

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

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

**«До захисту в ЕК»**

Директор інституту(декан факультету)

\_\_\_\_\_ Блаженко С.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Балюта С.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

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

освітньо-професійної програми «Електротехніка та електротехнології»

на тему: «Розробка СЕП інструментального цеху Миколаївського судоремонтного заводу та аналіз впливу компенсації реактивної потужності на техніко-економічні показники цеху».

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЗЕЛ5-8ск

Тимощук Богдан Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник Ізволенький Ігор Євгенович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти Сірик А.О.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Михайленко В.Г.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній роботі немає запозичень із праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач

\_\_\_\_\_ (підпис)

Київ - 2021р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

І.С.Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Електротехніка та електротехнології»

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Тимощук Богдан Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка СЕП інструментального цеху Миколаївського судоремонтного заводу та аналіз впливу компенсації реактивної потужності на техніко-економічні показники цеху».

керівник роботи Ізволєнський Ігор Євгенович ,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 09.11.2020 року № 934-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 25.01.2021р.

3. Вихідні дані до роботи Призначення цеху і його розміри. Перелік споживачів і їх потужність.

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

Розрахунок навантажень цеху та підприємства, вибір схем зовнішнього та

внутрішнього електропостачання, вибір кількості та потужності

трансформаторів , розрахунок струмів КЗ, розрахунок релейного захисту і

автоматики, Вибір кількості і потужності силових пунктів, Розрахунок перерізу

кабелів, вибір автоматичних вимикачів, розрахунок електроосвітлення.

5. Перелік графічного матеріалу :

1. Генеральний план цеху.

2. Схема електропостачання цеху.

3. Схеми освітлення цеху

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 12.11.2020р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дипломний проект	12.11.2020р	
2	Вступ, обробка технічного завдання	13.11.2020р	
3	Характеристика електроприймачів цеху	18.11.2020р	
4	Розрахунок ел. навантажень цехових електроприймачів	23.11.2020р	
5	Побудова графіків електричних навантажень цеху	28.11.2020р	
6	Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання цеху	05.12.2020р	
7	Розрахунок силової мережі цеху	10.12.2020р	
8	Вибір кількості, потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій	15.12.2020р	
9	Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного та низьковольтного ел. обладнання	20.12.2020р	
10	Релейний захист (РЗА)	25.12.2020р	
11	Розрахунок електроосвітлення цеху	02.01.2021р	
12	Розгляд якості електричної енергії в мережі.	06.01.2021р	
13	Спецпитання.	10.01.2021р	
14	Охорона праці на підприємстві.	17.01.2021р	
15	Здача дипломного проекту на перевірку	23.01.2021р	

Здобувач

\_\_\_\_\_ (підпис)

Тимощук Б.О.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ізволеньський І.Є.

## Анотація

Тимощук Б.О. “Розробка СЕП інструментального цеху Миколаївського судоремонтного заводу та аналіз впливу компенсації реактивної потужності на техніко-економічні показники цеху”

Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра за напрямом 141 “ Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. Національний університет харчових технологій, Київ, 2021. Пояснювальна записка складається зі вступу, 12 розділів та списку використаної літератури. Загальний обсяг пояснювальної записки становить стор.

Метою роботи є проектування загальної схеми електропостачання, розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів, вибір елементів та розрахунок цехової мережі, розрахунок освітлювальної мережі цеху, аналіз впливу компенсації реактивної потужності на техніко-економічні показники цеху.

У дипломному проекті розроблено: генплан підприємства, загальна схема електропостачання підприємства, схема релейного захисту і автоматики. Було розглянуто аналіз впливу компенсації реактивної потужності на техніко-економічні показники цеху.

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ; ВИРОБНИЧИЙ ЦЕХ; ТРАНСФОРМАТОР;  
НАПРУГА; СТРУМ.

## Annotation

Timochuk B.O. “ Development of SEP instrumental department of Mykolaiv ship repair plant and analysis of the impact of reactive power compensation on the technical and economic indicators of the plant”.

