0,015 \cdot 0,85 \cdot 53392 = 680,75 \text{ кВт}$$

$$P_{p(вн)} = 5600 \text{ кВт}$$

$$P_{p(нн)} = 18720,55 \text{ кВт}$$

Радіус кола навантажена:

$$r = \sqrt{\frac{P_p^\Sigma}{\pi \cdot t}} = \sqrt{\frac{25001,3}{3,14 \cdot 0,5}} = 126 \text{ мм}$$

Для освітлювального навантаження (кут сектора кола навантаження):

$$\alpha_0 = \frac{P_{po}}{P_p^\Sigma} \cdot 360^\circ = \frac{680,75}{25001,55} \cdot 360^\circ = 9,8^\circ$$

Для високовольтного навантаження:

$$\alpha_{вв} = \frac{P_{вв}}{P_p^\Sigma} \cdot 360^\circ = \frac{5600}{25001,3} \cdot 360^\circ = 80,6^\circ$$

Для інших цехів проводимо аналогічні розрахунки, результати розрахунків зводимо в табл. 3.1

Таблиця 3.1.

№	Освітлювальне навантаження				Силове навантаження		Всього по заводу	Координати ЦЕН		Коло навантажень		
	$P_o$ , кВт/м <sup>2</sup>	$K_p$	$S$ , м <sup>2</sup>	$P_{po}$ , кВт	$P_{p(нн)}$ , кВт	$P_{p(вн)}$ , кВт	$P_p^\Sigma$ , кВт	x	y	r, мм	$\alpha^\circ$ , град.	$\alpha_{вв}^\circ$ , град.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,01	0,9	29900	269,1	3720	-	3989,1	600	288	50	24,29	
2	0,015	0,95	37056	528,05	4250	-	4778,05	134	394	55	39,79	
3	0,015	0,85	53392	680,75	18720,6	5600	25,001,3	500	320	126	9,8	80,63
4	0,01	0,6	9546	57,28	762	-	819,28	704	222	23	25,17	
5	0,015	0,95	54720	779,76	29820	-	30599,76	367	327	140	9,17	
6	0,15	0,95	6000	85,5	750	2250	3085,5	133	286	44	9,98	262,52

## Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7	0,015	0,85	2640	33,66	750	12000	12783,66	106	440	90	0,95	337,93
8	0,01	1	900	9	250	-	259	20	204	13	12,51	
9	0,01	0,6	2560	15,36	267	-	282,36	83	186	13	19,58	
10	0,01	0,9	5040	45,36	610	-	655,36	21	118	20	24,92	
11	0,01	0,95	1232	11,7	46	-	57,7	28	20	6	73,02	
12	0,01	1	232	2,32	769	-	771,32	65	132	22	1,08	
13	0,01	1	788	7,88	565	-	572,88	117	185	19	4,95	
14	0,01	0,6	2244	13,464	109	-	122,46	237	143	9	39,58	
15	0,01	0,95	2740	26,03	416	-	442,03	210	227	17	21,2	

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

#### 4. Визначення розрахункової потужності на шинах ГПП

Основні міркування при виборі потужності трансформаторів ГПП такі:

- 1). Забезпечення надійності електропостачання відповідно категорії споживача у нормальних, аварійних і ремонтних умовах так, щоб трансформатор, що залишився у роботі, забезпечував роботу підприємства на час заміни вибулого трансформатора з урахуванням можливого обмеження навантаження без збитку для діяльності підприємства і з використанням допустимого перевантаження;
- 2). Забезпечення мінімуму зведених затрат на трансформатори з урахуванням динаміки росту електричних навантажень.

Схема ГПП будується так, щоб усі її елементи постійно знаходилися під навантаженням і споживачі I та II категорій мали два джерела живлення, тобто обидва трансформатори незалежно від навантаження мають бути постійно ввімкнені

На ГПП рекомендується встановлювати два трансформатори.

Економічно доведена величина реактивної потужності, що передається в мережу підприємства в режимі максимальних навантажень енергосистеми:

$$Q_c = 0,2 * Q_p = 0,2 \cdot 46576,24 = 9315,248 \text{ кВар}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{81653,88^2 + 9315,248^2} = 82183,514 \text{ кВА}$$

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Визначення розрахункової потужності</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>						
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>					28	
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

## 5. Вибір систем напруг мережі живлення підприємства

### 5.1 Вибір мережі живлення підприємства

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.

Активна потужність, що передається визначається за формулою:

$$P = S_p \cdot \cos \phi, \text{ МВт,}$$

Де :  $S_p$  - розрахункова потужність навантажень підприємства, МВ • А;

$\cos \phi$  - коефіцієнт потужності в години максимуму навантажень у відповідності з технічними умовами його проектування.

Отже, приймається напруга мережі живлення підприємства рівною 110 кВ.

### 5.2. Вибір напруги розподільчої мережі підприємства

Через наявність високовольтних двигунів , які випускаються на напругу 6 кВ, можливий варіант виконання розподільчої мережі Уроз.мер = 6 кВ, а біля даних високовольтних двигунів споруджується РП цеху чи корпусу, що комутує їх. інші цехи і корпуси, що не містять високовольтних двигунів і установок також живляться від РП 6 кВ.

Зупиняємося на цьому варіанті живлення.

					<b>ДП 2025 141</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>				29	
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>			<b>Вибір мережі живлення підприємства</b> ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>					

## 6. Вибір схеми електропостачання цехів

Розподільчу мережу живлення цехів підприємства виконуємо по радіально-магістральній схемі, оскільки вони більш надійні та прості в експлуатації і мають менші капітальні витрати.

Для даного заводу необхідно застосувати радіально-магістральну схему. У залежності від характеру середовища виробничих приміщень і розташування електроприймачів по площі цеху можуть застосовуватися ті чи інші конструкції змішаних схем.

Схеми трансформаторних підстанцій 6/0,4 кВ пропонується виконати без збірних шин первинної напруги з глухим приєднанням трансформатора до радіальних ліній другого ступеня. Це дуже спрощує конструкцію та зменшує габарити ТП, що має велике значення при застосуванні внутрішньо цехових ТП. Схема трансформаторної підстанції ТП - 6/0,4 кВ наведена на рис. 6.1.

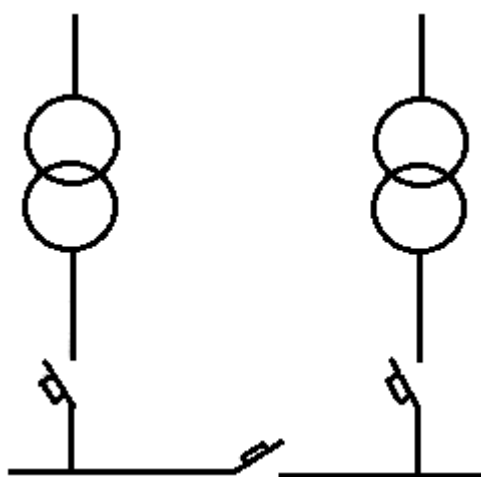


Рис.6.1. Схема трансформаторної підстанції ТП - 6/0,4

					<b>ДП 2025 141</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Вибір схеми електропостачання цехів</b>					
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>							30	
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								

## 7. Вибір числа та потужності цехових ТП

Число та потужність цехових трансформаторів вибирають виходячи з отриманих даних із розрахунку навантажень заводу та категорії споживачів.

При виборі потужності ТП дотримуємось таких вимог:

- однострансформаторні ТП встановлюємо при навантаженнях, що допускають перерву в електропостачанні на час доставки „складського резерву”. Інакше по можливості, необхідне резервування на вторинній напрузі;
- двотрансформаторні ТП застосовуємо при переважанні споживачів першої та другої категорій, або при нерівномірному добовому графіку навантаження;
- рекомендується на цехових ТП встановлювати трансформатори одного типу та потужності з межею зменшення складського резерву.

Обрані ТП перевіряються по безперебійності електропостачання: споживачі першої та другої категорій надійності при вимиканні одного з трансформаторів. Згідно ПУЕ допускається після аварійне перевантаження трансформатора ТП (що залишився в роботі) на 40% на час не більше 6 годин на добу протягом 5-ти діб. При цьому коефіцієнт заповнення добового графіка в умовах перевантаження  $K_3 \leq 0,75$ .

Умова :

$$\frac{S_p}{1,4 \cdot S_{ном}^{Tp}} \leq K_3 = 0,75$$

Для прикладу розглянемо вибір числа та потужності ТП для складу ГСМ, відділення пило-глини та рідкого скла - розрахункова потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{633^2 + 209^2} = 666 \text{ кВА}$$

Бажаний коефіцієнт завантаження:  $\beta_6 = 0,85$

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Балдін М.М.			<b>Вибір числа та потужності цехових ТП</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Ізволеньський					31	
Н. Контр.		Ізволеньський				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		Балюта С.М.						

Бажана потужність ТП:

$$S_b = \frac{S_p}{\beta} = \frac{666}{0,85} = 783,53 \text{ кВА}$$

Вибираємо ТП:

ТП-1000 із  $S_{\text{ном}}=1000\text{кВ}\cdot\text{А}$

Фактичний коефіцієнт завантаження трансформатора ТП:

$$\beta_{\phi} = \frac{S_p}{2 \cdot S_H} = \frac{783,53}{1000} = 0,78.$$

Дані розрахунків заносимо в таблицю 7.1

Таблиця 7.1.

ТП	Назва цеху	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ ,кВА	$S_b$ , кВА	$\beta$
ТП31(1-9)	Корпус допоміжних цехів	3989	2456	4684,45	5511,12	0,85
ТП35(1-4) ТП35(6-9) ТП342	Ковальсько-пресовий цех №1	4778	3190	5745,03	6758,86	0,85
ТП38(1-12) ТП31(10-13)	Ковальсько-пресовий цех №2	19400	18882	27071,94	31849,34	0,85
ТП31(14-15)	Інженерний корпус	819	2042	2200,12	2588,38	0,85
ТП32(1-13) ТП36(1-16)	Обдирочно-термічний корпус	30599	9372	32002,08	37649,51	0,85
ТП33-1	Система оборотного водопостачання	836	1440	1664,73	1958,62	0,85
ТП34-1 ТП35-5	Насосно-акумуляторна станція	783	2798	1847,13	2173,09	0,85
ТП37-1	Склад ГСМ, Відділення пило-глини та рідкого скла	564	209	601,48	707,62	0,85
ТП37-2	Ремонті цехи	259	155	301,84	355,1	0,85
ТП37-3	Блок №5, Газгільдер	855	779	1156,84	1360,99	0,85
ТП37-4	Скрапообробна база, Гараж	713	567	911,01	1071,78	0,85
ТП37-5	Система гідрошлаковиділення	771	634	998,2	1174,35	0,85

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

Продовження таблиці 7.1.

РП	№ТП	Назва цеху	S <sub>р</sub> , кВА	S <sub>б</sub> , кВА	S <sub>Σг</sub> , кВА	S <sub>г,ном</sub>	V <sub>факт.</sub>
РП-31 6кВ	ТП31-(1-9)	Корпус допоміжних цехів	4684,45	5511,12	14058	20*1000	0,68
	ТП31-(10-13)	Ковальсько-пресовий цех №2	5064,725	5958,5			
	ТП31-(14-15)	Інженерний корпус	2200,12	2588,38			
РП-32 6кВ	ТП32-(1-13)	Обдирочно-термічний корпус	19371,2	22789,64	22789,64	15*1600 2*2500 3*1000	0,63
РУ-33 6кВ	ТП33-1	Система оборотного водопостачання	1664,73	1958,62	1958,62	2*1600	0,61
РУ-34 6кВ	ТП34-1	Насосно-акумуляторна станція	615,76	724,36	2145,36	1*1000	0,71
	ТП34-2	Ковальсько-пресовий цех №1	1207,85	1421		2*1000	
РУ-35 6кВ	ТП35-5	Насосно-акумуляторна станція	1231,42	1448,73	6786,58	10*1000 3*863	0,53
	ТП35-(1-4-6-9)	Ковальсько-пресовий цех №1	4537,18	5337,85			
РУ-36 6кВ	ТП36-(1-16)	Обдирочно-термічний корпус	11886,87	13984,55	13984,55	17*1600	0,51
РУ-37 6кВ	ТП37-1	Система гідрошлаковиділення	998,2	1174,35	4669,84	1*1600	0,68
	ТП37-2	Ремонті цехи	301,84	355,1		1*630	
	ТП37-3	Блок №5, Газгільдер	1156,84	1360,99		2*1000	
	ТП37-4	Скрапообробна база, Гараж	911,01	1071,78		1*1600	
	ТП37-5	Склад ГСМ, Відділення пило-глини та рідкого скла	601,48	707,62		1*1000	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 2025 141

Арк.

33

## 8. Техніко-економічний розрахунок.

### 8.1 Вибір напруги мережі живлення.

Для розгляду приймаємо такі варіанти:

$U_{мж}=6$  кВ, живлення здійснюється по двох КЛ (рис.8.1).

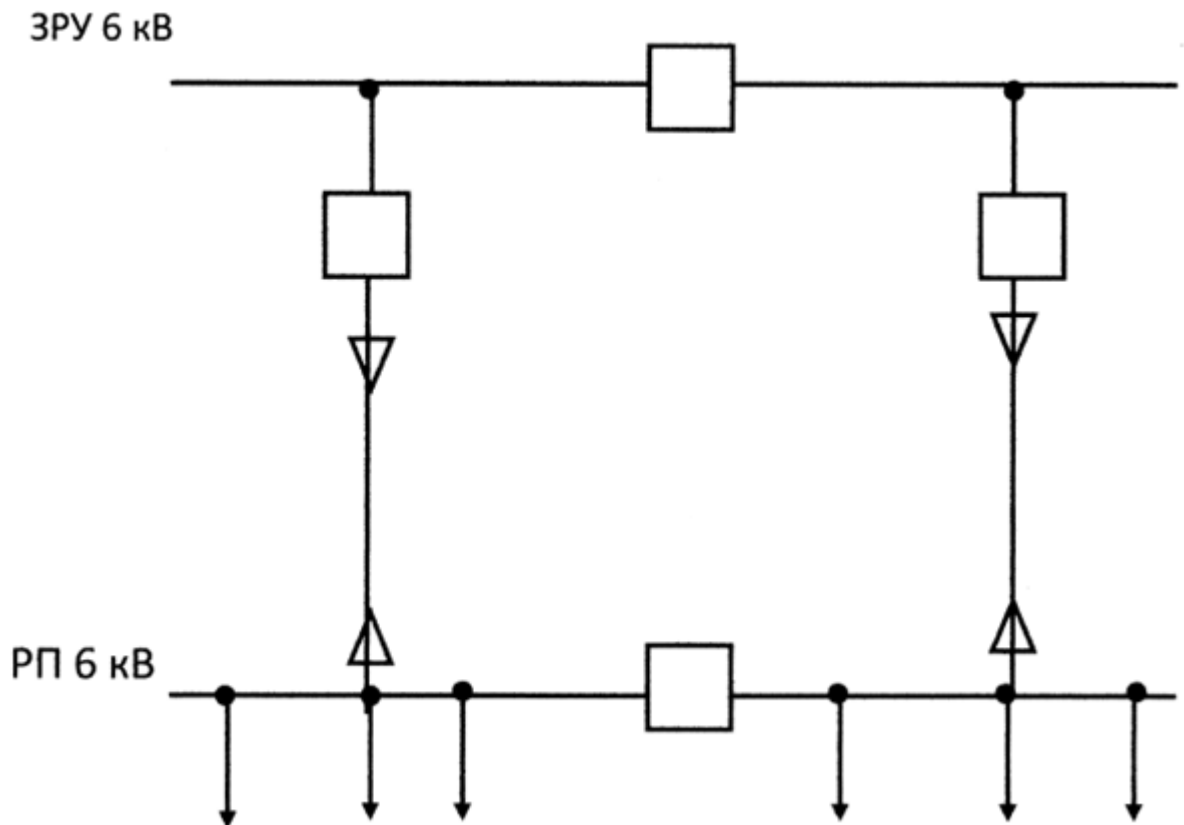


Рис.8.1. Схема живлення

					<b>ДП 2025 141</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Техніко-економічний розрахунок.</b>					
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>							34	
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								

## 8.2 Вибір трансформатора на ГПП

Вибираємо трансформатор ГПП. Потужність трансформаторів вибираємо на основі техніко-економічних розрахунків, а також, щоб в аварійних умовах один трансформатор забезпечив роботу всього заводу.

Вибір номінальної потужності трансформатора ГПП виконуємо по повній розрахунковій потужності:

$$S_p = S_{рн1} + S_{рн2};$$

Можливо два варіанти встановлення трансформаторів:

2хТРДН-63000/110 або 2хТРДН-80000/110

В аварійних умовах трансформатор, який залишається в роботі бути перевірений на допустиме перенавантаження з урахуванням можливого відключення споживачів III-категорії надійності.

$$1,4 \cdot S_{ном.тр.} \geq S_{\Sigma р.тр.}$$

1 варіант

$$1,4 \cdot 63000 = 88200 \text{ кВА}$$

Так як ТРДН-63000/110 не покриває всієї потужності заводу то перевіряємо на максимальне перенавантаження

$$1,6 \cdot 63000 = 100,8 \geq S_{р.тр} = 94003,73 \text{ кВ А};$$

2 варіант

$$1,4 \cdot 80000 = 112000 \text{ кВА} \geq S_{р.тр.} = 94003,73 \text{ кВА};$$

Таблиця 8.1.

Тип трансформара	Uва, кВ	Uнн, кВ	ΔРхх, кВт	ΔРк.з., кВт	Uк, %	Iхх, %	К, в.о.
ТРДН-63000/110	110	6,3-6.3	50	245	10,5	0,5	110
ТРДН-80000/110	110	6,3-6.3	58	310	10,5	0,45	126

### 8.3 Щорічні поточні ви грати:

$$C = E_{\text{р}} \text{ ОК} + E_{\text{ШС}} + B_c$$

$$C_1 = 0,03 \cdot 110 + 0,063 \cdot 110 + 578,375 = 588,605 \text{ тис.грн.}$$

$$C_2 = 0,03 \cdot 126 + 0,063 \cdot 126 + 482,56 = 494,278 \text{ тис.грн.}$$

де  $E_{\text{р}}$  - коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та обслуговування.

$E_{\text{р}} = 0,33$ ;  $E_{\text{а}}$  - коефіцієнт відрахувань на амортизацію, який можна прийняти таким, що дорівнює 0,063.

Визначення вартості втрат електричної енергії в трансформаторі.

$$B_e = C_e \Delta W \cdot 10^{-2};$$

$$B_{e1} = 1,75 \cdot 3305 \cdot 10^2 = 578,375 \text{ тис. грн.}$$

$$B_{e2} = 1,75 \cdot 2757,8 \cdot 10^2 = 482,56 \text{ тис. грн}$$

де  $C_e$  - середня собівартість 1 кВт.год електроенергії в електросистемі, грн.

Для розрахунків беремо  $C_e = 1,75$  грн / кВт.год;

$\Delta W$  - втрати електроенергії в трансформаторах підстанції за рік, кВт. год.

Втрати електроенергії для трансформаторів, що працюють паралельно:

$$\Delta W = [\Delta P_{\text{хх}} + \frac{n \cdot \Delta P_{\text{к.з.}}}{2 \cdot S_{\text{ном.тр.}}} (\alpha_1 \cdot S_{\text{рвн}}^2 + \alpha_2 \cdot S_{\text{рси}}^2 + \alpha_3 \cdot S_{\text{рин}}^2)] \cdot 8760;$$

$$\Delta W = [50 + \frac{245 \cdot 2}{2 \cdot 63000^2} \cdot 0,6 \cdot 94003,73^2] \cdot 8760 = 3305 \text{ тис.кВт} \cdot \text{год.}$$

$$\Delta W = [58 + \frac{310 \cdot 2}{2 \cdot 80000^2} \cdot 0,6 \cdot 94003,73^2] \cdot 8760 = 2757,8 \text{ тис.кВт} \cdot \text{год.}$$

де  $\Delta P_{\text{хх}}$ ,  $\Delta P_{\text{кз}}$  - потужність втрат електроенергії в режимі холостого ходу та короткого замикання;  $T$  - кількість годин приєднання трансформатора до живильної мережі за рік, год.  $T = 8760$  год;  $\alpha_1 = 0,6$  - коефіцієнт, що враховує навантаження вищої напруги.