Diploma project for a bachelor's degree in 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". National University of Food Technologies, Kyiv, 2021. The explanatory note consists of an introduction, 12 chapters and a list of references. The total volume of the explanatory note is        pages.

The purpose of the work is to design the general scheme of power supply, calculation of electrical loads of shop electrical receivers, selection of elements and calculation of shop network, calculation of lighting shop, analysis of the impact of reactive power compensation on the technical and economic indicators of the plant.

In the diploma project the following is developed: the general plan of the enterprise, the general scheme of power supply of the enterprise, the scheme of relay protection and automation, schemes on an individual question. It was a relatively economical component when using frequency converters.

TRANSFORMER; ELECTRICITY; CURRENT; VOLTAGE; PRODUCTION PLANT;

Технічне завдання до проекту: Розробка СЕП інструментального цеху  
Миколаївського судоремонтного заводу та аналіз впливу компенсації  
реактивної потужності на техніко-економічні показники цеху.

Студент : Тимощук Богдан Олександрович

План інструментального цеху Миколаївського судоремонтного заводу з  
розташуванням обладнання (Рис. 1).

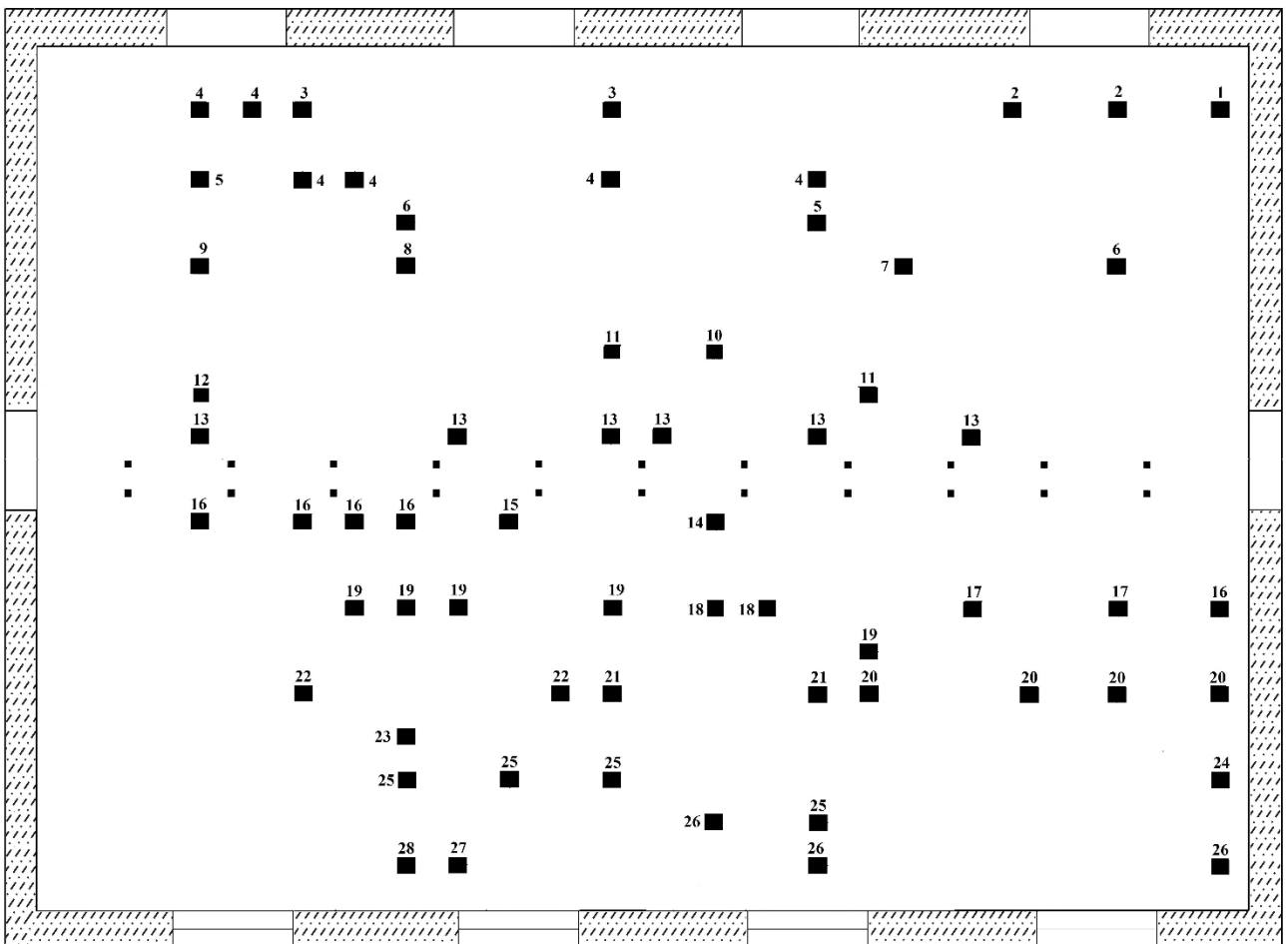


Рисунок 1.

Технічні характеристики обладнання інструментального цеху.

Таблиця 1.

№ п / п	тип устаткування	кільк.	Р <sub>ном.</sub>
1	Зубофрезерувальний верстат.	1	7,0
2	Вентилятори.	2	4,5
3	Різьбонарізний верстат.	2	1,0
4	Зварювальні апарати	6	9,7
5	Площинно- фрезерувальний верстат.	2	12,65
6	Автомат токарно-гвинтонарізний.	2	2,8
7	Кран-балка.	1	1,4
8	Трубообрізний верстат.	1	4,5
9	Ручний прес.	1	4,5
10	Стенд для монтажу	1	4,5
11	Уздовжньо - стругальні верстати.	2	16,2
12	Вертикально-фрезерувальний верстат.	1	6,32
13	Уздовжньо - стругальні верстати.	6	10,0
14	Вентилятори.	1	4,5
15	Трубозгинучний верстат.	1	4,5
16	Точило.	5	0,6
17	Вертикально- свердлильний верстат.	2	4,5
18	Точило.	2	0,6
19	Токарно-гвинторізний верстат.	5	10,0
20	Токарно-гвинторізний верстат.	4	7,0
21	Горизонтально-розточний верстат.	2	7,5
22	Довбіжний верстат.	2	2,8
23	Карусельний верстат.	1	2,8
24	Нагріваюча піч.	1	30
25	Верстаки	4	4,5
26	Радіально-свердлильний верстат.	3	4,5
27	Стенд для монтажу	1	0,6
28	Молот електромеханічний 125 кг	1	10,0

## Зміст

Передмова .....	6
1. Характеристика електроприймачів заготівельного цеху .....	8
2. Розрахунок електричних навантажень цеху .....	9
2.1. Розрахунок освітлювального навантаження .....	10
2.2. Розрахунок картограми навантажень .....	11
2.3. Розрахунок освітлення цеху .....	12
3. Вибір напруги і схеми електропостачання цеху .....	16
4. Режими реактивної потужності системи електропостачання .....	20
5. Вибір кількості, потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій .....	23 23
6. Вибір схеми та розрахунок силової мережі цеху .....	24
6.1 Вибір схеми цехової мережі .....	24
6.2. Розрахунок силової мережі цеху на стороні 0,4 кВ .....	25
7. Розрахунок струмів короткого замикання .....	33
7.1.Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ .....	33
7.2.Перевірка електроустаткування на термічну та динамічну стійкість дії струмів КЗ .....	34 34
7.3.Розрахунок струму КЗ на напрузі 0,4 кВ .....	36
8. Облік електроенергії .....	38
9. Блискавкозахист промислових об'єктів. ....	44
10. Конструктивне виконання підстанцій .....	54
11. Вплив компенсації РП на економічні показники підприємства. ....	55
12. Охорона праці .....	68
Список використаної літератури .....	81

					<b>ДП 2021      141</b>			
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата	<b>ЗМІСТ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Тимошук Б.О.						5	
Перевір.	Ізволеньський І.							
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.	Балюта С.М.							
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛІ5-8ск		

## 1. Передмова

Цей дипломний проект вирішує складну проблему розвитку системи електропостачання заготівельного цеху судоремонтного заводу. Вихідні дані при проектуванні системи електропостачання цеху - це перелік енергетичного обладнання з встановленою потужністю, а також генеральний план цеху.