									Арк.
									36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Амортизаційні відрахування на трансформатори складають:

$$C_a = K_{амГ} K_{п-}$$

$$C_{a1} = 0,063 \cdot 110 \cdot 2 = 13,86 \text{ тис.грн.};$$

$$C_{a2} = 0,063 \cdot 126 \cdot 2 = 15,876 \text{ тис.грн.}$$

Експлуатаційні витрати:

$$C_{ei} = B_e + C_a;$$

$$C_{e1} = 578,375 + 13,86 = 592,235 \text{ тис.грн.};$$

$$C_{e2} = 482,56 + 15,876 = 498,436 \text{ тис.грн.}$$

З розрахунків видно, що варіант 2хТРДН-80000/110 економічно вигідніший, ніж варіант 2хТРДН-63000/110.

Приймаємо до установки на ГПП трансформатори 2хТРДН-80000/110.

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

## 9. Розрахунок мережі електропостачання

Для вибору високовольтних комутаційних апаратів необхідно знати робочі струми необмежено довгих за часом режимів роботи, а також струми аварійного короткочасного режиму, трифазного режиму короткого замикання у відповідних точках системи електропостачання.

Необмежено довгий за часом режим роботи електротехнічної установки - це режим, що триває довше, ніж це необхідно для досягнення елементами електроустановки стабільної температури при незмінній температурі навколишнього середовища. Необмежено довга за часом робота обладнання електротехнічної установки характеризується двома режимами: нормальним та максимальним.

Нормальний - це такий режим, за якого всі елементи системи електропостачання електротехнічної установки знаходяться в роботі, а їх параметри не виходять за межі номінальних значень. Нормальний режим роботи електроустановки характеризується струмом нормального режиму  $I_n$ . Окремим випадком нормального струму є номінальний.

Максимальний - це такий режим роботи електротехнічної установки, за якого частина елементів системи електропостачання з різних причин вимкнена, внаслідок чого решта елементів системи електропостачання працює з підвищеним навантаженням. Максимальний режим роботи характеризується струмом максимального режиму  $I_{\text{макс}}$ .

					<b>ДП 2025 141</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Ізволенський</i>				38	
Н. Контр.		<i>Ізволенський</i>			<b>Розрахунок мережі електропостачання</b> ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>					

## 9.1. Визначення струмів нормального та максимального режимів

Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП-31 з трансформаторами потужністю 1000 кВА, при  $\beta=0,68$ .

Струм нормального режиму

$$I_{\text{н}} = \frac{\beta \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{н}} = \frac{0,68 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 62,32 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 128,3 \text{ А.}$$

Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП-32 з трансформаторами потужністю 1000 кВА, при  $\beta=0,63$ .

Струм нормального режиму

$$I_{\text{н}} = \frac{\beta \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{н}} = \frac{0,63 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 57,73 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 128,3 \text{ А.}$$

Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП-32, з трансформаторами потужністю 1600 кВА, при  $\beta=0,63$ .

					ДП 2025 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Струм нормального режиму

$$I_H = \frac{\beta \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_H = \frac{0,63 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 92,38 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 205,28 \text{ А.}$$

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП-32 з трансформаторами потужністю 2000 кВА, при  $\beta=0,63$**

Струм нормального режиму:

$$I_H = \frac{\beta \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_H = \frac{0,63 \cdot 2000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 115,47 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot 2000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 256,6 \text{ А.}$$

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП-32, з трансформаторами потужністю 2500 кВА, при  $\beta=0,63$ .**

Струм нормального режиму

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

$$I_H = \frac{\beta \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_H = \frac{0,63 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 144,34 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 320,75 \text{ А.}$$

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП-33, з трансформаторами потужністю 1600 кВА, при  $\beta=0,61$ .**

Струм нормального режиму

$$I_H = \frac{\beta \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_H = \frac{0,61 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 89,44 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 205,28 \text{ А.}$$

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП-34 з трансформаторами потужністю 1000 кВА, при  $\beta=0,71$ .**

Струм нормального режиму

$$I_H = \frac{\beta \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_H = \frac{0,71 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 65,07 \text{ А.}$$

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

Струм максимального режиму

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 128,3 \text{ А.}$$

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП- 35 з трансформаторами потужністю 863 кВА, при  $\beta=0,53$ .**

Струм нормального режиму

$$I_{\text{н}} = \frac{\beta \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{н}} = \frac{0,53 \cdot 863}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 41,92 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot 863}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 110,72 \text{ А.}$$

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП- 35 з трансформаторами потужністю 1000 кВА, при  $\beta=0,53$ .**

Струм нормального режиму

$$I_{\text{н}} = \frac{\beta \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{н}} = \frac{0,53 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 48,57 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

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

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 128,3 \text{ А.}$$

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП- 36 з трансформаторами потужністю 1600 кВА, при  $\beta = 0,51$ .**

Струм нормального режиму

$$I_{\text{н}} = \frac{\beta \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{н}} = \frac{0,51 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 74,78 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 205,28 \text{ А.}$$

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП- 37 з трансформаторами потужністю 630 кВА, при  $\beta = 0,68$ .**

Струм нормального режиму

$$I_{\text{н}} = \frac{\beta \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{н}} = \frac{0,68 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 36,37 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 80,83 \text{ А.}$$

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

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП- 37 з трансформаторами потужністю 1000 кВА, при  $\beta=0,68$ .**

Струм нормального режиму

$$I_{н} = \frac{\beta \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{н} = \frac{0,68 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 62,32 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 128,3 \text{ А.}$$

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП- 37 з трансформаторами потужністю 1600 кВА, при  $\beta=0,68$ .**

Струм нормального режиму

$$I_{н} = \frac{\beta \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{н} = \frac{0,68 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 99,71 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 205,28 \text{ А.}$$

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП- 38 з трансформаторами потужністю 1600 кВА, при  $\beta=0,87$ .**

Струм нормального режиму :

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

$$I_{н} = \frac{\beta \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{н} = \frac{0,87 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 127,57 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 205,28 \text{ А.}$$

**Струми нормального та максимального режимів в приєднанні РП- 38 з трансформаторами потужністю 2500 кВА, при  $\beta=0,87$ .**

Струм нормального режиму

$$I_{н} = \frac{\beta \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{н} = \frac{0,87 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 199,32 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 320,75 \text{ А.}$$

**Струми в приєднанні ЛЕП 110 кВ до ГПП**

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = \frac{63000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 330,66 \text{ А}$$

$$I_{макс} = \frac{1,4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = \frac{63000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 462,93 \text{ А}$$

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

**Струм в приєднанні високовольтних двигунів потужністю 250 кВт:**

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \psi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{НОМ}}};$$

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 1 \cdot 0,8} = 28,64 \text{ А.}$$

**Струм в приєднанні високовольтних двигунів потужністю 400 кВт:**

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 1 \cdot 0,8} = 45,82 \text{ А.}$$

**Струм в приєднанні високовольтних двигунів потужністю 500 кВт:**

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 1 \cdot 0,8} = 57,28 \text{ А.}$$

**Струм в приєднанні високовольтних двигунів потужністю 630 кВт:**

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 1 \cdot 0,8} = 72,17 \text{ А.}$$

Розраховуємо струми від РП до ГПП, що течуть по КЛ .

$$I_{\text{м}}^{\text{РП-31}} = \sum_{i=1}^{20} I_{\text{ТП}}^{1000} = 20 \cdot 62,32 = 1246,4 \text{ А}$$

$$I_{\text{м}}^{\text{РП-32}} = \sum_{i=1}^3 I_{\text{ТП}}^{1000} + \sum_{i=1}^{15} I_{\text{ТП}}^{1600} + \sum_{i=1}^2 I_{\text{ТП}}^{2000} + \sum_{i=1}^2 I_{\text{ТП}}^{2500} = 3 \cdot 57,73 + 15 \cdot 92,38 + 2 \cdot 115,47 + 2 \cdot 144,34 = 2078,51 \text{ А}$$

$$I_{\text{м}}^{\text{РП-33}} = \sum_{i=1}^2 I_{\text{ТП}}^{1600} + \sum_{i=1}^3 I_{\text{Дв}}^{250} + \sum_{i=1}^3 I_{\text{Дв}}^{630} = 2 \cdot 89,44 + 3 \cdot 28,64 + 3 \cdot 72,17 = 481,31 \text{ А}$$

$$I_{\text{м}}^{\text{РП-34}} = \sum_{i=1}^3 I_{\text{ТП}}^{1000} + \sum_{i=1}^{17} I_{\text{Дв}}^{500} = 3 \cdot 65,07 + 17 \cdot 57,28 = 1168,97 \text{ А}$$

$$I_{\text{м}}^{\text{РП-35}} = \sum_{i=1}^3 I_{\text{ТП}}^{863} + \sum_{i=1}^{10} I_{\text{ТП}}^{1000} + \sum_{i=1}^6 I_{\text{Дв}}^{500} = 3 \cdot 41,92 + 10 \cdot 48,57 + 16 \cdot 57,28 = 1527,94 \text{ А}$$

$$I_{\text{м}}^{\text{РП-36}} = \sum_{i=1}^{17} I_{\text{ТП}}^{1600} = 17 \cdot 74,78 = 1271,26 \text{ А}$$

$$I_{\text{м}}^{\text{РП-37}} = \sum_{i=1}^1 I_{\text{ТП}}^{630} + \sum_{i=1}^3 I_{\text{ТП}}^{1000} + \sum_{i=1}^2 I_{\text{ТП}}^{1600} = 1 \cdot 36,37 + 3 \cdot 62,32 + 2 \cdot 99,71 = 422,75 \text{ А}$$

$$I_{\text{м}}^{\text{РП-35}} = \sum_{i=1}^6 Y I_{\text{П}}^{1600} + \sum_{i=1}^8 Y I_{\text{П}}^{2500} + \sum_{i=1}^1 Y I_{\text{Дв}}^{250} + \sum_{i=1}^2 Y I_{\text{Дв}}^{400} + \sum_{i=1}^{12} Y I_{\text{Дв}}^{500} = 6 \cdot 127,57 + 8 \cdot 199,32 + 1 \cdot 28,64 + 2 \cdot 45,82 + 12 \cdot 57,28 = 3167,62 \text{ А}$$

Результати по кожній РП - заносимо в табл.. 9.1

№ РП	Кількість секцій	$I_{\text{норм}}$	$I_{\text{макс}}$
РП-31	2	330,66	1246,4
РП-32	3	623,2	2078,51
РП-33	2	692,84	481,31
РП-34	2	240,65	1168,97
РП-35	2	584,49	1527,94
РП-36	2	763,97	1271,26
РП-37	2	635,63	422,75
РП-38	3	211,38	3167,72

## 9.2. Вибір перетину струмоведучих елементів

Провідники будь-якого призначення повинні задовольняти вимогам тривало-допустимого їх нагрівання струмами як нормального, так і максимального режиму. У зв'язку із цим переріз провідників вибирають за економічно вигідною густиною струму для нормального режиму роботи електроустановки та перевіряють за граничною тривало-допустимою температурою  $t_{\text{доп}}$ . поверхні провідника при максимальному режимі.

Економічно вигідний переріз провідника,  $\text{мм}^2$

$$S_{\text{ЕК}} = \frac{I_{\text{р}}}{j_{\text{ЕК}}},$$

де  $I_{\text{р}}$  - розрахунковий струм кабелю, А;  $j_{\text{ЕК}}$  - нормоване значення економічно вигідної густини струму,  $\text{А/мм}^2$ .

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

Розрахунковий економічно вигідний Сек заокруглюється до найближчого більшого або меншого стандартного перерізу  $S_{et}$ , мм<sup>2</sup>.

Слід зауважити, що умовам вибору перерізу провідників за економічно вигідною густиною струму не підлягають :

- збірні шини електроустановок та ошиновка в межах відкритих і закритих розподільчих пристроїв усіх напруг (а вибирається за нагрівом);
- мережі промислових підприємств і мережі напругою до 1 кВ при  $T_{max}$  до 4000...5000 год в рік;
- мережі тимчасових споруд;
- мережі освітлення промислових підприємств, житлових і громадських будинків, тощо.

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

Провідник задовольняє умові нагрівання його до тривало-допустимої температури при максимальному режимі, якщо виконується залежність

$$K_{нав} \cdot I_{доп} \geq I_p,$$

де  $K_{нав}$  - допустимий коефіцієнт навантаження в максимальному режимі, більший за одиницю.

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

Для шин, неізолюваних проводів, а також кабельних ліній напругою 10 кВ  $K_{\text{нав}} = 1$ , тобто їх перевантаження в максимальному режимі недопустиме і має виконуватись умова

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{макс}}$$

Для кабелів напругою до 10 кВ з паперовою просоченою маслом ізоляцією, які частину доби мають навантаження менше за номінальне, може допускатися тимчасове перевантаження.

При протіканні струмів КЗ збільшуються втрати електроенергії в провідниках і контактах, що призводить до їх підвищеного нагріву.

Нагрів може прискорити старіння і руйнування ізоляції, викликати зварювання і вигоряння контактів, втрату механічної міцності шин і проводів і т. і. Провідники і апарати повинні без пошкоджень переносити на протязі заданого розрахункового часу нагрів струмами КЗ, тобто повинні бути термічно стійкими.

Протікання струмів короткого замикання супроводжується також значними електродинамічними зусиллями між провідниками. Якщо не прийняти належних заходів, то під дією цих зусиль струмоведучі частини і їх ізоляція можуть бути зруйновані. Струмоведучі частини, апарати і електричні машини повинні бути сконструйовані таким чином, щоб витримати без ушкоджень зусилля, які виникають при КЗ, тобто повинні відповідати умові електродинамічної стійкості.

### **Вибір кабельної лінії для трансформаторів з номінальною потужністю 630 кВА.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{\text{ек}} = I_p / j_{\text{ек}} = 36,37 / 1,4 = 26 \text{ мм}^2$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{\text{ст}} = 35 \text{ мм}^2$

(АПВЭВнг- 6 3х35,  $I_{\text{лоп}} = 119 \text{ А}$ ) - з каталожних даних.

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

Перевіримо вибраний кабель на стійкість до струмів максимального режиму

$$I_{\text{доп}} = 119 \text{ А} > I_{\text{м}} = 80,83 \text{ А.}$$

Отже вибраний кабель є стійким до струмів максимального режиму.

**Вибір кабельної лінії для трансформаторів з номінальною потужністю 863 кВА.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{\text{ск}} = 41,92/1,4 = 30 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{\text{СТ}} = 35 \text{ мм}^2$

$$(\text{АПВЭВнг- 6 3х35, } I_{\text{доп}} = 119 \text{ А}).$$

Перевіримо вибраний кабель на стійкість до струмів максимального режиму

$$I_{\text{доп}} = 119 \text{ А} > I_{\text{м}} = 110,72 \text{ А.}$$

Отже вибраний кабель є стійким до струмів максимального режиму.

**Вибір кабельної лінії для трансформаторів з номінальною потужністю 1000 кВА.**

Економічно вигідний переріз КЛ:

$$S_{\text{ск}} = 65,7/1,4 = 50 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{\text{СТ}} = 50 \text{ мм}^2$

$$(\text{АПВЗВнг- 6 3х50, } I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}).$$

Перевіримо вибраний кабель на стійкість до струмів максимального режиму

$$I_{\text{доп}} = 140 \text{ А} > I_{\text{м}} = 128,3 \text{ А.}$$

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

Отже вибраний кабель є стійким до струмів максимального режиму.

**Вибір кабельної лінії для трансформаторів з номінальною потужністю 1600 кВА.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{ек} = 127,57/1,4 = 91 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{СТ} = 120 \text{ мм}^2$

$$(АПВЭВнг- 6 3х120, I_{доп} = 232 \text{ А}).$$

Перевіримо вибраний кабель на стійкість до струмів максимального режиму  $I_{доп} = 232 \text{ А} > I_{м} = 205,28 \text{ А}.$

Отже вибраний кабель є стійким до струмів максимального режиму.

**Вибір кабельної лінії для трансформаторів з номінальною потужністю 2000 кВА.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{ек} = 114,47/1,4 = 82 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного-перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{ет} = 150 \text{ мм}^2$

$$(АПВЭВнг- 6 3х150, I_{доп} = 260 \text{ А}).$$

Перевіримо вибраний кабель на стійкість до струмів максимального режиму  $I_{доп} = 260 \text{ А} > I_{м} = 256,6 \text{ А}.$

Отже вибраний кабель є стійким до струмів максимального режиму.

**Вибір кабельної лінії для трансформаторів з номінальною потужністю 2500 кВА.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{ек} = 199,32/1,4 = 142 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{СТ} = 240 \text{ мм}^2$

$$(АПВЗВнг- 6 3х240, I_{доп} = 340 \text{ А}).$$

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

Перевіримо вибраний кабель на стійкість до струмів максимального режиму

$$I_{\text{доп}} = 340 \text{ А} > I_{\text{м}} = 320,75 \text{ А.}$$

Отже вибраний кабель є стійким до струмів максимального режиму.

**Вибір кабельної лінії для приєднання двигуна потужністю 250 кВА.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{\text{ек}} = 28,64/1,4 = 20 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо  
найближчий стандартний переріз  $S_{\text{с}} = 35 \text{ мм}^2$

(АПВЭВнг-6 3x35,  $I_{\text{доп}} = 119 \text{ А}$ ).

Перевіримо вибраний кабель на стійкість до струмів максимального режиму

**Вибір кабельної лінії для приєднання двигуна потужністю 400 кВА.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{\text{СК}} = 45,82/1,4 = 32,73 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо  
найближчий стандартний переріз  $S_{\text{СТ}} = 35 \text{ мм}^2$

(АПВЗВнг- 6 3x35,  $I_{\text{доп}} = 119 \text{ А}$ ).

**Вибір кабельної лінії для приєднання двигуна потужністю 500 кВА.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{\text{ек}} = 57,28/1,4 = 40 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо  
найближчий стандартний переріз  $S_{\text{СТ}} = 50 \text{ мм}^2$

(АПВЗВнг- 6 3x50,  $I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}$ ).

**Вибір кабельної лінії для приєднання двигуна потужністю 630 кВА.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{\text{ек}} = 72,17/1,4 = 52 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо  
найближчий стандартний переріз  $S_{\text{ет}} = 70 \text{ мм}^2$

(АПВЭВнг- 6 3x70,  $I_{\text{доп}} = 171 \text{ А}$ ).

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

### **Вибір кабельної лінії що живить РП-31.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{ек} = 1246,4/1,4 = 890,29 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{ст} = 400 \text{ мм}^2$

$$(3 \cdot \text{АПвЭВнг- 6 1x400}, I_{доп} = n I_{ккл} \cdot K_{п} = 3 \cdot 367 \cdot 0,9 = 1269 \text{ А}),$$

де  $K_{п} = 0,9$  враховує зменшення допустимого струму за рахунок нагрівання від сусіднього кабелю при відстані між ними 300 мм і кількості 3 шт. п-кількість кабельних ліній

Отже кожен секцію РП-31 живлять 3-АПвЭВнг- 6 1x400

### **Вибір кабельної лінії що живить РП-32.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{СК} = 2078,51/1,4 = 1484,65 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{СТ} = 300 \text{ мм}^2$

$$(3 \cdot \text{АПвЭВнг- 6 1x300}, I_{доп} = z \cdot n \cdot I_{1ккл} \cdot K_{п} = 2 \cdot 3 \cdot 414 \cdot 0,9 = 2235,6 \text{ А}),$$

де  $K_{п} = 0,9$  враховує зменшення допустимого струму за рахунок нагрівання від сусіднього кабелю при відстані між ними 300 мм і кількості 3 шт; n-кількість кабельних ліній;

z- кількість струмоведучих секції при аварійному режимі

Враховуючи що РП-32 складається з трьох секцій, то живить кожен з них кабель марки 3- АПвЭВнг- 6 1x300, що навіть при вимкненні живлення однієї з секцій, інші дві в аварійному режимі будуть жити всю РП.