Розробка системи електропостачання цеху є складним завданням і вимагає від дизайнера не тільки спеціальних технічних знань, але і ознайомлення з технологією виробництва і особливостями виробничого процесу.

Проектне завдання – повна електрифікація технологічного обладнання цеху та розробка системи освітлення. Повноцінна розробка проекту системи електропостачання заготівельного цеху судоремонтного заводу можлива тільки в тому випадку, якщо проектувальник знаходиться в тісному контакті з технологами і будівельниками на всіх етапах проектних робіт.

					<b>ДП 2021 141</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розробив		<i>Тимошук Б.О.</i>			<b>Передмова</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Ізволенський</i>						
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого,ЗЕЛ5-8ск		

## 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ

Цех належить до допоміжних цехів заводу. Обслуговує всі основні та допоміжні виробничі цехи заводу, виконує поточний та капітальний ремонт та виготовляє запчастини до обладнання. Електроприймачі цеху не пов'язані між собою технологічним процесом, їх робота не залежить один від одного і зупинка одного з них не викликає зупинки інших приймачів.

До початку розрахунку робимо схему мережі цеху. Беручи до уваги виробничий процес і розташування обладнання цеху, ми приймаємо радіальну схему електропостачання споживачів, згрупувавши їх практично порівну між усіма точками розподілу.

Для визначення навантаження цеху застосуємо метод упорядкованих діаграм (метод визначення розрахункового навантаження за середньою потужністю та за коефіцієнтом максимуму)

Розрахункове активне навантаження цеху визначається за середньою потужністю і коефіцієнту максимуму з виразу.

$$P_p = K_{\max} * P_{cm}$$

де  $K_{\max} = f(n_e, k_B)$

відповідно [9] для заготівельного цеху судоремонтного заводу  $K_B = 0,3$ .

$P_{cm}$  - середня потужність для максимальної завантаженої зміни.

$$P_{cm} = K_B * P_{ном} = 0,3 * 416,42 = 124,926$$

У робочому вигляді загальна ефективна кількість електроприймачів

$$n_e = (\sum P_{ном})^2 / \sum P_{ном}^2$$

					<b>ДП 2021</b>	<b>141</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ</b>			
Розробив		<i>Тимошук Б..</i>					Літ.	Арк.
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>						Аркушів
Н. Контр.							ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8	
Затвердив		<i>Балота С.</i>						













### 3. ПІДБІР НАПРУГИ І СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ

Важливим технічним завданням, яке необхідно вирішити при проектуванні електромережі, є вибір напруги мережі електроосвітлення. Втрата напруги, електрики і багатьох інших факторів буде залежати від правильного вибору. При виборі напруги для живлення і освітлення споживачі повинні віддати перевагу варіанту з більш високою напругою, адже чим більше значення  $U$ , тим менше струм в провідниках, тим менше перетин, тим нижче втрата потужності і енергії.

Для електроустановок з  $U \leq 1000$  В прийнято такі стандартні напруги змінного струму: 110 В, 220 В, 380 В, 660 В. На промислових підприємствах використовувалася найбільш поширена система трифазного струму напругою 380/220 В з частотою 50 Гц із заземленим нейтральним. Також широко використовується напруга системи 660/380 В. Для розробленого цеху ми використовуємо систему трифазного змінного струму напругою 380 / 220В з заземленим нейтральним, що дозволяє постачати силові та освітлювальні навантаження з тих же трансформаторів. Споживачі електроенергії постачаються напругою 380 В, а освітлення напругою 220 В.

Цехові електричні мережі діляться на електромережі і освітлення, які, в свою чергу, діляться на живлячі і розподіл. Лінії живлення включають ділянки мережі від джерела живлення ТП до РП, а розподільчі лінії включають ділянки мережі, до якої підключені електричні приймачі. Вибір схеми електропостачання для цехових приймачів залежить від багатьох факторів:

- спроможність окремих споживачів;
- місцезнаходження споживачів;
- Обідня зона на відкритому повітрі;

					<b>ДП 2021 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Підбір напруги і схеми електропостачання</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Тимошук Б.</i>						
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>						
Н. Контр.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8		
Затвердив		<i>Балюта С.</i>						

- технологічний процес цеху, визначений категорією електроприймачів на безперебійному електропостачанні.

Система електропостачання повинна відповідати наступним вимогам;

- зручність і надійність сервісу;
- належна якість електроенергії;
- безперебійне і надійне електропостачання як в звичайному, так і в аварійному режимі;
- ефективність системи, тобто найнижчі капітальні та експлуатаційні витрати;
- гнучкість системи, що дозволяє розширити виробництво без значних додаткових витрат.

Для цього проекту обрана схема радіального електропостачання.

Радіальна схема електропостачання - це комплект ліній електричної мережі цеху, що відходить від РП нижньої напруги ТЦ і призначений для живлення невеликих груп електроприймачів, розташованих в різних місцях цеху.

Розподіл електроенергії окремим споживачам за цією схемою електропостачання здійснюється незалежними лініями від точок електропередач, розташованих в центрі електричних навантажень цієї групи споживачів. Переваги радіальних ліній: висока надійність, в них легко застосовувати автоматику комутацій і захисту.

Цех одержує електропостачання від власної цехової ТП 10/04кВ.

З трансформаторної підстанції за лініями електропередач (за радіальною схемою) проводиться електропостачання точок живлення. Різні машини та інші споживачі цього цеху живиться від точок живлення.

На малюнку 3.1 показано радіальний контур джерела живлення.

					ДП 2021	141	Адк.
Змн.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Лат			



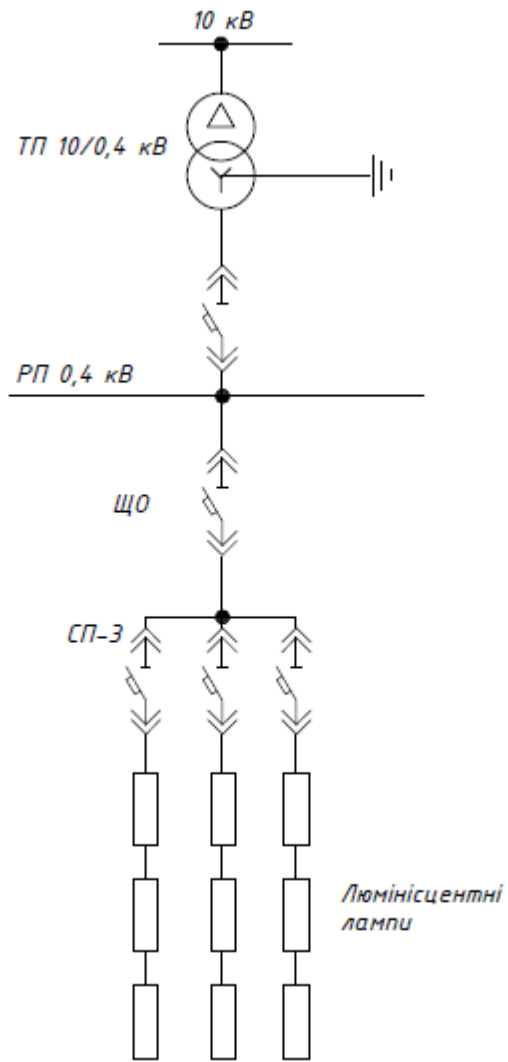


Рисунок 3.2.- Схема електропостачання освітлювальних навантажень

Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Лат

## 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Реактивна потужність, поряд з активною, споживається значною частиною промислових електроприймачів: 60-65% припадає на асинхронні електродвигуни, 20-25% - трансформаторами і близько 10% повітряними електричними мережами та іншими електроприймачами.