### **Вибір кабельної лінії що живить РП-33.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{ек} = 481,3/1,4 = 343,79 \text{ мм}^2.$$

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

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{СТ} = 70 \text{ мм}^2$

$$(3 \cdot \text{АПвЭВнг- 6 1x70}, I_{\text{доп}} = 3 \cdot 186 \cdot 0,9 = 502,2 \text{ А}),$$

Отже кожную секцію РП-33 живлять 3 -АПвЭВнг- 6 1x70

### **Вибір кабельної лінії що живить РП-34.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{\text{ек}} = 1168,97/1,4 = 834,98 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{СТ} = 300 \text{ мм}^2$

$$(3 \cdot \text{АПвЭВнг- 6 1x300}, I_{\text{доп}} = n \cdot I_{\text{кл}} \cdot K_{\text{н}} = 3 \cdot 414 \cdot 0,9 = 1178 \text{ А}),$$

де  $K_{\text{н}}=0,9$  враховує зменшення допустимого струму за рахунок нагрівання від сусіднього кабелю при відстані між ними 300 мм і кількості 3 шт.

$n$ -кількість кабельних ліній

Отже кожную секцію РП-34 живлять 3 -АПвЭВнг- 6 1x300

### **Вибір кабельної лінії що живить РП-35.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{\text{ек}} = 1527,94/1,4 = 1091,39 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{СТ} = 30 \text{ мм}^2$

$$(3 \cdot \text{АПвЭВнг- 6 1x300}, I_{\text{доп}} = n \cdot I_{\text{кл}} \cdot K_{\text{н}} = 3 \cdot 414 \cdot 0,9 = 1178 \text{ А}),$$

де  $K_{\text{н}}= 0,9$  враховує зменшення допустимого струму за рахунок нагрівання від сусіднього кабелю при відстані між ними 300 мм і кількості 3 шт.  $n$ -кількість кабельних ліній

Отже кожную секцію РП-35 живлять 3 -АПвЭВнг- 6 1x300

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

### **Вибір кабельної лінії що живить РП-36.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{ек} = 1271,26/1,4 = 908,04 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{СТ} = 400 \text{ мм}^2$

(3·АПВЭВнг- 6 1х400,  $I_{доп} = n \cdot I_{КЛ} \cdot K_n = 3 \cdot 470 \cdot 0,93 = 1269 \text{ А}$ ), де  $K_n = 0,9$  враховує зменшення допустимого струму за рахунок нагрівання від сусіднього кабелю при відстані між ними 300 мм і кількості 3 шт. n-кількість кабельних ліній.

Отже кожен секцію РП-36 живлять 3-АПВЭВнг- 6 1х400

### **Вибір кабельної лінії що живить РП-37.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{ек} = 422,753/1,4 = 301,96 \text{ мм}^2.$$

найближчий стандартний переріз  $S_{СТ} = 70 \text{ мм}^2$

(3·АПВЗВнг- 6 1 х70,  $I_{доп} = 3186 \cdot 0,9 = 502,2 \text{ А}$ ), де  $K_n = 0,9$  враховує зменшення допустимого струму за рахунок нагрівання від сусіднього кабелю при відстані між ними 300 мм і кількості 3 шт; n-кількість кабельних ліній;

Отже кожен секцію РП-37 живлять 3 · АПВЭВнг- 6 1 х70

### **Вибір кабельної лінії що живить РП-38.**

Економічно вигідний переріз КЛ

$$S_{ек} = 3167/72/1,4 = 2262,66 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{СТ} = 630 \text{ мм}^2$

(3-АПВЭВнг- 6 1х630,  $I_{доп} = z \cdot n \cdot I_{КЛ} \cdot K_n = 2 \cdot 3 \cdot 593 \cdot 0,9 = 3202,2 \text{ А}$ ), де  $K_n = 0,9$  враховує зменшення допустимого струму за рахунок нагрівання від сусіднього кабелю при відстані між ними 300 мм і кількості 3 шт; n -кількість кабельних ліній; z- кількість струмоведучих секцій при аварійному режимі

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

Враховуючи що РП-38 складається з трьох секцій, то живить кожну з них кабель марки 4-АПвЭВнг- 6 1х630, що навіть при вимкненні живлення однієї з секцій, інші дві в аварійному режимі будуть живити всю РП.

### **Вибір ЛП що приєднані до кожного трансформатора ГПП.**

Економічно вигідний переріз ЛП

$$S_{ек} = 330,66/1,1 = 300,6 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до економічно - вигідного перерізу КЛ приймаємо найближчий стандартний переріз  $S_{ст} = 300 \text{ мм}^2$

$$(AC 240/32, I_{доп} = 605 \text{ А}),$$

$$I_{доп} = 605 \text{ А} > I_{м} = 462,93 \text{ А}.$$

Отже кожний ТРДН-80000/110 живить AC 240/32

Розшифровка кабеля

$$3* \text{ АПвЭВнг- 6 1х70}$$

А- алюмінієва жила

Пв- ізоляція з шитого поліетилену

Э- мідний екран по ізольованій жилі

Внг- зовнішня оболочка з ПВХ пластика, не розповсюджує полум'я

Результати вибору кабелів для ГГТП, РП і ТП заносимо у таблицю 9.2.

Результати вибору кабелів для двигунів заносимо в таблицю 9.3.

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

Таблиця 9.2.

Найменування	Параметри мережі				Вибрано переріз		
	$I_{н\text{,}}$ А	$I_{м\text{,}}$ А	$J_{ек\text{,}}$ А/мм	$S_{ек\text{,}}$ мм <sup>2</sup>	$S_{ст\text{,}}$ мм <sup>2</sup>	$I_{доп\text{,}}$ А	Тип провідника
ЛП до ГПП	330,66	462,93	1,1	300,6	300	605	АС 240/32
Від ГПП до РП-31	623,2	1246,4	1,4	890,29	400	1269	6·АПвЭВнг- 6 1х400
Від ГПП до РП-32	692,84	2078,5 1	1,4	1484,6 5	300	2235,6	9·АПвЭВнг- 6 1х300
Від ГПП до РП-33	240,65	481,3	1,4	343,79	70	502,2	6·АПвЭВнг- 6 1х70
Від ГПП до РП-34	584,49	1168,9 7	1,4	834,98	300	1178	6·АПвЭВнг- 6 1х300
Від ГПП до РП-35	763,97	1527,9 4	1,4	1091,3 9	300	1178	6·АПвЭВнг- 6 1х300
Від ГПП до РП-36	635,63	1271,2 6	1,4	908,04	400	1269	6·АПвЭВнг- 6 1х400
Від ГПП до РП-37	211,38	422,75	1,4	301,96	70	502,2	6·АПвЭВнг- 6 1х70
Від ГПП до РП-38	1055,91	3167,7 2	1,4	2262,6 6	630	3202,2	9·АПвЭВнг- 6 1х630

Від РП до ТП 630 кВт			1,4				
Від РП до ТП 863 кВт			1,4				
Від РП до ТП 1000 кВт			1,4				
Від РП до ТП 1600 кВт			1,4				
Від РП до ТП 2000 кВт			1,4				
Від РП до ТП 2500 кВт			1,4				

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Таблиця 9.3.

Параметри двигунів							Параметри провідника		
№	Тип	Марка	n	$P_{ном},$ кВт	$I_{н},$ А	$S_{ек},$ мм <sup>2</sup>	$S_{ст},$ мм <sup>2</sup>	$I_{доп},$ А	Тип
1	СД	СДН15-49-10У3	4	250	28,64	20	35	119	АПвЭВнг-6 3х35
2	СД	СДН14-36-12У3	2	400	45,82	32,71	35	119	АПвЭВнг-6 3х35
3	СД	СДН14-39-12У3	45	500	57,28	40	50	140	АПвЭВнг-6 3х50
4	СД	СДН14-41-8У3	3	630	72,17	52	70	171	АПвЭВнг-6 3х50

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

## 10. Розрахунок струмів короткого замикання.

Короткими замиканнями (КЗ) називають замикання між фазами (фазними провідниками електроустановки), замикання фаз на землю (нульовий провід) в мережах з глухо- та ефективно-заземленими нейтраліями, а також виткові замикання в електричних машинах.

Короткі замикання виникають при порушенні ізоляції електричних мереж. Причини таких порушень різні: старіння, і як наслідок цього, пробій ізоляції, накидання на проводи ліній електропередачі, обриви проводів із падінням на землю, механічні пошкодження ізоляції кабельних ліній при земляних роботах, удари блискавки в лінії електропередач, тощо.

Частіше всього КЗ відбувається через перехідний опір, наприклад через опір електричної дуги, що виникає в місці пошкодження. Іноді виникають металічні КЗ без перехідного опору. Для спрощення аналізу в більшості випадків при розрахунках КЗ розглядається КЗ без врахування перехідного опору.

В трифазних електроустановках виникають три - та двофазні КЗ. Крім того, в трифазних мережах з глухо- та ефективно-заземленими нейтралами можуть виникати однофазні та двофазні КЗ на землю (замикання двох фаз між собою з одночасним з'єднанням їх із землею).

При трифазному КЗ всі фази електричної мережі знаходяться в однакових умовах, тому його називають симетричним. При інших видах КЗ фази знаходяться в різних умовах, в зв'язку із чим векторні діаграми струмів і напруг викривлені. Такі КЗ називають несиметричними .

При КЗ у ланцюгах підвищується струм і зменшується напруга.

					<b>ДП 2025 141</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>				59	
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>					

Підвищення струму КЗ призводить до збільшення втрат електроенергії в провідниках і контактах, що визиває їх підвищений нагрів. Нагрів може прискорити старіння і розклад ізоляції, визвати зварювання і вигорання контактів, втрату механічної міцності шин і проводів і т.гі. Падіння напруги приводить до порушення нормальної роботи ділянок системи електропостачання, а іноді і до розладу її в цілому. У процесі проектування ми визначаємо найбільші значення струму КЗ у всіх характерних точках системи електропостачання.

Розрахунки КЗ проводяться для вибору або перевірки параметрів електрообладнання, а також для вибору або перевірки установок релейного захисту і автоматики.

Розрахунок струмів КЗ з врахуванням дійсних характеристик і дійсного режиму роботи всіх елементів енергосистеми, що складається із багатьох електричних станцій і підстанцій, дуже важкий. Разом із тим, для вирішення багатьох задач, що зустрічаються на практиці, можна вводити припущення, які спрощують розрахунки і не вносять суттєві похибки.

До таких припущень відносять наступні:

- 1) приймається, що фази ЕРС всіх генераторів не змінюються (відсутність качання генераторів) на протязі всього процесу КЗ;
- 2) не враховується насичення магнітних систем, що дозволяє вважати постійними і незалежними від струму індуктивні опори всіх елементів коротко замкненої мережі;
- 3) нехтують намагнічуючими струмами силових трансформаторів;
- 4) не враховують, крім особливих випадків, ємнісні провідності елементів короткозамкненої мережі на землю;
- 5) вважають, що трифазна система є симетричною;
- 6) вплив навантажень на струми КЗ враховують приблизно;
- 7) при обчисленні струмів КЗ як правило нехтують активним опором мережі, якщо відношення  $x/r$  більше трьох.

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

Вказані припущення поряд з припущеннями розрахунків призводять до деякого перевищення реальних струмів КЗ (похибка практичних методів розрахунку не перевищує 10 %, що прийнято вважати допустимим).

При розрахунках струмів КЗ в установках до 1000 В необхідно враховувати опір шин, трансформаторів струму, рубильників, автоматичних вимикачів, параметри яких повинні вказуватися в розрахунковій схемі. В „ цілях спрощення розрахунків для кожної електричного ступеню замість її дійсного значення на шинах вказується середня напруга  $U_{\phi}$  кВ, згідно наступної шкали:

770; 515; 340; 230; 154; 115; 37; 24; 20; 18; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15.

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

## 10.1. Розрахунок струмів короткого замикання на ГПП

Базова потужність і параметри системи:

$$S_{\text{сис}} = \infty; \quad S_{\text{б}} = S_{\text{т.ном}} = 80 \text{ МВА.} \quad \dot{x}_{\text{с}} = 0,14 ;$$

Параметри трансформаторів ГПП-110/

ТРДН-80000/110

$$U_{\text{кВН-НН}} = 10,5 \text{ \%};$$

$$U_{\text{кСН-НН}} = 16.5 \text{ \%}.$$

Опори трансформаторів у відносних одиницях

$$x_{\text{б}}^* = u_{\text{ВН-НН}} - 0,5 \cdot u_{\text{СН-НН}} = 0,105 - 0,5 \cdot 0,165 = 0,0225$$

$$x_{\text{н1}}^* = x_{\text{н2}}^* = u_{\text{н1н2}}^* = 0,165$$

Опори ЛЕП :

$$r_{\text{пл}}^* = r_0 l_{\text{пл}} \frac{S_{\text{б}}}{(U_{\text{ном}}^{\text{ср}})^2} = 0,121 \cdot 10 \cdot \frac{80}{110^2} = 0,008 ;$$

$$x_{\text{пл}}^* = x_0 l_{\text{пл}} \frac{S_{\text{б}}}{(U_{\text{ном}}^{\text{ср}})^2} = 0,44 \cdot 10 \cdot \frac{80}{110^2} = 0,029 .$$

Опори КЛ до самої завантажувальної РП-38  $l = 0,3 \text{ км}$

$$r_{\text{кл.РП}}^* = r_0 \cdot \frac{l_{\text{кл}}}{n_{\text{кб}}} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{(U_{\text{ном}}^{\text{ср}})^2} ;$$

$$x_{\text{кл.РП}}^* = x_0 \cdot \frac{l_{\text{кл}}}{n_{\text{кб}}} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{(U_{\text{ном}}^{\text{ср}})^2} ;$$

$$r_{\text{кл.РП-38}}^* = 0,13 \cdot \frac{0,3}{3} \cdot \frac{80}{6,3^2} = 0,026 ;$$

$$x_{\text{кл.РП-38}}^* = 0,071 \cdot \frac{0,3}{3} \cdot \frac{80}{6,3^2} = 0,014 .$$

									Арк.
									62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$r_{кл.}^* = r_0 \cdot \frac{l_{кл.}}{n_{кб}} \cdot \frac{S_{б}}{(U_{ном}^{сп})^2},$$

$$x_{кл.}^* = x_0 \cdot \frac{l_{кл.}}{n_{кб}} \cdot \frac{S_{б}}{(U_{ном}^{сп})^2},$$

Опір для ТП-1600 кВА

$$r_{кл.ТП1600}^* = 0,13 \cdot \frac{0,24}{1} \cdot \frac{80}{6,3^2} = 0,063;$$

$$x_{кл.ТП1600}^* = 0,076 \cdot \frac{0,24}{1} \cdot \frac{80}{6,3^2} = 0,037.$$

Опір для ТП-2500 кВА

$$r_{кл.ТП2500}^* = 0,261 \cdot \frac{0,24}{1} \cdot \frac{80}{6,3^2} = 0,126$$

$$x_{кл.ТП2500}^* = 0,071 \cdot \frac{0,24}{1} \cdot \frac{80}{6,3^2} = 0,034$$

Опір для СД-400 кВт

$$r_{кл.СД400}^* = 0,894 \cdot \frac{0,24}{1} \cdot \frac{80}{6,3^2} = 0,432$$

$$x_{кл.СД400}^* = 0,087 \cdot \frac{0,24}{1} \cdot \frac{80}{6,3^2} = 0,042$$

Опір для СД-500 кВт

$$r_{кл.СД500}^* = 0,625 \cdot \frac{0,24}{1} \cdot \frac{80}{6,3^2} = 0,504$$

$$x_{кл.СД500}^* = 0,083 \cdot \frac{0,24}{1} \cdot \frac{80}{6,3^2} = 0,04$$

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

Опори КЛ до РП-38; ТП; СД; потужностями 500,400, кВт напишемо у вигляді табл. 10.1

Таблиця 10.1

Приєднання	$S_{\text{кл}}, \text{мм}^2$	$r_{\text{кл}} (r_0)$	$x_{\text{кл}} (x_0)$
РП -38 2 секція	3*630	0,026	0,014
КЛ до ТП 1600 кВт	120	0,063 (0,13)	0,037(0,076)
КЛ до ТП 2500 кВт	240	0,126 (0,261)	0,034(0,071)
СД			
400 кВт	35	0,432 (0,894)	0,042(0,087)
500 кВт	50	0,504 (0,625)	0,04(0,083)

Більш завантажена секція №2, розрахунок будемо проводити для другої секції.

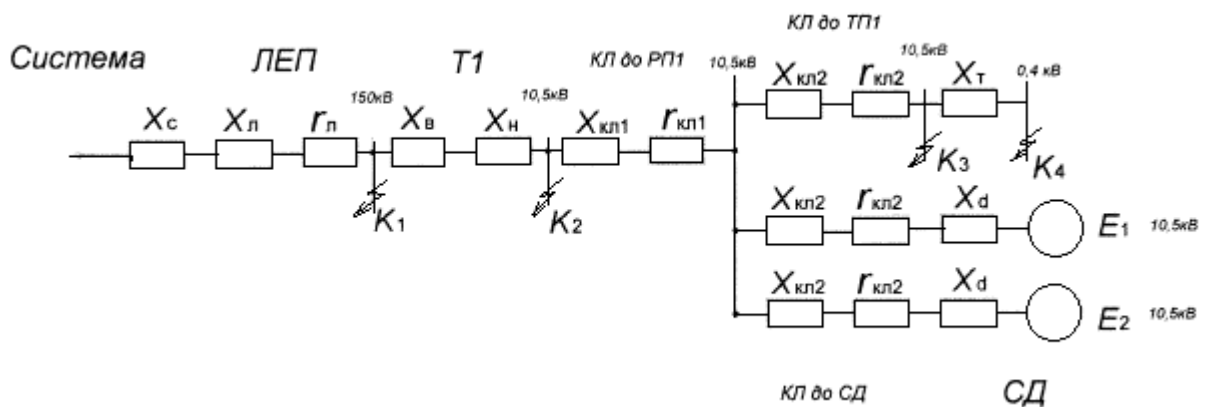


Рис. 10.1 Розрахункова схема

### 10.1.1 Коротке замикання в точці К1

$$S_{\delta} = 80 \text{ МВА}; \quad U_{\delta} = 110 \text{ кВ}; \quad I_{\delta} = \frac{80}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,42.$$

$$Z_{\text{зак.К1}}^* = \sqrt{\left( X_c + X_{\text{лп}} \right)^2 + r_{\text{лп}}^2} = \sqrt{(0,14 + 0,029)^2 + 0,008^2} = 0,169$$

Ударний струм:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_c^{*K1} = \sqrt{2} \cdot 1,608 \cdot 2,49 = 5,66 \text{ кА};$$

де  $I_c^{*K1}$  - надперехідний струм

$$I_c^{*K1} = \frac{I_{\delta}}{Z_{\text{закл}}^{K1}} = \frac{0,42}{0,169} = 2,49 \text{ кА}.$$

Аперіодична складова струму КЗ:

$$i_{\text{афнв}}^c = \sqrt{2} \cdot I_c^{*K1} \cdot e^{-\frac{\phi_{\text{нв}}}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 2,49 \cdot e^{-\frac{0,08}{0,02}} = 0,064 \text{ кА}$$

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

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(1,608 - 1)} = 0,02 \text{ с},$$

де  $k_y = 1,608$  – ударний коефіцієнт.

Час початку розмикання контактів

$$T_{\text{п.в.}} = \tau_{\text{р.з.}} + \tau_{\text{в.в.}}, \\ T_{\text{п.в.}} = 0,01 + 0,07 = 0,08 \text{ с}.$$

Тепловий імпульс:

$$B_k^c = \left( I_c^{*K1} \right)^2 \cdot \left( \Phi_{\text{КЗ}} + T_a^c \right), \\ B_k^c = 2,49^2 \cdot (0,4 + 0,02) = 2,6 \text{ кА}^2 \text{ с}. \\ \tau_{\text{КЗ}} = \tau_{\text{рз}} + \tau_{\text{вв}} = 0,1 + 0,3 = 0,4 \text{ с}.$$

									Арк.
									65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



### Сталі часу двигунів:

$$T_a^D = \frac{T_a^{CD} \cdot I_{CD}''}{I_D''} = \frac{0,05 \cdot 0,102 + 0,05 \cdot 0,552}{0,654} = 0,05 \text{ с;}$$

$$T_D' = \frac{T_{CD}' \cdot I_{CD}''}{I_D''} = \frac{0,07 \cdot 0,102 + 0,07 \cdot 0,552}{0,654} = 0,07 \text{ с.}$$

Струм к.з. з урахуванням двигунів:

$$I_{\Sigma}'' = I_C'' + I_D'',$$

$$I_{\Sigma}'' = 10,37 + 0,654 = 11,024 \text{ кА.}$$

Аперіодична стала схеми з урахуванням двигунів:

$$T_a^{cx} = \frac{T_a^D \cdot I_D'' + T_a^c \cdot I_C''}{I_{\Sigma}''} = \frac{0,05 \cdot 0,654 + 0,02 \cdot 10,37}{11,024} = 0,021 \text{ с.}$$

Тепловий імпульс від системи з урахуванням підживлення к.з. від двигунів:

$$B_k^{\Sigma} = (I_C'')^2 \cdot (\tau_{к.з.} + T_a^{cx}) + (I_D'')^2 \cdot (0,5 \cdot T_D' + T_a^{cx}) + 2 \cdot I_C'' \cdot I_D'' \cdot (T_D' + T_a^{cx}),$$

$$B_k^{\Sigma} = 10,37^2 \cdot (0,4 + 0,021) + (0,654)^2 \cdot (0,5 \cdot 0,06 + 0,021) + 2 \cdot 10,37 \cdot 0,654 \cdot (0,06 + 0,021) = 46,39 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Перевіряємо кабелі, що живлять двигуни за умовою:

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k^y}}{C} \leq S_{CT}^{KL}$$

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{46,39 \cdot 10^6}}{90} = 75,68 \text{ мм}^2 \geq S_{CT}^{KL} = 50 \text{ мм}^2, \text{ беремо переріз кабеля } 75 \text{ мм}^2$$

Ударний струм КЗ:

$$i_y^{K2} = i_{y,c} + i_{y,D} = \sqrt{2} (k_y I_{cK2}'' + k_y^{CD} I_{CD}'' + k_y^{AD} I_{AD}'')$$

$$i_y^{K2} = 1,41 \cdot (1,8 \cdot 10,37 + 1,8 \cdot 0,654) = 27,98 \text{ кА}$$

									Арк.
									67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Діюче значення аперіодичної складової КЗ:

$$I_{\Phi_{ПВ}}^{СД} = v_c I_{СД}'' = 0,6 \cdot 0,654 = 0,392 \text{ кА}; \quad I_{\Phi_{ПВ}}^C = I_C'' = 2,49 \text{ кА}$$

$$I_{\tau_{ПВ}}^{К2} = I_{\tau_{ПВ}}^{СД} + I_{\Phi_{ПВ}}^C = 0,392 + 2,49 = 2,88 \text{ кА}$$

Миттєве значення аперіодичної складової струму КЗ:

$$i_{a\Phi_{ПВ}}^{СД} = \sqrt{2} \cdot I_{СД}'' \cdot e^{\frac{-\Phi_{ПВ}}{T_a}} = 1,41 \cdot 0,654 \cdot e^{\frac{-0,08}{0,047}} = 0,168 \text{ кА}$$

$$i_{\tau_{ПВ}}^{К2} = i_{\tau_{ПВ}}^C + i_{a\Phi_{ПВ}}^{СД} = 2,49 + 0,168 = 2,66 \text{ кА}$$

### 10.1.3 Коротке замикання в точці КЗ на шинах ВН ТП.

$$Z_{зак.КЗ}^* = Z_{зак.К2}^* + \sqrt{(x_{кз1}^* + x_{кз2}^*)^2 + (r_{кз1}^* + r_{кз2}^*)^2} = 0,36 + \sqrt{(0,014 + 0,034)^2 + (0,026 + 0,126)^2} = 0,52$$

Надперехідне початкове значення періодичної складової струму КЗ.

$$I_{с.кз}'' = \frac{1}{Z_{зак.КЗ}^*} \cdot I_6 = \frac{1}{0,52} \cdot 7,33 = 14,1 \text{ кА}$$

Ударний струм

$$i_y^{КЗ} = \sqrt{2} k_y I_{с.кз}'' = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 14,1 = 35,78 \text{ кА}$$

Аперіодична складова струму КЗ

$$i_{a\Phi_{ПВ}}^{СД} = \sqrt{2} \cdot I_{с.кз}'' \cdot e^{\frac{-\Phi_{ПВ}}{T_a}} = 1,41 \cdot 14,1 \cdot e^{\frac{-0,08}{0,05}} = 4,01 \text{ кА}$$

Струми підживлення к.з. від СД:

$$I_{СД}'' = \sum_{i=1}^n \frac{n_{СДi} \cdot I_{номі}^{СД} \cdot 10^{-3}}{\sqrt{(\Gamma_{кзі})^2 + (X_{кзі} + X_{СДi})^2}}; ,$$

$$I_{СД400}'' = \frac{n_{СДi} \cdot I_{номі}^{СД} \cdot 10^{-3}}{\sqrt{(\Gamma_{кзі})^2 + (X_{кзі} + X_{СДi})^2}} = \frac{45,82 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{(0,432)^2 + (0,042 + 0,087)^2}} = 0,102 \text{ кА}$$

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

$$I_{CD500}'' = \frac{n_{CDi} \cdot I_{НОМІ}^{CD} \cdot 10^{-3}}{\sqrt{(r_{квi})^2 + (X_{квi} + X_{CDi})^2}} = \frac{(5 \cdot 57,28) \cdot 10^{-3}}{\sqrt{(0,504)^2 + (0,04 + 0,083)^2}} = 0,552 \text{ кА}$$

Сумарний струм підживлення к.з. від двигунів:

$$I_D'' = I_{CD400}'' + I_{CD500}'' ,$$

$$I_D'' = 0,102 + 0,552 = 0,654 \text{ кА кА.}$$

Аперіодична та періодична сталі часу для СД:

$$T_a^{CD} = 0,05 \text{ с}; \quad T_{CD}' = 0,07 \text{ с};$$

Ударні коефіцієнти:

$$k_y^{CD} = 1,8;$$

Сталі часу двигунів:

$$T_a^D = \frac{T_a^{CD} \cdot I_{CD}''}{I_D''} = \frac{0,05 \cdot 0,102 + 0,05 \cdot 0,552}{0,654} = 0,05 \text{ с};$$

$$T_D' = \frac{T_{CD}' \cdot I_{CD}''}{I_D''} = \frac{0,07 \cdot 0,102 + 0,07 \cdot 0,552}{0,654} = 0,07 \text{ с.}$$

Струм к.з. з урахуванням двигунів:

$$I_{\Sigma}'' = I_C'' + I_D'' ,$$

$$I_{\Sigma}'' = 14,1 + 0,654 = 14,754 \text{ кА кА.}$$

Аперіодична стала схеми з урахуванням двигунів:

$$T_a^{\Sigma} = \frac{T_a^D \cdot I_D'' + T_a^C \cdot I_C''}{I_{\Sigma}''} = \frac{0,05 \cdot 0,654 + 0,02 \cdot 14,1}{14,754} = 0,021 \text{ с.}$$

Тепловий імпульс від системи з урахуванням підживлення к.з. від двигунів:

$$B_k^{\Sigma} = (I_C'')^2 \cdot (\tau_{к.з.} + T_a^{CX}) + (I_D'')^2 \cdot (0,5 \cdot T_D' + T_a^{CX}) + 2 \cdot I_C'' \cdot I_D'' \cdot (T_D' + T_a^{CX}) ,$$

$$B_k^{\Sigma} = 14,1^2 \cdot (0,4 + 0,021) + 0,654^2 \cdot (0,5 \cdot 0,07 + 0,021) + 2 \cdot 14,1 \cdot 0,654 \cdot (0,07 + 0,021) = 85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

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

Перевіряємо кабелі, що живлять двигуни за умовою:

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_K^\Sigma}}{C} \leq S_{\text{СТ}}^{\text{КЛ}}$$

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{85 \cdot 10^6}}{90} = 102,44 \text{ мм}^2 \geq S_{\text{СТ}}^{\text{КЛ}} = 50 \text{ мм}^2, \text{ беремо переріз кабеля } 120 \text{ мм}^2$$

Ударний струм КЗ:

$$i_y^{\text{КЗ}} = i_{y.c} + i_{y.д} = \sqrt{2} \cdot (k_y I_{\text{СК2}}'' + k_y^{\text{СД}} I_{\text{СД}}'')$$

$$i_y^{\text{КЗ}} = 1,41 \cdot (1,8 \cdot 14,1 + 1,8 \cdot 0,654) = 37,45 \text{ кА}$$

Діюче значення аперіодичної складової КЗ:

$$I_{\text{ФТВ}}^{\text{СД}} = v_c I_{\text{СД}}'' = 0,6 \cdot 0,654 = 0,3924 \text{ кА}; \quad I_{\text{ФТВ}}^{\text{С}} = I_{\text{С}}'' = 2,19 \text{ кА}$$

$$I_{\text{ФТВ}}^{\text{КЗ}} = I_{\text{ФТВ}}^{\text{СД}} + I_{\text{ФТВ}}^{\text{С}} = 0,3924 + 2,49 = 2,88 \text{ кА}$$

Миттєве значення аперіодичної складової струму КЗ:

$$i_{a\tau_{\text{ПВ}}}^{\text{СД}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{СД}}'' \cdot e^{\frac{-\tau_{\text{ПВ}}}{T_a}} = 1,41 \cdot 0,654 \cdot e^{\frac{-0,08}{0,047}} = 0,168 \text{ кА};$$

$$i_{\text{ФТВ}}^{\text{КЗ}} = i_{\text{ФТВ}}^{\text{С}} + i_{a\tau_{\text{ПВ}}}^{\text{СД}} = 0,654 + 0,168 = 0,822 \text{ кА}.$$

#### 10.1.4 Розрахунок струмів короткого замикання на шинах НН ТП (точка К4)

Визначаємо опори елементів і приводимо їх до номінальної напруги НН ТП тобто до  $U_{\text{ном}} = 0,4 \text{ кВ}$ .

Опір контактів для цехових ТП  $r_k = 20 \text{ мОм}$ .

Опори ПЛ, що йдуть від джерела:

$$r_{\text{ПЛ}}^* = r_0 \frac{1_{\text{ПЛ}}}{n_{\text{ПЛ}}} \left( \frac{U_{\text{ном}}^{\text{НН}}}{U_{\text{ном}}^{\text{ВН}}} \right)^2 10^3 = 0,121 \cdot \frac{10}{2} \cdot \frac{0,4^2}{110^2} 10^3 = 0,008 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{ПЛ}}^* = X_0 \frac{1_{\text{ПЛ}}}{n_{\text{ПЛ}}} \left( \frac{U_{\text{ном}}^{\text{НН}}}{U_{\text{ном}}^{\text{ВН}}} \right)^2 10^3 = 0,44 \cdot \frac{10}{2} \cdot \frac{0,4^2}{110^2} 10^3 = 0,029 \text{ мОм}.$$

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

Опір кабельних ліній, що живлять РП

$$* \quad r_{\text{кл.РП-38}} = r_0 \frac{l_{\text{кл}}}{n_{\text{кл}}} \left( \frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,13 \cdot \frac{0,3}{3} \cdot \frac{0,4^2}{6,3^2} \cdot 10^3 = 0,052 \text{ мОм};$$

$$* \quad X_{\text{кл.РП-38}} = X_0 \frac{l_{\text{кл}}}{n_{\text{кл}}} \left( \frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,071 \cdot \frac{0,3}{3} \cdot \frac{0,4^2}{6,3^2} \cdot 10^3 = 0,029 \text{ мОм}.$$

Опір кабельних ліній, що живлять ТП

$$* \quad r_{\text{кл.ТП2500}} = r_0 \frac{l_{\text{кл}}}{n_{\text{кл}}} \left( \frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,261 \cdot \frac{0,24}{1} \cdot \frac{0,4^2}{6,3^2} \cdot 10^3 = 0,25 \text{ мОм};$$

$$* \quad X_{\text{кл.ТП630}} = X_0 \frac{l_{\text{кл}}}{n_{\text{кл}}} \left( \frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,071 \cdot \frac{0,24}{1} \cdot \frac{0,4^2}{6,3^2} \cdot 10^3 = 0,069 \text{ мОм}.$$

Опір трансформаторів на ГПП

$$r_{\text{ГПП}} = \frac{\Delta P_{\text{к}}}{(S_{\text{НОМ}}^T)^2} \cdot (U_{\text{НОМ}}^{\text{ср}})^2 \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3,$$

$$r_{\text{ГПП}} = \frac{310 \cdot 10^3}{80000^2} \cdot (110)^2 \cdot \left( \frac{0,4}{110} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,008 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{ГПП}} = \sqrt{(10 \cdot U_{\text{к}})^2 - \frac{\Delta P_{\text{к}}}{(S_{\text{НОМ}}^T)^2}} \cdot \frac{(U_{\text{НОМ}}^{\text{ср}})^2}{S_{\text{НОМ}}^T} \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3,$$

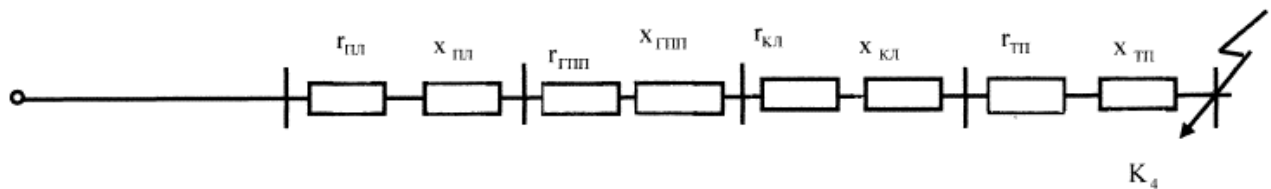
$$x_{\text{ГПП}} = \sqrt{(10 \cdot 10,5)^2 - \frac{310 \cdot 10^3}{80000^2}} \cdot \frac{6,3^2}{2500} \cdot \left( \frac{0,4}{6,3} \right)^2 \cdot 10^3 = 6,72 \text{ мОм};$$

Опір трансформаторів на ТП:

$$r_{\text{ТП}} = \frac{\Delta P_{\text{к}}}{(S_{\text{НОМ}}^T)^2} \cdot (U_{\text{НОМ}}^{\text{ср}})^2 \cdot 10^3 = \frac{16,5 \cdot 10^3}{2500^2} \cdot 0,4^2 \cdot 10^3 = 0,422 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{ТП}} = \sqrt{(10U_{\text{к}})^2 - \frac{\Delta P_{\text{к}}}{(S_{\text{НОМ}}^T)^2}} \cdot \frac{(U_{\text{НОМ}}^{\text{ср}})^2}{S_{\text{НОМ}}^T} \cdot 10^3 = \sqrt{(10 \cdot 5,5)^2 - \frac{16,5 \cdot 10^3}{2500^2}} \cdot \frac{0,4^2}{2500} \cdot 10^3 = 3,52 \text{ мОм}.$$

									Арк.
									71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



Сумарні опори:

$$r_{\Sigma} = r_{ПЛ} + r_{ГПП} + r_{КЛРП} + r_{КЛТП} + r_{ТП} + r_{к} = 20,812 \text{ мОм}$$

$$x_{y} = x_{ПЛ} + x_{ГПП} + x_{КЛРП} + x_{КЛТП} + x_{ТП} = 10,367 \text{ мОм}$$

$$z_{y} = \sqrt{r_{y}^2 + x_{y}^2} = \sqrt{20,812^2 + 10,367^2} = 23,25 \text{ мОм}$$

Початковий струм к.з.:

$$I''_{с.к4} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3}z_{y}} = \frac{400}{1,73 \cdot 23,25} = 9,94 \text{ кА}$$

Ударний струм к.з.:

$$i_{y} = \sqrt{2} \cdot k_{y} \cdot I''_{с.к4} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 9,94 = 25,23 \text{ кА}$$

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

## 11. Розрахунок освітлення складу ГСМ.

Розрахунок освітлення цеху проводиться методом світлового потоку  
(методом коефіцієнту використання):

$$\Phi = \frac{\kappa_3 E_{\min} S z}{N \eta}$$

де  $\kappa_3$  - коефіцієнт запасу, визначається за довідником ;

$E_{\min}$  - мінімальна освітленість, лк, для даного виду робіт  $E_{\min} = 200$  лк;

$S$  - площа освітлювального приміщення, м<sup>2</sup>;  $S = 3600$  м<sup>2</sup>;

$z$ -коефіцієнт нерівномірності освітлення;  $z = 1,1 \dots 1,15$ ;

$N$  - прийнята кількість світильників, шт.;

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку.

$h$  - висота підвісу світильників,  $h = 12 - 1,4 - 0,8 = 9,8$  м.

Коефіцієнт використання світлового потоку ( $\eta$ ) визначається за довідковими таблицями в залежності від типу прийнятого світильника, коефіцієнтів відбиття від поверхонь приміщення і від індексу приміщення  $i$ ; останній визначається за виразом:

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

$$i = \frac{2244}{(34 + 66) \cdot 9,8} = 2,3.$$

Приймаємо коефіцієнт відбивання  $\rho_{\text{п}} = 50\%$ ,  $\rho_{\text{с}} = 30\%$ ,  $\rho_{\text{р}} = 10\%$ , тоді при  $i = 2,3$ .  
 $\eta = 0,7\%$ .

**Світловий потік:**

$$Q_i = \frac{1,5 \cdot 200 \cdot 2244 \cdot 1,15}{0,7} = 1774285 \text{ лм.}$$

Тип світильників та ламп обираємо згідно каталогу фірм виробників.  
Обираємо світильник РСП-20-1000, тип лампи HPL Comfort/HP L-H 1000

$$\Phi = 42000 \text{ лм, } \cos \varphi_{\theta} = 0,85.$$

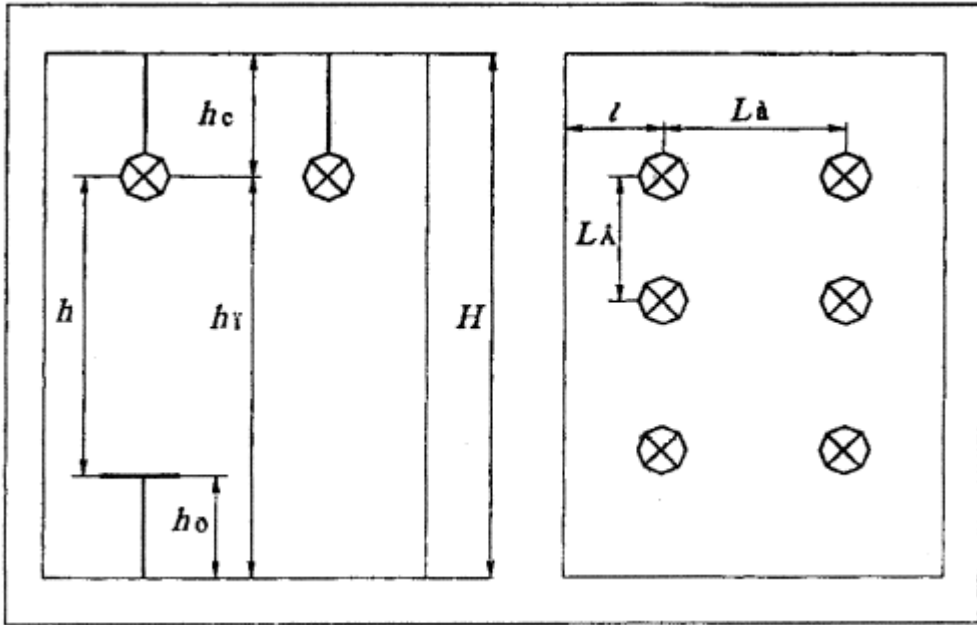
Необхідна кількість світильників:

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

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_s}$$

$$N = \frac{1774285}{42000} = 42$$

Розраховуємо кількість світильників в ряду і кількість рядів.



Приклад розміщення світильників цеху.

Після прийняття схеми розміщення світильників проводиться перевірка освітленості в найбільш характерній точці точковим методом по кривим просторових ізольокс прийнятого світильника згідно виразу:

$$E = \frac{\Phi_{св} \cdot \mu \cdot \sum_{i=1}^n e_i}{1000 \cdot \kappa_3}$$

де  $\Phi_{св}$  - світловий потік прийнятого світильника, лм;

$\mu$  - коефіцієнт не врахування освітленості від інших світильників  $\mu=1,1 \dots 1,2$ .

$\sum_{i=1}^n e_i$  - сума освітленості від світильників згідно кривих просторових ізольокс, лк;

ізольокс, лк;

$n$  - кількість врахованих світильників.

$$E = \frac{42000 \cdot 1,15 \cdot 8,2}{1000 \cdot 1,5} = 264,04 \text{лк.}$$

Отримане значення освітленості не повинно бути меншим ніж на 10 % значення мінімальної освітленості.

Повна активна потужність освітлювального навантаження при коефіцієнті попиту  $K_p=0,9$ , визначається за формулою:

$$P_{\text{осв.}} = N \cdot P_H \cdot K_n.$$

$$Q_o = P_o \cdot \text{tg}\phi.$$

$$P_o = 1000 \cdot 42 \cdot 0,9 = 40,7 \text{кВт.}$$

$$Q_o = 40,7 \cdot 0,72 = 29,3 \text{квар.}$$

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

## 12. Вибір високовольтного обладнання

В даному розділі будемо вибирати високовольтну комутаційну апаратуру: високовольтні вимикачі та роз'єднувач в приєднанні трансформатора зв'язку із системою.

Вимикач - це комутаційний апарат, який призначено для включення та відключення струму. Вимикач є основним апаратом в електричних установках, він служить для відключення і включення мережі в будь-яких режимах: довготривале навантаження, перевантаження, коротке замикання, холостий хід, несинхронна робота. Найбільш важкою і відповідальною операцією є відключення струмів КЗ і включення на існуюче коротке замикання. До вимикачів високої напруги пред'являються наступні вимоги:

- надійне відключення будь-яких струмів;
- швидкодія, тобто найменший час відключення;
- здатність для швидкодіючого автоматичного повторного включення, тобто швидке включення вимикача одразу після відключення;
- легкість ревізії;
- вибухо- та пожежобезпека;
- зручність транспортування і експлуатації.

Вимикачі високої напруги повинні витримувати протягом тривалого часу номінальний струм  $I_{ном}$  та номінальну напругу  $U_{ном}$ .

У розподільчих пристроях 6...10 кВ рекомендується використовувати пожежо- та вибухобезпечні вакуумні вимикачі.

					<b>ДП 2025 141</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Вибір високовольтного обладнання</b>					
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>						76		
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								

Роз'єднувач - це контактний комутаційний пристрій, який призначено для відключення та включення електричних ланцюгів без струму, або із незначним струмом, який для забезпечення безпеки має між контактами у відключеному положенні ізоляційний проміжок.

При ремонтних роботах роз'єднувачем виконується видимий розрив між частинами, що залишаються під напругою і апаратами, що виведені в ремонт.

Роз'єднувачем заборонено відключати струми навантаження, оскільки їх контактна система не має дугогасячих пристроїв і у випадку помилкового відключення струмів навантаження виникає стійка дуга, яка може привести до міжфазного КЗ і нещасним випадкам з обслуговуючим персоналом. Перед операцією роз'єднувачем ланцюг має бути розімкнено за допомогою вимикача.

Але, для спрощення схем електроустановок допускається використовувати роз'єднувачі для виконання наступних операцій: - відключення і включення нейтралей трансформаторів і заземлюючих дугогасячих реакторів при відсутності замикання на землю;

- зарядного струму шин і обладнання всіх напруг (окрім батарей конденсаторів);

- струму навантаження до 15 А триполюсними роз'єднувачами зовнішньої установки при напрузі 10 кВ та нижче.

Роз'єднувачам дозволяється відключати і включати незначний струм повітряних і кабельних ліній.

### 12.1. Вибір високовольтних вимикачів.

Вибір високовольтного вимикача проведемо на прикладі вибору високовольтного вимикача в приєднанні трансформатора ГПП 110 кВ.

В даній точці мережа характеризується такими параметрами:

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

- номінальна напруга  $U_{\text{мер}} = 110 \text{ кВ}$ ,
- струм максимального режиму  $I_{\text{м}} = 630 \text{ А}$ ,
- струм КЗ  $I_{0.0} = 2,49 \text{ кА}$ ,
- ударний струм  $i_{\text{уд}} = 5,66 \text{ кА}$ ,
- тепловий імпульс  $B_{\text{к}} = 2,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ .

Вибираємо вимикач типу ВГУ-110 11-12,5/630 У1

ВГ - вимикач газовий; В - конструктивне виконання; 110 - номінальна напруга, кВ; II - категорія зовнішньої ізоляції по довжині дороги витоку відповідно до ГОСТ 9920-89; 12,5 - номінальний струм відключення, кА; 630 - номінальний струм, А; У1 - кліматичне виконання і категорія розміщення .

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Елегазовий вимикач

Вимикачем є комплексний апарат, що складається з власне вимикача, приводу і шести введень з вбудованими трансформаторами струму.

Власне вимикач складається з металевого заземленого бака, усередині якого розташовані нерухомі і рухливі контакти, а також дугогасильний пристрої, засновані на прогресивному принципі гасіння електричної дуги шляхом її обертання в магнітному полі.

Кожна фаза вимикача має 4 вбудованих трансформатора струму - 2 захисних і 2 вимірювальних, розрахованих на весь діапазон первинних номінальних струмів (від 50 до 630 А). Перемикання відведень для виміру коефіцієнта трансформації робиться без розбирання вимикача.

Вимикачі випускаються в двох виконаннях:

- вимикач з електромагнітним приводом постійного струму (типове позначення ВГУ-110 11-12,5/630 У1). За замовленням привід цього вимикача забезпечується вбудованим випрямлячем для живлення вмикаючого електромагніту від мережі змінного струму, при цьому забезпечується включення на струми к.з. аж до 12,5 кА, у тому числі і при залежному живленні без індуктивних накопичувачів енергії;
- вимикач з електромагнітним приводом змінного струму (ВГУ- 110 11-12.5/630 У1). У цьому приводі поєднуються якості, властиві як електромагнітному приводу постійного струму (простота і надійність), так і пружинному приводу (автономність). Він має блок розчіплювачів (реле прямої дії), аналогічних розчіплювачам пружинного приводу типу ПП-67: два струмові розчіплювані на 5 А (або 3 А) і один розчіплювач незалежного живлення на 220 В (або 110 В) змінного або постійного струму. Привід забезпечений вбудованими випрямлячами для живлення що включає, відключає електромагніти і котушки контактора.

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

• По окремому замовленню на партію вимикачів може виготовлятися пружинна приставка до приводу, що виробляє оперативне включення за відсутності електроживлення вторинних ланцюгів.

Вимикач забезпечений сигналізатором електроконтакта тиску елегазу з температурною компенсацією, що автоматично приводить його свідчення до температури + 20°C. Сигналізатор забезпечує візуальний контроль за рівнем тиску елегазу у вимикачі і має два уставки, на попереджувальний сигнал при пониженні тиску до 0,33 МПа і на відключення вимикача при падінні тиску нижче 0,3 МПа. Вимикач відповідає вимогам ГОСТ-687 і МЕК.

Умови вибору:

1) Номінальна напруга вимикача дорівнює напрузі мережі

$$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ} = U_{\text{ном.мер.}} = 110 \text{ кВ.}$$

2) Номінальний струм вимикача більше максимального струму в даній точці мережі

$$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А} > I_{\text{м}} = 420 \text{ А.}$$

Виконання перших двох умов означає, що вимикач придатний до роботи в довготривалих робочих режимах.

3) Номінальний струм відключення більше за струм трифазного КЗ в момент 0,2 с

$$I_{\text{н.в}} = 12,5 \text{ кА} > I_{0,0} = 2,49 \text{ кА.}$$

4) Найбільший струм відключення вимикача більше за миттєве значення струму КЗ мережі, що відключається:

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{н.в}} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100}\right) > \sqrt{2} \cdot (I_{0,0} + i_{\text{А}})$$

$$\sqrt{2} \cdot 12,5 \cdot \left(1 + \frac{12,5}{100}\right) = 19,887 > \sqrt{2} \cdot (2,49 + 0,064) = 3,61 \text{ кА}$$

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

Третя та четверта умови показують здатність відключати без пошкоджень струмами КЗ.

5) Найбільший струм динамічної стійкості вимикача більше за діюче значення струму КЗ в даній точці мережі

$$I_{\text{дин.}} = 12,5 \text{ кА} > i_{\text{уд}} = 5,66 \text{ кА.}$$

6) Діюче значення струму динамічної стійкості вимикача більше за діюче значення струму КЗ в даній точці мережі

$$i_{\text{дин}} = 32 \text{ кА} > I_{0,0} = 2,49 \text{ кА.}$$

П'ята та шоста умови показують електродинамічну стійкість вимикача до струмів КЗ в даній точці.

7) Струм термічної стійкості вимикача, помножений на час термічної стійкості більше за тепловий імпульс в даній точці мережі

$$I_t^2 \cdot \tau = 12,5^2 \cdot 4 = 625 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 2,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Сьома умова характеризує термічну стійкість вимикача до струмів КЗ в даній точці мережі.

Для інших приєднань проводимо вибір високовольтних вимикачів в табличній формі за аналогією.

Вибираємо вимикач в приєднанні на відходящих лініях ГПП до РП встановлюємо вакуумний вимикач типу VD4 1225-50

Таблиця 12.1

$U_{\text{НОМ}} = 6,3 \text{ кВ}$	$= U_{\text{НОМ}} = 6,3 \text{ кВ}$
$I_{\text{НОМ}} = 2500 \text{ А}$	$> I_{\text{МАХ}} = 2111 \text{ А}$
$I_{\text{НОМ.ВІДКЛ.}} = 50 \text{ кА}$	$> I_{0,0} = 10,37 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМ.ВІДКЛ.}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right) = \sqrt{2} \cdot 50 \cdot \left(1 + \frac{50}{100}\right) = 106,06 \text{ кА}$	$> \sqrt{2} \cdot I_{0,0} + i_A = \sqrt{2} \cdot 10,37 + 0,27 = 14,94 \text{ кА}$
$I_{\text{ДИН}} = 50 \text{ кА}$	$> I_{0,0} = 10,37 \text{ кА}$
$i_{\text{ДИН}} = 125 \text{ кА}$	$> i_y = 27,98 \text{ кА}$
$I_t^2 \cdot \tau = 50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$> B_k = 46,39 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вибираємо секційний вимикач на ГПП. Встановлюємо вакуумний вимикач типу VD4 1240-40

Таблиця 12.2.

$U_{\text{ном}} = 6,3 \text{ кВ}$	$\geq$	$U_{\text{ном}} = 6,3 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}} = 4000 \text{ А}$	$\geq$	$I_{\text{мах}} = 3356 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.}} = 40 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{0,0} = 10,37 \text{ кА}$
$\sqrt{2}I_{\text{н.відкл.}} \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right) = 1,41 \cdot 40 \left(1 + \frac{40}{100}\right) = 78,96 \text{ кА}$	$\geq$	$\sqrt{2} \cdot I_{0,0} + i_{\text{А}} = \sqrt{2} \cdot 10,37 + 0,27 = 14,94 \text{ кА}$
$I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{0,0} = 10,37 \text{ кА}$
$i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$	$\geq$	$i_{\text{у}} = 27,98 \text{ кА}$
$I_{\tau}^2 \cdot \tau = 40^2 \cdot 4 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$\geq$	$B_{\text{К}} = 46,39 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вибираємо вимикач в приєднанні на відходящих лініях від РП до силових трансформаторів і двигунів в цехах. Встановлюємо вакуумний вимикач типу У04 1231-25

Таблиця 12.3.

$U_{\text{ном}} = 6,3 \text{ кВ}$	$\geq$	$U_{\text{ном}} = 6,3 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$\geq$	$I_{\text{мах}} = 340 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.}} = 25 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{0,0} = 14,754 \text{ кА}$
$\sqrt{2}I_{\text{н.відкл.}} \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right) = 1,41 \cdot 25 \left(1 + \frac{25}{100}\right) = 44,06 \text{ кА}$	$\geq$	$\sqrt{2} \cdot I_{0,0} + i_{\text{А}} = \sqrt{2} \cdot 14,8 + 2,88 = 23,82 \text{ кА}$
$I_{\text{дин}} = 25 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{0,0} = 14,754 \text{ кА}$
$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$\geq$	$i_{\text{у}} = 37,45 \text{ кА}$
$I_{\tau}^2 \cdot \tau = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$\geq$	$B_{\text{К}} = 85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вибираємо секційний вимикач на РП. Встановлюємо вакуумний вимикач типу VD4 1212-40

Таблиця 12.4.

$U_{\text{ном}} = 6,3 \text{ кВ}$	$\geq$	$U_{\text{ном}} = 6,3 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}} = 1250 \text{ А}$	$\geq$	$I_{\text{мах}} = 1055 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.}} = 50 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{0,0} = 14,754 \text{ кА}$
$\sqrt{2}I_{\text{н.відкл.}} \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right) = 1,41 \cdot 50 \left(1 + \frac{50}{100}\right) = 105,75 \text{ кА}$	$\geq$	$\sqrt{2} \cdot I_{0,0} + i_{\text{А}} = \sqrt{2} \cdot 14,8 + 2,88 = 23,82 \text{ кА}$
$I_{\text{дин}} = 50 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{0,0} = 14,754 \text{ кА}$
$i_{\text{дин}} = 125 \text{ кА}$	$\geq$	$i_{\text{у}} = 37,45 \text{ кА}$
$I_{\tau}^2 \cdot \tau = 50^2 \cdot 4 = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$\geq$	$B_{\text{К}} = 85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Трансформатор вибраний типу ТРДН-80000/110-У1.

Вибір представлений в техніко-економічному розрахунку.

Трансформатор силовий масляний, трифазний, двообмотковий, з розщепленою обмоткою НН потужністю 80000 кВА, з природною циркуляцією масла і примусовою циркуляцією повітря, з регулюванням напруги під навантаженням (РПН), з діапазоном регулювання  $\pm 8-1,5\%$  і підвищеною стійкістю до струмів короткого замикання.

Виготовляється для країн з помірним кліматом, з перепадом температур від  $-45^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ . Трансформатор має плоськошихтовану магнітну систему з високоякісної електротехнічної сталі. Вживання для регулювання напруги пристрою РПН передбачає можливість місцевого, дистанційного і автоматичного управління. Трансформатор комплектується пристроями і приладами контролю і захисту. Вживання трансформаторів типу ТРДН забезпечить споживачеві надійне електропостачання на протязі всього терміну експлуатації.

#### 12.2. Вибір роз'єднувача в приєднанні трансформатора.

Роз'єднувачі високовольтні призначені для включення і відключення знеструмлених ділянок електричних ланцюгів високої напруги, що знаходяться під напругою, 110 кВ, а також заземлення відключених ділянок за допомогою заземлювачів.

Роз'єднувачі складаються з окремих полюсів, які можуть використовуватися в однополюсному або триполюсному варіантах установки. Полюс роз'єднувача виконаний у вигляді колонкового апарату з розворотом головних ножів в горизонтальній площині і складається з цоколя ізоляційних колонок, струмоведучої системи і заземлюючого пристрою. Струмоведуча система є двома контактним ножем. Кожен ніж складається з підстави, на якій кріпляться паралельно дві мідні шини в роз'єднувачів на 1000 А, розташовані в два яруси - в роз'єднувачів на 2000 А. Один кінець шин гнучкими зв'язками сполучений з контактним

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

виводом, а на іншому утворений роз'ємний контакт. Обертанням ізоляційних колонок здійснюється операції «Включення» і «Відключення». Важелі колонок сполучені між собою внутрішньо полюсовою тягою і міжполюсовою тягою, що повертають колонки всіх полюсів роз'єднувача на 90 градусів. Управління роз'єднувачами здійснюється за допомогою приводів ПР-У1.

Вибір роз'єднувача в приєднанні трансформатора проведемо в табличній формі. Роз'єднувач вибирається за умови нормальної роботи в довготривалому робочому режимі і перевіряється на здатність витримувати струми КЗ, тобто роз'єднувач має бути термічно і динамічно стійким до струмів КЗ. За умовами здатності відключати струми КЗ роз'єднувач не перевіряється.

Вибираємо високовольтний роз'єднувач типу РНДЗ.2-110У/1000У1

Таблиця 12.6

$U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}$	=	$U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}$
$I_{НОМ} = 1000 \text{ А}$	>	$I_{МАХ} = 587 \text{ А}$
$i_{дин} = 31,5 \text{ кА}$	>	$i_y = 5,56 \text{ кА}$
$I_{дин} = i_{дин}/2,55 = 31,5/2,55 = 12,35 \text{ кА}$	>	$I_{0,0} = 2,49 \text{ кА}$
$I\tau^2 \cdot \tau = 31,5^2 \cdot 4 = 3969 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	>	$B_K = 2,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

### 12.3. Вибір трансформаторів струму

Вибір трансформаторів струму ТС в приєднанні живлячих ліній.

Вибираємо ТФЗМ-110А1-У1.

$$I_{НОМ} = 600 \text{ А} \leq I_{МАХ} = 1200 \text{ А}$$

$$U_{НОМ} = 110 \text{ кВ} \geq U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}$$

$$K_T = 0,5; z_{2НОМ} = 1,6 \text{ Ом}; I_{2НОМ} = 5 \text{ А.}$$

Таблиця 12.7

Прилад	Тип	Навантаження, В·А		
		фаза А	фаза В	фаза С
Амперметр	Э-335	0,5	-	-
Лічильник акт. енергії	И-672	2,5	-	2,5
Лічильник реакт. енергії	И-673	2,5	-	2,5
Разом	-	5,5	-	5

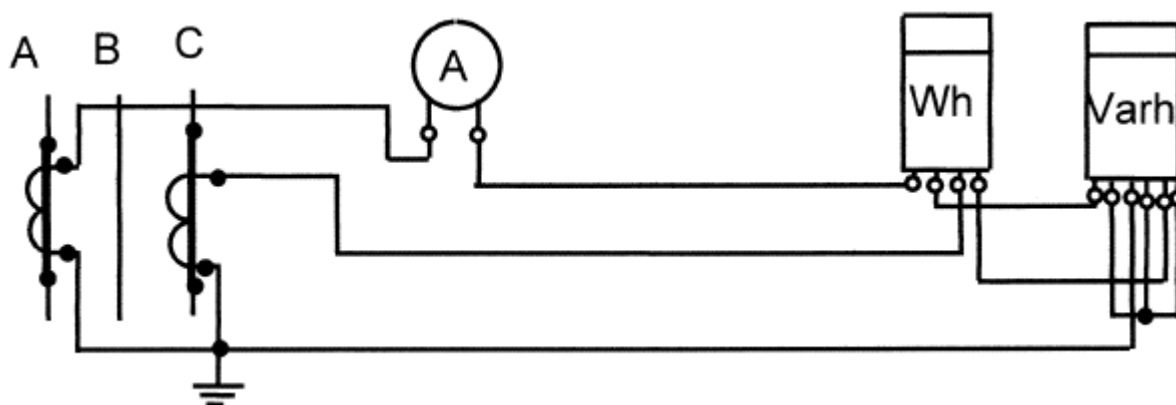


Рис. 12.5 Схема приєднання приладів до ТС в приєднанні живлячих ліній.

Опір контактних з'єднань  $z_k = 0,1 \text{ Ом}$ . Сумарний опір вторинного кола ТС

$$Z_{прил} = \frac{S_{max}}{I_B^2} = \frac{5,5}{25} = 0,22 \text{ Ом}$$

$$z_{пр} = \frac{\rho L}{F_{min}} = \frac{0,028 \cdot 10}{4} = 0,06 \text{ мм}^2$$



Таблиця 12.9

№ п/п	Приєднання	Тип ТС	Дані розрахунку та ТС					
			Умови вибору					
			$U_{\text{ном.мер.}} \leq U_{\text{ном.}}$ кВ	$I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном.}}$ А	$I_2$ ном А	$Z_{\text{нав.}} \leq Z_{2\text{но}}$ м, Ом	$V_{\text{к}} \leq I_1^2 \tau$ , кА <sup>2</sup> с	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дип}}$ кА
Дані вибору			110/6	=	-	-		
1	ЖЛ	ТФЗМ110Б-1 У1	110	$\frac{587}{600}$	5	$\frac{0,381}{2}$	2028	126
2	РП-31	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{462}{600}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	992,25	52
3	РП-32	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{1246}{1500}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	2976	52
4	РП-33	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{481}{600}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	992,25	52
5	РП-34	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{1168}{1500}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	2976	52
6	РП-35	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{1527}{1500}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	2976	52
7	РП-36	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{1271}{1500}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	2976	52
8	РП-37	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{422}{600}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	992,25	52
9	РП-38	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{3167}{4000}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	3675	52
10	ТП 630 кВА	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{80}{100}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	94	52
11	ТП 863 кВА	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{110}{150}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	156,25	52
12	ТП 1000 кВА	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{128}{150}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	156,25	52
13	ТП 1600 кВА	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{205}{300}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	992,25	52
14	ТП 2000 кВА	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{256}{300}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	992,25	52
15	ТП 2500 кВА	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{320}{400}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	992,25	52
16	СД 250 кВт	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{20}{50}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	24	52
17	СД 400 кВт	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{32}{50}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	24	52
18	СД 500 кВт	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{40}{50}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	24	52
19	СД 630 кВт	ТОЛ-10 У2	6	$\frac{52}{100}$	5	$\frac{0,14}{0,4}$	94	52

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

## 12.4. Вибір трансформатора напруги.

Таблиця 12.10.

Приєднання	Прилад	Тип	Потужність однієї котушки, ВА	Кількість котушок	cos φ	Кількість приладів	Загальна потужність	
							P,Вт	Q,вар
Збірні шини	V	Э-378	2	1	1	1	2	-
Приєднання ТВП	Wh	И-672	8	2	0,25	1	4	15,5
Лінії	Wh	И-672	8	2	0,25	1	4	15,5
	Varh φ	И673 Д365	8 8	2 2	0,25	1 1	4 4	15,5 15,5
Разом							18	62

Сумарна потужність

$$S_p = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{18^2 + 62^2} = 64,56 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Отже, вибираємо НТМИ-6-66У1 сумарною потужністю.

$$S_{\text{ном}} = 120 \text{ ВА} \geq S_p = 64,86 \text{ ВА}$$

Для з'єднання трансформаторів напруги з приладами приймаємо контрольний кабель АКРВГ з перерізом жил 2,5 мм<sup>2</sup> за умовою механічної стійкості.

Для ТН вибираємо запобіжник типу ПКТ-101-6-2-40У1 за такими умовами:

Таблиця 12.11.

$U_{\text{зап}} = 6 \text{ кВ}$	$\geq$	$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.зап.}} = 5 \text{ А}$	$\geq$	$I_{\text{ном.}} = 0,007 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.}} = 31,5 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{\text{кз}} = 10,37 \text{ кА}$

В приєднаннях підстанції 110 кВ, вибираємо обмежувачі перенапруг  
типу ОПН-КР/TEL

Забезпечують ефективний захист ізоляції електрообладнання від грозових і комутаційних перенапруг в мережах 110-6 кВ змінного струму промислової частоти. Використання металлооксидних варисторів з нестаріючими характеристиками у поєднанні з унікальною технологією опресовування в полімерний корпус дозволяють успішно застосовувати ОПН-КР/TEL і ОПН-РТ/TEL для надійного захисту електроустаткування електростанцій, промислових підприємств, повітряних ліній електропередачі і кабельних мереж в умовах високої міри забруднення навколишньої атмосфери і дії інших несприятливих чинників. Є екологічно чистими і вибухобезпечними виробами. Цим вони принципово відрізняються від конструкцій інших захисних апаратів, що мають фарфоровий або інший жорсткий корпус.

- О-обмежувач
- П- перенапружень
- Н- нелінійний
- РТ- індекс типу
- TEL- торгівельна марка
- 10- клас напруги
- 10,5- найбільша тривала доступна напруга
- УХЛ- кліматичного виконання по ГОСТ 15150
- 2- категорія розміщення по ГОСТ 15150
- Гарантійний термін служби- 5 років з дня введення в експлуатацію.
- Термін зберігання не більше 2 років.

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

### 13. Розрахунок релейного захисту підходящої лінії 6 кВ

Вихідні дані:

Максимальний номінальний струм:	$I_{\text{макс.}}=85\text{А}$
Коефіцієнт трансформації трансформатора струму	$N_t=100/5$
Розрахункові коефіцієнти:	
Коефіцієнт само запуску:	$K_{\text{сзп}}=3$
Коефіцієнт відстройки :	$K_{\text{отс}}=1,1$
Коефіцієнт повернення реле :	$K_B=0,93$
Коефіцієнт схеми:	$K_{\text{сх}}=1$

Максимальний струмовий захист:

Розрахункові значення струмів спрацювання:

По умові відстройки від максимального струму:

$$I_{\text{с.з.роз.}} = \frac{K_{\text{сзп}} \cdot K_{\text{отс}}}{K_B} \cdot I_{\text{макс.}} (I_{\text{ном.}}, I_{\text{с.з.}});$$

$$I_{\text{с.з.роз.}} = \frac{3 \cdot 1,1}{0,93} \cdot 85 = 302.$$

Розрахунковий струм спрацювання реле:

$$I_{\text{с.р.роз.}} = \frac{K_{\text{сх}} \cdot I_{\text{с.з.роз.}}}{N_t};$$

$$I_{\text{с.р.роз.}} = \frac{1 \cdot 302}{20} = 15,1\text{А.}$$

					<b>ДП 2025 141</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Розрахунок релейного захисту</b>					
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Ізволенський</i>							90	
Н. Контр.		<i>Ізволенський</i>						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>								

*Вставка спрацювання:*

Прийнятий струм спрацювання реле:

$$I_{c.p.нр.} = 15A.$$

Прийнятий струм спрацювання захисту:

$$I_{c.з.нр.} = \frac{I_{c.p.нр.} \cdot N_T}{K_{сх.}};$$

$$I_{c.з.нр.} = 300A.$$

Тип реле: REF-541

Затримка часу: t=1с.

*Перевірка чутливості:*

Трьохфазний струм К.З. в зоні головного захисту:

$$I_{к.з.мін} = 10900A.$$

Відносний коефіцієнт чутливості:

$$K_{оч.} = 0,87$$

Коефіцієнт чутливості в зоні основного захисту:

$$K_q = \frac{K_{оч.} \cdot I_{к.з.мін.}}{I_{c.з.нр.}};$$

$$K_q = \frac{0,87 \cdot 10900}{300} = 31,6.$$

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

## Додаток до графічної частини

Познач.	Назва	Кільк.	Примітка
	<b>Комплект вакуумного вимикача</b>		
QF	Вакуумний вимикач ВБ4-П-10-20/630У2		
	<b>Високовольтне обладнання</b>		
ТА-А,ТА-С	Трансформатор струму ТОЛ-10-1-2,75/5	2	
ТАЗ	Трансформатор нульової послідовності ТЗЛМ-1	1	
	Обмежувач перенапруги POLIM D12-03	3	
	<b>Низьковольтне обладнання</b>		
РА1	Амперметр Є365-1,75/5	1	
А1	Реле мікропроцесорне МРЗС-05М	1	220В
SF1,SF3	Вимикач автоматичний С32Н,2Р	2	2А с б/к
SF2	Вимикач автоматичний С32Н,2Р	1	3А с б/к
XS2	Розетка зовнішньої установки	1	
РІК	Лічильник СТК3-05Q2Т3,100В,50Гц,5А	1	
RH1,RH2	Резистор С5-35В-680Ом	2	100Вт
SA1	Перемикач LK16R/Z2001	1	
SA3	Перемикач LK16R/Z2001	1	
КН5,КН6	Реле вказівне РСУ-11-11	4	0,1А
КН7,КН8			
R1,R2,R3,R4	Резистор С5-35В-1600Ом	4	25Вт
KL1,KL2,KL5	Реле проміжне R4-2014-23-120	5	220В
KL11,KL12			
R5,R6	Резистор С5-35В-1000Ом	2	25Вт
HL2	Арматура світлосигнальна СКЛ-11А-К-2-220	1	червона
HL1	Арматура світлосигнальна СКЛ-11А-Л-2-220	1	зелена
HL3	Арматура світлосигнальна СКЛ-11А-Ж-2-220	1	жовта
X1	Разєм з відповідною частиною 32 штирька	1	HARTING
SQ2.1,SQ2.2	Вимикач подорожній МП1202Л	3	1н.о.+1н.з.
SQ3.1			
YO	Електромагніт блокування вката-вката візка	1	Uк=220В
КА7	Обладнання направленої захисту 33Н1-2	1	
VS1...VS3	Фототиристор ТФ-132-25-10-6У3	3	
VD	Діод КД226Г	1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 2025 141

Арк.

92

#### 14. Компенсація реактивної потужності.

При виборі засобів компенсації реактивної потужності необхідно враховувати, що максимальний економічний ефект досягається при розміщенні їх в місцях споживання реактивної потужності.

Компенсація реактивної, або підвищення коефіцієнта потужності електроустановок промислових підприємств, має велике значення і є частиною загальної проблеми підвищення ККД роботи системи електропостачання.

Зменшення споживання реактивної потужності елементами системи електропостачання, знижує втрати активної потужності і підвищує напругу.

Отже, виписуємо з табл. 2.3 реактивні потужності, які споживаються окремими РП і за ними підбираємо комплектно конденсаторні установки . Ці ККУ розташовуються в окремих приміщеннях біля РП.

Наприклад, для однієї РП-31, яка постачає корпус допоміжних цехів, Ковальсько-пресовий цех №2 та інженерний корпус, загальна реактивна потужність споживачів становить  $Q_{rp}=740$ квар. Для її компенсації використовуємо ККУ типу УКАРЗ-0,4-720-60УЗ потужністю 720 квар з 12- ма ступенями регулювання.

Вибір ККУ для інших РП в табл. 14.1.

№ п/ст.	Найменування підстанції	Qр, квар	Uном, кВ	Q ном, квар	$\Delta Q_{ст}$ , квар	Тип ККУ
	ГПП					
1	I- секція	5430	6,3	5500	500	КРМ1-6,3-5500-500У1
2	II- секція	693	6,3	700	100	КРМ1-6,3-700-100У1
3	III- секція	3483	6,3	3500	500	КРМ1-6,3-3500-500У1

					<b>ДП 2025 141</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Компенсація реактивної потужності.</b>					
Розробив		Балдін М.М.						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Ізволеньський							93	
Н. Контр.		Ізволеньський						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		
Затвердив		Балюта С.М								



перекомпенсації. Установки виробляють двох типів: без фільтрів гармонік і фільтрокомпенсуючими з фільтрами гармонік (ФКУ). Вживання установок знижує струмові навантаження на лініях електропередачі, трансформаторах і розподільному устаткуванні, що дає можливість понизити витрати на оплату електроенергії, підключити додаткове навантаження. Установки розраховані на експлуатацію в закритих виробничих приміщеннях за нормальних умов експлуатації в районах з помірним і холодним кліматом. Автоматичні конденсаторні установки комплектують устаткуванням від провідних зарубіжних постачальників. Це забезпечує високу якість виробів і гарантію надійності.

### **Технічні характеристики установок КРМ1**

Номинальна напруга, кВ.. 6,3... 10,5

Номинальна потужність, квар.. 50... 100000

Регулювання ... автоматичесьькоє/ручноє

Кількість рівнів регулювання. 2... 11 (12)

Номинальна потужність кроку регулювання, квар 5.. .2000

Конденсатори, трифазні Ввідний роз'єднувач. РВЗ/ВНА/ВВ-TEL

Контактори комутації конденсаторів, вакуумні

Межі регулювання... 0,98 емк...0,98 інд

Захист від вищих гармонік реактори

Інтерфейс для підключення до ПК Rs-232/485 + ПО

Кліматичного виконання. УХЛ, ХЛ1, УЗ, У1

Температура навколишнього повітря °С. -40...+50

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

## 15. Фільтри вищих гармонік (ФКУ). Фільтрокомпенсуючі пристрої.

Чому потрібно компенсувати реактивну потужність В умовах дефіциту і збільшення вартості енергоресурсів, зростання обсягів виробництва та інфраструктури міст все більш актуальною стає проблема енергозбереження і зокрема, економії електроенергії. Більшість електричних установок поряд з активною потужністю споживають і реактивну потужність, яка витрачається на створення електромагнітних полів і є непотрібною для споживача.

Наявність реактивної потужності знижує якість електроенергії, призводить до таких явищ, як збільшення плати за електроенергію, додаткові втрати і перегрів проводів, перевантаження підстанцій, необхідність завищення потужності трансформаторів і перетину кабелів, просадки напруги в електромережі. В даний час приріст споживання реактивної потужності перевищує зростання споживання активної потужності внаслідок бурхливого впровадження сучасних електротехнічних та радіотехнічних пристроїв (системи освітлення і реклами, кондиціонування, частотні перетворювачі електроприводів, імпульсні блоки живлення і т.д.).

Для зниження реактивної потужності найбільш часто застосовують конденсаторні установки. Переваги конденсаторних установок:

- Малі втрати (до 0,5 Вт на 1 квар потужності);
- Простий монтаж і експлуатація;
- Можливість підключення в будь-якій точці електромережі;
- Невеликі експлуатаційні витрати;
- Можливість компенсації практично будь-який реактивної потужності;
- Швидка окупність (до одного року).

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>			<b>Фільтри вищих гармонік (ФКУ).</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>					96	
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3			
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

Виходячи з економічної політики, що проводиться НКРЕ слід очікувати подальшого підвищення тарифів на спожиту активну, а так само реактивну електроенергію. Це змушує споживачів електроенергії переглядати політику енергозбереження. Які проблеми допоможуть вирішити конденсаторні установки:

- Знизити оплату за спожиту реактивну потужність;
- Після зменшення реактивної потужності, ми гарантуємо зниження активної потужності;
- Забезпечити подачу електроенергії по кабелю з меншим перетином;
- Уникнути глибокої просадки напруги на лініях електроживлення віддалених споживачів;
- Якщо пуск і робота електродвигунів ускладнені.

У загальному підсумку ми підвищуємо якість електроенергії.

Де потрібна компенсація реактивної потужності: Компенсація реактивної потужності особливо необхідна для споживачів, що мають низький  $\cos \phi$ . У першу чергу, це стосується споживачів з великим числом експлуатованих асинхронних двигунів ( $\cos \phi \sim 0.7$ ), особливо в режимі їх недозавантаження ( $\cos \phi \sim 0.5$ ), підйомних механізмів ( $\cos \phi \sim 0.5$ ) і ін

За місцем підключення розрізняють наступні схеми компенсації реактивної потужності:

загальна - на вводі підприємства;

групова - на лінії електропостачання групи однотипних споживачів;

індивідуальна конденсаторна установка встановлюється в

безпосередній близькості до споживача з низьким  $\cos \phi$ ;

змішана - похідна між загальною та індивідуальною.

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

Причини виникнення реактивної потужності: в електричних ланцюгах при чисто активній навантаженні протікає струм не випереджає і не запізнюється від напруги. При індуктивного навантаження струм відстає від напруги, при ємнісний - випереджає напругу. Індуктивний характер навантаження має при роботі електродвигунів, компресорів, електромагнітів та ін, що найбільш типово для більшості споживачів. У цьому випадку знижується коефіцієнт потужності і для його підвищення необхідно підключати ємнісні навантаження, яка компенсує індуктивного складову. В ідеалі це призводить до того, що результуюча навантаження стає чисто активної і коефіцієнт потужності набуває максимальне значення. Для цього служать конденсаторні установки, в автоматичному режимі компенсуючи реактивну потужність і тим самим, що знижують загальні втрати споживача.

Зокрема, при підвищенні  $\cos \phi$  з 0,5 до 0,9 зниження загальної споживаної потужності становить 44%. Вплив вищих гармонік на термін служби конденсаторних установок:

У сучасних мережах електропостачання навантаження нерідко має нелінійний характер внаслідок застосування напівпровідникових перетворювачів змінного струму (наприклад при роботі імпульсних стабілізаторів і перетворювачів електроенергії). Це призводить до появи вищих гармонік струму, які за своєю величиною стають порівнянними з першої (50 Гц) гармонікою. Наприклад, в шестиполуперіодних перетворювачах електроенергії дуже вагомою є третя гармоніка (150 Гц).

Конденсатори в установках компенсації реактивної потужності в сукупності з індуктивністю навантаження можуть утворювати коливальні контури, близькі за частотою резонансу до частоти однією з вищих гармонік. Це може призвести до значного збільшення струму конденсаторів і істотно скоротити їх термін служби. А перенапруги, що виникають при резонансі на елементах конденсаторної установки і навантаження можуть привести до пробією ізоляції. Для усунення

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

подібних проблем на етапі обстеження об'єкта до впровадження конденсаторних установок компенсації реактивної потужності необхідно проводити аналіз спектру струму споживаної електроенергії. При виявленні вищих гармонік, порівнянних з першою гармонікою, застосовуються фільтри-пробки, налаштовані на частоту найбільш значних гармонік. Фільтрокомпенсуючі пристрої (ФКУ) призначені для зниження гармонійних спотворень напруги та компенсації реактивної потужності навантажень споживачів в мережах електропостачання промислових підприємств і в електричних мережах.

Силові фільтри вищих гармонік має важливе значення для оптимізації витрат підприємств промисловості, а також підвищення стабільності їх роботи та зниження ризиків. Використання силових фільтрів дає можливість домогтися більш високих промислових показників, а також використовувати додаткове навантаження на мережу, що може виявитися досить важливим при розширенні. Силові фільтри для підприємств у більшості ситуацій мають термін окупності менше року, що робить їх використання економічно обґрунтованим і необхідним.

Структура умовного позначення типоміналу фільтрокомпенсуючого пристрою розшифровується таким чином:

1. Кліматичне виконання і категорія розміщення ФКУ
2. Номінальна потужність установки, квар
3. Номінальна напруга, кВ
4. Номери гармонік частоти настроювання ФКУ
5. Модернізоване
6. УСФ - пристрій силових фільтрів

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

ФКУ - фільтрокомпенсуючий пристрій Приклад запису позначення ФКУ 5-й і 7-й гармонік напругою 0,4 кВ потужністю 790 квар кліматичне виконання і категорія розміщення - ВЗ: «Фільтрокомпенсуючий пристрій УСФМ-5/7-0 ,4-790 УЗ ГОСТ 13109-97». Приклад запису позначення ФКУ 13-й гармоніки напругою 10 кВ, потужністю 3000 квар кліматичне виконання і категорія розміщення - ВЗ: «Фільтрокомпенсуючий пристрій ФКУ-13-10- 3000 УЗ ГОСТ 13109-97». Фільтри гармонік проектується індивідуально для кожного окремого випадку їх застосування. Це гарантує можливість досягнення найвищих параметрів з фільтрації вищих гармонік і корекції коефіцієнта потужності ФКУ. Дані, необхідні для проектування фільтрів вищі гармоніки (ФКУ).

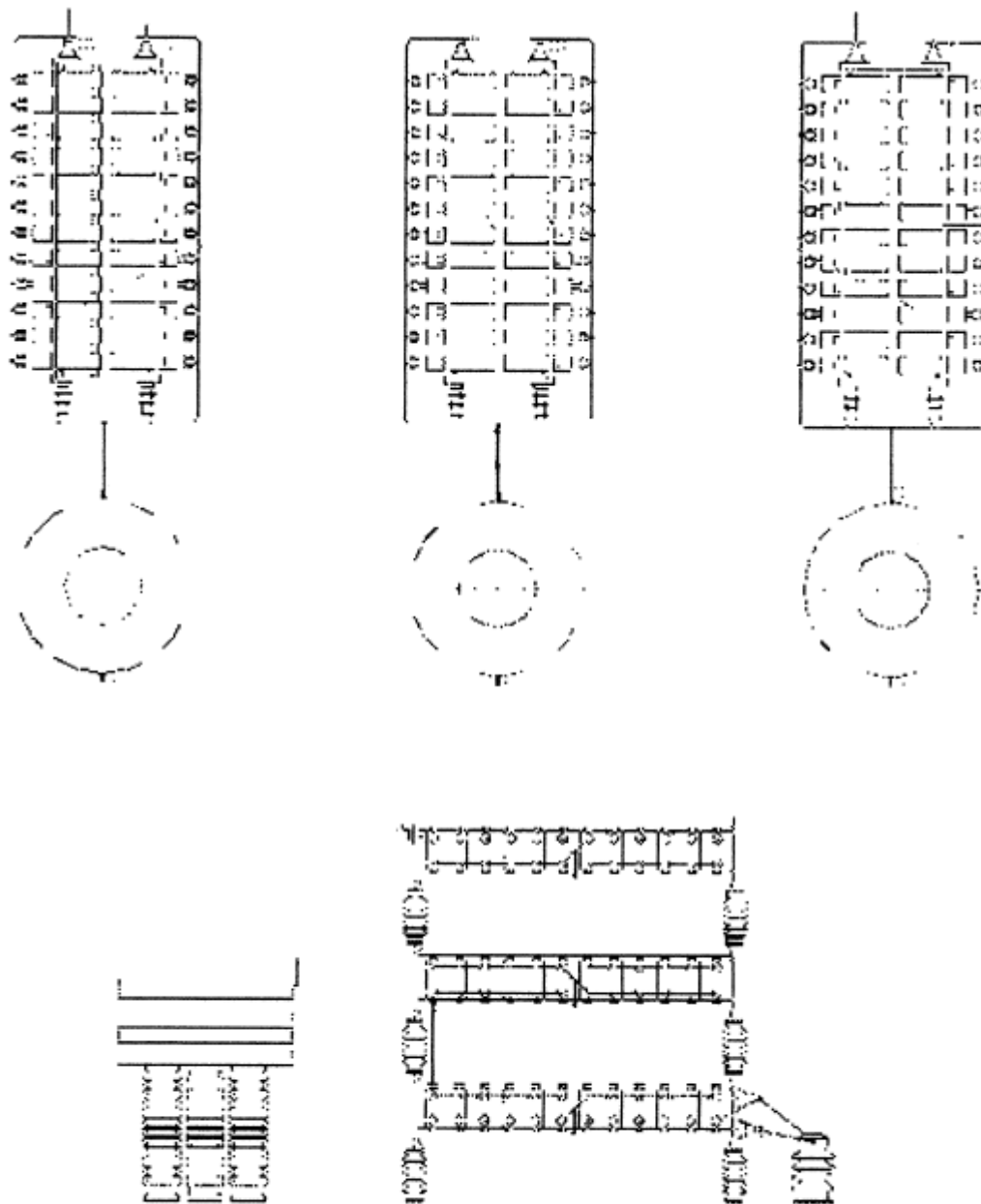
1. Номінальна напруга.
2. Необхідна компенсація реактивної потужності на основній частоті.
3. Значення струмів гармонійних складових нелінійного навантаження, що підлягають фільтрації або інформація по генеруючих гармоніки навантажень.
4. Потужність короткого замикання мережі.
5. Необхідні параметри якості електроенергії на шинах харчування нелінійного навантаження (або в іншій точці примикання).
6. Умови навколишнього середовища (внутрішньої чи зовнішньої установки, діапазон температур).
7. Додаткові вимоги (габарити, захист і т.п.)

Фільтри гармонік складаються з конденсаторів, включених послідовно з індуктивністю. Індуктивність вибирається такої величини, щоб фільтр представляв собою послідовний резонансний контур на частоті гармоніки. Таким чином, забезпечується проходження основної частини гармонічної складової струму через фільтр. Конденсатори створюють реактивну потужність на основній частоті.

ТОВ НВЦ «Енерком-Сервіс» має досвід виготовлення фільтрів на

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

напругу 0,4; 6,3; 10 і 35 кВ для підприємств металургійної, електрохімічної промисловості й для електромереж країн ближнього і далекого зарубіжжя. Кваліфіковані фахівці можуть зробити обстеження мережі для виявлення гармонічного складу її режимних параметрів і складання технічного завдання на проектування обладнання.



**Загальний вигляд ФКУ-2-35-43000 У1**

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## Статичні компенсуючі пристрої для промислових підприємств.

Широке застосування тиристорних електроприводів, випрямних електролізних установок, потужних електродугових печей, прокатних станів та інших споживачів електроенергії з різко змінним навантаженням і несинусоїдальним струмом супроводжується значним споживанням реактивної потужності і спотворенням живлячої напруги, що може призвести до зростання втрат електроенергії, погіршення та порушення нормального функціонування споживача електроенергії. До таких споживачам відносяться перш за все металургійні заводи, хімічні підприємства, підприємства кольорової металургії, целюлозно-паперові підприємства, підприємства електрохімічної обробки металів і дорогоцінного каміння, підприємства, що мають електродугову та контактну зварку, звичайні підприємства, що використовують для освітлення газорозрядні лампи, підприємства нафтової, газової та вугільної галузей, іригаційні підприємства, що мають електродвигуни різного типу, та інші підприємства.

Для компенсації реактивної потужності та підвищення коефіцієнта потужності, фільтрації вищих гармонік струму, зниження коливань напруги та покращення параметрів якості електроенергії застосовуються статичні компенсуючі пристрої:

- конденсаторні установки (підвищення коефіцієнта потужності);
- фільтрокомпенсуючі установки (підвищення коефіцієнта потужності фільтрація вищих гармонік струму);
- статичні тиристорні компенсатори реактивної потужності (підвищення коефіцієнта потужності, фільтрація вищих гармонік струму, зниження несиметрії напруги і стабілізація напруги).

Застосування статичних компенсуючих пристроїв дозволяє:

					ДП 2025 141	Арк.
						102
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- істотно знизити навантаження по реактивній потужності та вищі гармоніки струму трансформаторів, що живлять споживачі, що дає можливість підключити додаткове навантаження;
- поліпшити показники якості напруги і, тим самим, підвищити якість продукції, що випускається і продуктивність технологічного процесу споживача електроенергії.

Наприклад, застосування SVC на металургійному заводі збільшило коефіцієнт потужності навантаження з 0,7 до 0,97, знизило коливання напруги живильної мережі в 3 рази, знизило час однієї плавки металу з 150 хв. до 130 хв. і питома витрата електроенергії на тону виплавленої сталі на 4%, а також скоротити витрати графітових матеріалів. В цілому термін окупності витрат на статичні компенсуючі пристрою становить в середньому від 0,5 до 1 року.

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

## 1. Розрахунки параметрів схеми заміщення

№ п/п	Найменування елемента схеми	Розрахункова формула	Числові значення
1.	Постачання енергосистеми	$X_{cY} = \frac{U^2}{S_k} \cdot Y$	$X_{cY} = \frac{6^2}{4650} \cdot Y = 0.0077Y$
2.	Трансформатор зв'язку із системою (розщеплений)	$X_{трсY} = \frac{2}{S} \cdot Y$	$X_{трсY} = \frac{2}{31.5} \cdot Y = 0.063Y$
3.	Реактор	$X_{pY} = X_{pY}$	$X_{pY} = 0.18Y$
4.	Опір системи, трансформатора й реактора	$X_{\Sigma Y} = (X_{cY} + X_{трсY} + X_{pY}) \cdot Y$	$X_{\Sigma Y} = (0.0077 + 0.063 + 0.18) \cdot Y = 0.251Y$
5.	Еквівалентний опір трансформаторів	$X_{трс\epsilon Y} = \frac{12}{S_{трс\epsilon}} \cdot Y$	$X_{трс\epsilon Y} = \frac{12}{6.6} \cdot Y = 1.82Y$
6.	Еквівалентний двигунів	$X_{дв\epsilon Y} = \frac{6}{S_{дв\epsilon}} \cdot Y$	$X_{дв\epsilon Y} = \frac{6}{4.45} \cdot Y = 1.35Y$
7.	Еквівалентний опір цехових трансформаторів і двигунів	$X_{нY} = \frac{X_{трс\epsilon Y} \cdot X_{дв\epsilon Y}}{X_{трс\epsilon Y} + X_{дв\epsilon Y}} \cdot Y$	$X_{нY} = \frac{1.82 \cdot 1.35}{1.82 + 1.35} \cdot Y = 0.775Y$
8.	Еквівалентний пір схеми	$X_{\Sigma Y} = \frac{X_{\Sigma Y} \cdot X_{нY}}{X_{\Sigma Y} + X_{нY}} \cdot Y$	$X_{\Sigma Y} = \frac{0.251 \cdot 0.775}{0.251 + 0.775} \cdot Y = 0.19Y$
9.	Батареї косинусних конденсаторів РП-36 і ГПП-110 кВ	$X_{кY} = \frac{U^2}{Q_k} \cdot \frac{1}{Y}$	$X_{кY} = \frac{6^2}{5.4} \cdot \frac{1}{Y} = \frac{6.67}{Y}$

## 2. Струм конденсаторних батарей при основній частоті

$$I_{k1} = \frac{Q_{kc}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{5.4}{1.73 \cdot 6} = 512 \text{ А}$$

## 3. Перша гармоніка струму, генеруємих тиристорними установками

$$I_1 = \frac{S_{m.y.c}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2710}{1.73 \cdot 6} = 260.5 \text{ А}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4. Величини вищих гармонік струму, генерируємих тиристорними установками

$$I_Y = \frac{I_1}{Y};$$

$$I_5 = \frac{260.5}{5} = 52.1 \text{ A}$$

Аналогічно розраховані струми для інших генерируємих гармонік.

5. Коефіцієнти кратності й струми вищих гармонік у колі конденсаторної батареї

$$K_{BY} = \frac{X_{\text{эY}} \cdot Y}{X_{\text{эY}} \cdot Y - X_{\text{кY}} \cdot \frac{1}{Y}}; K_{B5} = \frac{0,19 \cdot 5}{0,19 \cdot 5 - \frac{6,67}{5}} = -2,5$$

$$I_{k5} = K_{B5} \cdot I_5 = -2,5 \cdot 52,1 = 130,2 \text{ A}$$

Аналогічні розраховані  $K_B$  і  $I_k$  для інших генерируємих гармонік.

Результати заносимо до табл. 15.1

Таблиця 15.1

Найменування розрахункової величини	Порядок гармонік, Y			
	5	7	11	13
Коефіцієнт кратності вищих гармонік $K_B$	-2,5	3,53	1,41	1,26
Струми вищих гармонік, генерируємих тиристорними установками $I_Y$ (A)	52,1	37,2	28,7	20
Струми вищих гармонік у ланцюзі конденсаторних батарей $I_{kY}$ (A)	-130,2	131,3	40,5	25,2

б. Еквівалентний струм у ланцюзі конденсаторних батарей

$$I_{\text{кэ}} = \sqrt{I_{k1}^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2} = \sqrt{521^2 + (-130)^2 + 131,3^2 + 40,5^2 + 25,2^2} = 555 \text{ A.}$$

7. Кратність перевантаження в ланцюзі конденсаторний батарей припустимих

$$K_n = \frac{I_{\text{кэ}}}{I_k} = \frac{555}{521} = 1,06 \approx 1,3 \text{ допустимих}$$

8. Визначення номера гармоніки, при якій можлива виникнення резонансу струмів

$$Y = \sqrt{\frac{X_{kc}}{X_{xc}}} = \sqrt{\frac{6.67}{0.19}} = 5.91$$

Є небезпека резонансу струмів  $Y = 5$ .

9. Розрахунки коефіцієнта несинусоїдальності на шинах 6кВ зведений у таб. 15.2 Таблиця 15.2

№ п/п	Найменування параметрів	Порядок гармонік, √			
		5	7	11	13
1	Опір батарей косинусних конденсаторів $X_{kcY}, \text{ом}$	1,335	0,953	0,606	0,513
2	Струми гармонік у колі батарей конденсаторів $I_{kY} \text{ А}$	-130,2	131,3	40,5	25,2
3	Напруга Y- й гармоніки ( $U_Y$ ) у колі конденсаторної батареї (фазне) $U_Y = I_{kY} \cdot X_{kcY}$	-173,8	125,1	24,5	13

$$K_{н.с.} = 1.2 \cdot 1.73 \cdot \frac{\sqrt{(-173.8)^2 + 125.1^2 + 24.5^2 + 13^2}}{6000} \cdot 100 = \frac{1.2 \cdot 1.73 \cdot 207}{6000} \cdot 100 = 7.5\% > 5\%,$$

що недопустимо.

Для обмеження рівня вищих гармонік передбачаємо на РП-36 установку реактора послідовно з батареєю конденсаторів.

10. Вибір реактора

Опір реактора вибирається, виходячи з умов  $YX_p \geq \frac{1}{Y} \cdot X_{k1}$ , звідки

$$X_p \geq \frac{X_{k1}}{Y^2}; Y = 5.$$

Вибираємо реактор типу РБУ-1000-0,35

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						106
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 11. Розрахунки параметрів схеми заміщення

№ п/п	Найменування елемента схеми	Розрахункова формула	Числові значення, Ом
1.	Батарея косинусних конденсаторів РП-36	$X_{k1Y} = \frac{U^2}{Q_{k1}} \cdot \frac{1}{Y}$	$X_{k1Y} = \frac{6^2}{4.5} \cdot \frac{1}{Y} = \frac{8}{Y}$
2.	Батарея косинусних конденсаторів ПГВ	$X_{k2Y} = \frac{U^2}{Q_{k2}} \cdot \frac{1}{Y}$	$X_{k1Y} = \frac{6^2}{0.9} \cdot \frac{1}{Y} = \frac{40}{Y}$
3.	Реактор фільтра	$X_{pY} = X_{pY}$	$X_{pY} = 0.35Y$

Інші параметри схеми заміщення наведені вище (пункт №1).

## 12. Струм конденсаторної батареї РП-36 при основній частоті

$$I_{k1} = \frac{Q_{k1}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4500}{1.73 \cdot 6} = 434 \text{ А}$$

## 13. Струм конденсаторної батареї ГПП при основній частоті

$$I_{k2} = \frac{Q_{k2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{900}{1.73 \cdot 6} = 86.8 \text{ А}$$

## 14. Коефіцієнт кратності й струми вищих гармонік у колі конденсаторної батареї РП-36

$$K_1 = \frac{\frac{X_{\infty Y} \cdot X_{k2Y}}{X_{k2Y} - X_{\infty Y}}}{X_{pY} - X_{k1Y} + \frac{X_{\infty Y} \cdot X_{k2Y}}{X_{k2Y} - X_{\infty Y}}}$$

## 15. Коефіцієнт кратності й струми вищих гармонік у колі конденсаторної батареї ГПП

$$K_2 = \frac{X_{pY} - X_{k1Y}}{X_{pY} - X_{k1Y} + \frac{X_{\infty Y} \cdot X_{k2Y}}{X_{k2Y} - X_{\infty Y}}} \cdot \frac{X_{\infty Y}}{X_{\infty Y} - X_{k2Y}}$$

$$I_{k2Y} = K_{2Y} \cdot I_Y$$

										Арк.
										107
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2025 141					

Результати пунктів 14 і 15 зведені в таблицю

№ п/п	Найменування розрахункової величини		Порядок гармонік, √				
			5	7	11	13	
1	Коефіцієнт кратності вищих гармонік кВ	K <sub>1</sub>	0,88	0,57	0,61	0,76	
		K <sub>2</sub>	-0,0165	-0,13	-0,525	-0,97	
2	Струми вищих гармонік, генерируємих тиристорними установками I <sub>γ</sub> (А)		I <sub>γ</sub>	52,1	37,2	28,7	20
3	Струми вищих гармонік, у колі конденсаторної батареї I <sub>kγ</sub> (А)		I <sub>k1γ</sub>	45,8	21,2	17,5	15,2
			I <sub>k2γ</sub>	-0,86	-4,84	15,06	-19,4

16. Еквівалентний струм і кратність перевантаження в колі конденсаторної батареї РІІ-36

$$I_{k\equiv 1} = \sqrt{434^2 + 45.8^2 + 21.2^2 + 17.5^2 + 15.2^2} = 437 A$$

$$K_{n1} = \frac{I_{k\equiv 1}}{I_{k1}} = \frac{437}{434} = 1,008 < 1,3$$

17. Еквівалентний струм і кратність перевантаження в колі конденсаторної батареї ГПП

$$I_{k\equiv 2} = \sqrt{86.8^2 + (-0.86)^2 + (-4.84)^2 + (-15.06)^2 + (-19.4)^2} = 90.2 A$$

$$K_{n2} = \frac{I_{k\equiv 2}}{I_{k2}} = \frac{90.2}{86.8} = 1,04 < 1,3.$$

18. Розрахунки коефіцієнта неси ну соціальності на шинах 6 кВ зведений у таблицю (РІІ-36, ГГІП)

№ п/п	Найменування розрахункової величини		Порядок гармонік, √				
			5	7	11	13	
1	Опір батареї косинусних конденсаторів РІІ-36, ГПП	X <sub>k1γ</sub>	1,6	1,14	0,73	0,62	
		X <sub>k2γ</sub>	8,0	5,72	3,64	3,08	
2	Струми гармонік у колі батареї конденсаторів РІІ-36, ГПП I <sub>kγ</sub> , А		I <sub>k1γ</sub>	45,8	21,2	17,5	15,2
			I <sub>k1γ</sub>	-0,86	-4,84	-15,06	-19,4
3	Напруга γ-й гармоніки U <sub>γ</sub> у галузі конденсаторної батареї (фазне) РІІ-36, ГПП. U <sub>γ</sub> = I <sub>kγ</sub> · x <sub>kcγ</sub>		U <sub>1γ</sub>	73,3	24,2	12,8	9,4
			U <sub>2γ</sub>	-6,88	-27,7	-54,8	-59,7

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ДП 2025 141

Арк.

108

$$K_{н.с.} = 1.2 \cdot 1.73 \cdot \frac{\sqrt{73.3^2 + 24.2^2 12.8^2 + 9.4^2 + (-6.88)^2 + (-27.7)^2 + (-54.8)^2 + (-59.7)^2}}{6000} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{1.2 \cdot 1.7 \cdot 116.6}{6000} \cdot 100\% \approx 4.03\% < 5\%, \text{ що допустимо.}$$

### 19. Розрахунки параметрів схеми заміщення

№ п/п	Найменування елемента схеми	Розрахункова формула	Числові значення, Ом
1.	Живильна енергосистема	$X_{cY} = \frac{U^2}{S_k} \cdot Y$	$X_{cY} = \frac{6^2}{4650} \cdot Y = 0.0077Y$
2.	Трансформатор зв'язку із системою (розщеплений)	$X_{тpсY} = \frac{2}{S} \cdot Y$	$X_{тpсY} = \frac{2}{31.5} \cdot Y = 0.063Y$
3.	Реактор	$X_{pY} = X_{pY}$	$X_{pY} = 0.18Y$
4.	Опір системи, трансформатора реактора	$X_{\text{э}Y} = (X_{cY} + X_{тpсY} + X_{pY}) \cdot Y$	$X_{\text{э}Y} = (0.0077 + 0.063 + 0.18) \cdot Y = 0.251Y$
5.	Еквівалентний опір цехових трансформаторів	$X_{тpц.цY} = \frac{12}{S_{тpц}} \cdot Y$	$X_{тpц.цY} = \frac{12}{6.6} \cdot Y = 1.82Y$
6.	Еквівалентний опір двигунів	$X_{дв.цY} = \frac{6}{S_{дв.ц}} \cdot Y$	$X_{дв.цY} = \frac{6}{4.45} \cdot Y = 1.35Y$
7.	Еквівалентний опір цехових трансформаторів і двигунів	$X_{нY} = \frac{X_{тpц.цY} \cdot X_{дв.цY}}{X_{тpц.цY} + X_{дв.цY}} \cdot Y$	$X_{нY} = \frac{1.82 \cdot 1.35}{1.82 + 1.35} \cdot Y = 0.775Y$
8.	Еквівалентний опір схеми	$X_{\text{э}Y} = \frac{X_{\text{э}Y} \cdot X_{нY}}{X_{\text{э}Y} + X_{нY}} \cdot Y$	$X_{\text{э}Y} = \frac{0.251 \cdot 0.775}{0.251 + 0.775} \cdot Y = 0.19Y$
9.	Батареї косинусних конденсаторів РП-36	$X_{k1Y} = \frac{U^2}{Q_{k1}} \cdot \frac{1}{Y}$	$X_{k1Y} = \frac{6^2}{4.5} \cdot \frac{1}{Y} = \frac{8}{Y}$
10.	Батареї косинусних конденсаторів ГПП	$X_{k2Y} = \frac{U^2}{Q_{k2}} \cdot \frac{1}{Y}$	$X_{k2Y} = \frac{6^2}{0.9} \cdot \frac{1}{Y} = \frac{40}{Y}$
11.	Реактор фільтра	$X_{pY} = X_{pY}$	$X_{pY} = 0.35Y$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

20. Струм конденсаторних батарей РП-36 при основній частоті

$$I_{k1} = \frac{Q_{kc}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{9000}{1.73 \cdot 6} = 868 \text{ A}$$

21. Струм конденсаторної батареї ГПП при основній частоті

$$I_{k2} = 86,8 \text{ A}$$

22. Перша гармоніка струму, генерируємих тиристорними установками

$$I_1 = \frac{S_{m.y.c}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4525}{\sqrt{3} \cdot 6} = 435 \text{ A}$$

23. Величини вищих гармонік струму, генерируємих тиристорними установками

$$I_Y = \frac{I_1}{Y};$$

$$I_5 = \frac{435}{5} = 87 \text{ A}$$

Аналогічно розраховані струми для інших генерируємих гармонік.

24. Коефіцієнт кратності й струми вищих гармонік у колі конденсаторної батареї РП-36

$$K_1 = \frac{\frac{X_{\text{эсY}} \cdot X_{k2Y}}{X_{k2Y} - X_{\text{эсY}}}}{\frac{X_{pY} - X_{k1Y}}{2} + \frac{X_{\text{эсY}} \cdot X_{k2Y}}{X_{k2Y} - X_{\text{эсY}}}}$$

$$I_{k1Y} = k_{1Y} \cdot I_Y$$

25. Коефіцієнт кратності й струми вищих гармонік у колі конденсаторної батареї ГПП.

$$K_2 = \frac{\frac{X_{pY} - X_{k1Y}}{2}}{\frac{X_{pY} - X_{k1Y}}{2} + \frac{X_{\text{эсY}} \cdot X_{k2Y}}{X_{k2Y} - X_{\text{эсY}}}} \cdot \frac{X_{\text{эсY}}}{X_{\text{эсY}} - X_{k2Y}}$$

$$I_{k2Y} = K_{2Y} \cdot I_Y$$

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

Результати пунктів 24 і 25 зведені в таблицю

№ п/п	Найменування розрахункової величини	Порядок гармонік, √				
		5	7	11	13	
1	Коефіцієнт кратності струмів вищих гармонік у колі конденсаторних батарей РП-36 і ГПП	$K_{1Y}$	0,94	0,725	0,76	0,865
		$K_{2Y}$	-0,009	-0,083	-0,325	-0,55
2	Струми вищих гармонік генерируємих тиристорними установками $\dot{I}_i$ (А)	$\dot{I}_i$	87	62,1	39,5	33,5
3	Струми вищих гармонік у колі конденсаторних батарей РП-36, ГПП.	$\dot{I}_{k1Y}$	81,8	45	30	28,9
		$\dot{I}_{k2Y}$	-0,78	-5,2	-12,8	-18,4

26. Еквівалентний струм і кратність перевантаження в колі конденсаторної батареї РП-36 кВ

$$I_{k\Omega 1} = \sqrt{868^2 + 81,8^2 + 45^2 + 30^2 + 28,9^2} = 874 \text{ А ;}$$

$$K_{n1} = \frac{I_{k\Omega 1}}{I_{k1}} = \frac{874}{868} = 1,01 < 1,3 \text{ допустимих}$$

27. Еквівалентний струм і кратність перевантаження в колі конденсаторної батареї ГПП

$$I_{k\Omega 2} = \sqrt{86,8^2 + (-0,78)^2 + (-5,2)^2 + (-12,8)^2 + (-18,4)^2} = 89,8 \text{ А}$$

$$K_{n1} = \frac{I_{k\Omega 2}}{I_{k2}} = \frac{89,8}{86,8} = 1,03 < 1,3 \text{ допустимих}$$

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

28. Розрахунки коефіцієнта несинусоїдальності на шинах 6 кВ зведений у таблицю (РП-36 і ГПП).

№ п/п	Найменування розрахункової величини	Порядок гармонік, $\nu$				
		5	7	11	13	
1	Опір батарей косинусних конденсаторів РП-36 і ГПП	$X_{k1cY}$ Ом	0,8	0,572	0,364	0,308
		$X_{k2cY}$ Ом	8,0	5,72	3,64	3,08
2	Струми гармонік у ланцюзі батарей косинусних конденсаторів	$I_{k1Y}$	81,8	45	30	28,9
		$I_{k2Y}$	-0,78	-5,2	-12,8	-18,4
3	Напряга Y-й гармоніки $U_Y$ у колі конденсаторної батареї (фазне) $U_Y = I_{kY} \cdot x_{krY}$	$U_{1Y}$ В	65,4	25,7	10,9	8,9
		$U_{2Y}$ В	-6,2	-29,7	-46,6	-56,7

$$K_{н.с.} = 1.2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{\sqrt{65.4^2 + 25.7^2 + 10.9^2 + 8.9^2 + (-6.2)^2 + (-29.7)^2 + (-46.6)^2 + (-56.7)^2}}{6000} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{1.2 \cdot 1.73 \cdot 107}{6000} \cdot 100\% \approx 3.7\% < 5\%, \text{ що допустимо.}$$

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

## 16. Охорона праці

### Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання. Застосування і розміщення вимикачів навантаження

На всіх підприємствах, де застосовується електрична енергія, маємо справу з вимикачами навантаження. В основному, вимикачі навантаження встановлені на трансформаторних підстанціях з метою подачі електроенергії споживачам чи термінового їх відключення від живлячої мережі.

Для включення та відключення комутаційних апаратів використовують спеціальні пристрої – приводи.

Приводи до апаратів можуть бути: ручні, вантажні, пружинні, електродвигунні, електромагнітні і пневматичні. За дією вони можуть бути автоматичними, напівавтоматичними і неавтоматичними.

Для керування роз'єднувачем, як правило, використовують ручний важільний або черв'ячний привод. Однополюсні роз'єднувачі приводять у дію також за допомогою ізолюваної штанги.

Наявність привода дає можливість виконувати механічне або електричне блокування роз'єднувача і вимикача для запобігання помилкових операцій з цими комутаційними апаратами.

В сільській енергетиці найбільш поширені ручні важільні приводи ПР-10; ПРБА і ПРА. Вони прості, надійні, зручні в експлуатації.

Вимикачі навантаження комплектуються приводом ПР-17 (з ручним вмиканням та вимиканням) або ПРА-17 (з ручним вмиканням і ручним або автоматичним вмиканням), ПЭ-11 (з дистанційним або автоматичним включенням та відключенням).

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Охорона праці</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Балдін М.</i>						
Перевірів		<i>Сірик А.О.</i>					113	
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>				<b>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3</b>		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

Перед допуском до роботи на комутаційних апаратах з дистанційним керуванням слід виконати такі технічні заходи:

– відключити силові кола приводу, кола оперативного струму і кола підігріву;

– закрити і замкнути на замок засувки на трубопроводі подачі повітря в баки вимикачів або на пневматичні приводи і випустити в атмосферу повітря, що в них є, в цьому разі спускні пробки (клапани) залишаються у відкритому стані;

– привести в неробочий стан вантаж або пружини, що вмикають комутаційні апарати;

– вивісити плакати «Не вмикати! Працюють люди» на ключах дистанційного керування і «Не відкривати! Працюють люди» на закритих засувках.

Для пробних вмикань і вимикань комутаційного апарата під час його налагоджування і регулювання допускається у випадку, якщо ще не здано наряд, тимчасове подавання напруги в кола оперативного струму і силові кола приводу, в кола сигналізації і підігрівання, а також подавання повітря в привод і на вимикач.

Встановлення знятих запобіжників, вмикання відключених кіл і відкриття засувки під час подавання повітря, а також зняття на час випробування плакатів «Не вмикати! Працюють люди» і «Не відкривати! Працюють люди» здійснюють оперативні працівники або з їх дозволу керівник робіт. Дистанційно вмикати або вимикати комутаційний апарат для випробування дозволяється особі, яка проводить налагодження чи регулювання, або за її вимогою оперативному працівнику.

Після випробування, в разі необхідності продовження роботи на комутаційному апараті, оперативним працівником або, з його дозволу, – керівником робіт слід виконати технічні заходи, що вимагаються для допуску до роботи.

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

Підніматися на повітряний вимикач, що перебуває під робочим тиском, дозволяється тільки в разі проведення випробувальних і налагоджувальних робіт (регулювання демпферів, зняття віброграм, під'єднання або від'єднання провідників від вимірювальних приладів, визначення місць витоку повітря тощо).

Перед підйманням на повітряний вимикач для випробування і налагодження необхідно:

- вимкнути кола оперативного струму;
- кнопку місцевого керування та пускові клапани (наприклад від'єднати повітропровідні трубки, замкнути шафи тощо) чи поставити біля вимикача проінструктованого члена бригади, який допускав би до оперування вимикачем (після вмикання оперативного струму) тільки одного визначеного працівника за вказівкою керівника робіт.

В разі перебування людей на повітряному вимикачі, що перебуває під тиском, припиняються всі роботи в шафах керування і розподільчих.

Під час вимикання і вмикання повітряних вимикачів у разі перевірок, налагодження і випробування присутність людей біля вимикачів не допускається.

Команду на виконання операцій вимикачем керівник робіт з випробування і налагодження (або уповноважений ним член бригади) може подати після того, як члени бригади будуть відведені від вимикача на безпечну відстань або в укриття.

Обслуговування вимикачів навантаження дозволяється електротехнічним спеціалістам, що мають IV чи V групу допуску до електромонтажних робіт чи обслуговуючому персоналу з III групою допуску, але під керівництвом спеціалістів, що мають вищу групу допуску і дозвіл на обслуговування вимикачів навантаження.

					ДП 2025 141	Арк.
						115
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Організаційні та технічні заходи з охорони праці

Плакати та знаки безпеки, що вивішуються на приводах комутаційних апаратів. Енергетичні об'єкти, навіть у справному стані, несуть велику небезпеку для сторонніх осіб, які в силу різних причин проникають на території підстанцій, відчиняють двері розподільчих пристроїв та що особливо небезпечно наближаються до струмопровідних частин електроустановок, які знаходяться під напругою. Такі електроустановки обслуговує спеціально навчений персонал, який до того ж застосовує при цьому спеціальні засоби захисту від ураження електричним струмом.

Тому на всіх енергетичних об'єктах є застережні знаки і плакати, які обов'язково встановлюються на огороженнях, на дверях приміщень електроустановок та в місцях підвищеної небезпеки щодо ураження електричним струмом. Вони не усувають небезпеки ураження, а лише інформують про її наявність.

При ремонті, наладці або монтажі електроустановок дуже важливо використовувати спеціальні плакати і знаки електробезпеки. Вони призначені для того, щоб заборонити здійснення дій, пов'язаних з включенням або ж відключенням апаратів, які в свою чергу використовуються для подачі/відключення напруги. Різного роду таблички сповіщають персонал про те, що на певній ділянці проходять роботи, тому чіпати кнопки, рубильники і автомати категорично заборонено. Крім цього, плакати і знаки безпеки, що застосовуються в електроустановках, можуть використовувати для інформування про те, що людина наближається до об'єкту під напругою, або ж для вказівки робочого місця.

Основна відмінність між ними в призначенні. Функція знаків полягає в інформуванні про постійні фактори, наприклад, попереджати обслуговуючий і ремонтний персонал про можливість випадкового дотику з струмоведучими елементами конструкції. Відповідно, для розташування місця цих електрозахисних засобів передбачені стаціонарні.

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						116
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дані знаки безпеки вивішуються відповідно до призначення. На відміну від знаків вони можуть розташовуватися стаціонарно або бути переносними.

На виробництві, в основному, використовуються наступні знаки:

1. Заборонні - дана група накладає заборону на використання комутаційного обладнання, щоб не допустити його включення при проведенні ремонтних і регламентних робіт в зоні відповідальності:

- «Не вмикати. Працюють люди.». Встановлюється на ключі і кнопки, які управляють комутаційними апаратами для того, щоб запобігти подачу напруги. Якщо комутаційних апаратів немає в схемі і при цьому напруга до 1 кВ, плакат потрібно повісити поблизу знятих запобіжників. Область застосування - електроустановки до 1000 Вольт і вище.

- «Не вмикати. Робота на лінії». Призначення і місце установки, як і у попереднього плаката. Область застосування - повітряні і кабельні лінії, на яких здійснюються роботи.

- «Робота під напругою. Повторно не вмикати». Область застосування - ключі, які керують вимикачами ПЛ. Цей забороняє плакат потрібно вивішувати для того, щоб під час ремонтних робіт на ПЛ ніхто вручну не включив живлення.

Весь цей перелік плакатів відноситься до заборонних і застосовується в електроенергетиці. Вони можуть бути переносними і стаціонарними (встановлюються 1 раз). Важлива вимога - виготовляти знаки безпеки і плакати потрібно з електроізоляційних матеріалів. Металеві таблички має використовуватися виключно в тому випадку, якщо вони постійні і знаходяться на достатній, згідно вимог, відстані від елементів, які можуть бути під напругою.

2. Розпорядчі. Даний тип плакатів і знаків безпеки призначений для того, щоб вказати розташування місця проведення робіт в електричних установках, а також безпечний підхід до нього. У комплект входить:

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
						117
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- «Працювати тут» - тут все просто, плакат використовують для вказівки робочого місця персоналу.

- «Влазити тут» - призначений для інформування людини про те, як безпечно піднятися на висоту для проведення робіт. Як правило, розміщують на сходах.

3. Вказівні. Єдиним вказівним плакатом є «Заземлено», який вказує на те, що електроустановка заземлена, і подавати на неї напругу забороняється. Місце установки - привід комутаційних пристроїв. Якщо застосовуються одночасно забороняє і вказівний табличка, остання повинна обов'язково вивішуватися на передній план.

### Практичний розрахунок

Розрахунок габаритів блискавковідводу категорії II та зони захисту виробничих будівель, споруд розмірами  $A = 28$  м,  $B = 8$  м,  $H = 6,5$  м класу В-Ia згідно з ПУЕ. Середня грозова діяльність у годинах за рік –  $K \geq 10$ , тип блискавковідводу – одинарний тросовий блискавковідвід.

Розрахуємо значення щільності ударів блискавки на  $1 \text{ км}^2$  земної поверхні за рік:

$$n = \frac{(6,7 * T_{гр})}{100} = \frac{(6,7 * 10)}{100} = 0,67 \frac{\text{км}^2}{\text{рік}},$$

де  $T_{гр}$  – середня тривалість гроз у годинах, визначена за картами інтенсивності грозової діяльності або за середніми багаторічними даними метеостанції, найближчої до місця знаходження об'єкта.

Очікувана кількість уражень об'єкта блискавкою за рік  $N$  для будівель і споруд прямокутної форми визначається за наступною формулою:

$$N = ((B + 6 * h_{об}) * (A + 6 * h_{об}) - 7,7 * h_{об}^2) * n * 10^{-6} =$$
$$((8 + 6 * 6,5) * (28 + 6 * 6,5) - 7,7 * 6,5^2) * 0,67 * 10^{-6} = 0,0019$$

де  $h_{об}$  – висота будівлі (Н).

					ДП 2025 141	Арк.
						118
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з ПУЕ та ДСТУ ІЕС 62305-2:2012:

Обирається категорія II з надійністю захисту 0,95–0,99.

Визначаємо параметри  $h_x$  та  $r_x$  :

Розрахунок висоти блискавковідводу

Згідно з ДСТУ, для рівня захисту II та висоти  $h \leq 30$  м:

Висота конуса захисту:  $h_0 = 0,8h$ .

Радіус зони захисту на рівні землі:  $r_0 = 0,95h$ .

Зона захисту повинна охоплювати будівлю. Напівширина зони на висоті будівлі ( $h_x = 6,5$  м):

Для повного покриття будівлі ( $r_x \geq 4$  м).

Розрахуємо висоту блискавковідводу:

$$h = \frac{r_x + h_x}{0,8} = \frac{4 + 6,5}{0,8} = 13,125 \text{ м,}$$

де  $h_x$  – висота зони захисту будівлі (максимальна висота будівлі), м.

Розрахуємо максимальну зону захисту безпосередньо біля блискавковідводу:

$$h_0 = 0,8 * h = 0,8 * 13,125 = 10,5 \text{ м.}$$

$$r_0 = 0,95 * h = 0,95 * 13,125 = 12,47 \text{ м.}$$

					<b>ДП 2025 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119



## Список використаної літератури

1. Розрахунки при проектуванні та реконструкції системи електропостачання промислових підприємств : Навч. посібник / О.М.Сірий, В.Є.Шестеренко,- К.:ІСДО, 1993.-592 с.
2. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П.  
Электрическая часть электростанций и для курсового и дипломного проектирования: Учеб. Пособие для вузов.-4-е издание, перераб. И доп.-М Энергоатомиздат., 1989.-608с.
3. Айзенберг В.И. Осветительные установки М.:Энергия, 1985-360 с.
4. Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / Под ред.. Б.А.Князевскоо.  
3-е узд., перераб. и доп.-М.: Энергоатомиздат., 1983-336с.
5. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / Под.ред. А.А Федорова.-М.:Энергоатомиздат., 1987.-Т.1-580с.; Т.2.-591 с.
6. Правила устройства электроустановок -М.: Энергоатомиздат, 1987.-648с.
7. Рожкова Л.Д., Козупин В.С. Электрооборудование станций и подстанций.- М.: Энергоиздат., 1987.-646 с.
8. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий.-М.: Высшая школа, 1979.-510 с.
9. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник, А.Э.Кравчик, М.М, В.И.Афонин , Е.А.Соболенская.-М.:Энергоиздат. 1982.-505 с.
10. Карпов Ф.Ф., Козлов В.Н., Справочник по расчету проводов и кабелей, изд. 3-е перераб. и доп.М.:Энергия, 1968.-264 с.

					<b>ДП 2025 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Балдін М.М.</i>			<b>Список використаної літератури</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>					121	
Зав.кафедр.								
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>						
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-3		