Компенсація реактивної потужності або збільшення коефіцієнта потужності промислових підприємств є частиною проблеми підвищення ефективності системи електропостачання та підвищення якості електроенергії, що постачається споживачам.

Визначимо потужність компенсуючого апарату (квар):

$$Q_{\text{кв}} = \alpha P_{\text{max}} (\text{tg} \varphi_1 - \text{tg} \varphi_2)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт, що враховує підвищення  $\cos \varphi$  природним способом, приймається  $\alpha = 0,9$ ,

$P_{\text{max}}$  - активна потужність,

$\text{tg} \varphi_1$  - фактичний тангенс кута,

$\text{tg} \varphi_2$  - оптимальний тангенс кута,

$$Q_{\text{кв}} = 0,9 * 204,92 * 0,47 = 88,525 \text{квар}$$

Цех відноситься до 3 категорії надійності, тому має 1 конденсаторну установки. Вибираємо конденсатор агрегату типу УКАР-0,4/80 УЗ, що має 6 ступенів регулювання. Виконуємо розрахунок коефіцієнта потужності з урахуванням компенсації.

Активна потужність  $P_p = 204,92 \text{ кВт}$ .

Визначаємо максимальну реактивну потужність (квар):

$$Q_{\text{рнн}} = Q_p - Q_{\text{кв}}$$

					<b>ДП 2021 141</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробив		<i>Тимошук Б.</i>			Літ.
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>			Арк.
Н. Контр.					Аркушів
Затвердив		<i>Балюта С.</i>			РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ
ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск					

де  $Q_p$  - максимальна реактивна потужність по цеху.

$$Q_{pHH} = 88,5 - 80 = 8,5 \text{ кВАр}$$

Визначаємо повне навантаження (кВА):

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

$$S_p = \sqrt{268,7^2 + 10,35^2} = 205,176 \text{ кВА}$$

Визначаємо  $\cos \phi$  та  $\operatorname{tg} \phi$ :

$$\cos \phi = \frac{P_p}{S_p};$$

$$\cos \phi = \frac{268,7}{268,9} = 0,99;$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{Q_p}{P_p};$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{113,66}{250,35} = 0,45.$$

Визначаємо струм компенсуючого пристрою (А):

$$I_{ky} = \frac{Q_{ky}}{\sqrt{3} \cdot U_H};$$

$$I_{ky} = \frac{120}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 182,37 \text{ А.}$$

Конденсаторний агрегат призначений для компенсації реактивної потужності і збільшення коефіцієнта потужності електроустановок промислових підприємств і розподільчих мереж і для автоматичного регулювання реактивної потужності в мережах 0,4 кВ з частотою 50 Гц.

Конденсаторні агрегати призначені для роботи в приміщенні або на відкритому повітрі (в залежності від версії відповідно ГОСТ 15150-69 «Машини, прилади та інша технічна продукція. Версії для різних кліматичних регіонів. Категорії, умови експлуатації, зберігання і

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

транспортування з точки зору впливу кліматичних факторів навколишнього середовища"). Конденсаторні установки - це електричні шафи, в які розміщується контрольне, вимірюване, сигналізаційне та конденсаторне обладнання.

Конденсатори типу «МКР» мають вбудовані резистори розряду, конденсатори працюють при природному охолодженні. Агрегат оснащений регулятором PIC-KVAR для автоматичного регулювання включення секцій конденсаторних батарей. Захист від струмів короткого замикання в монтажі здійснюється запобіжниками і автоматичними вимикачами в з'єднальних контурах конденсаторів і автоматичних вимикачів в контрольних контурах стартерів. Установка має сигнальні індикатори, що вказують на наявність напруги на них і індикатори, що вказують на включення кожного етапу управління, розташованого на панелі управління контролера. Для створення захисної перерви в контурі під час ремонтних робіт на місці експлуатації в установках встановлюється автоматичний вимикач – запобіжник FA.

Для вмикання і вимкнення конденсаторів в установках використовуються пускачі, такі як КМІ (або СНК). Регулятор забезпечує роботу монтажу в режимі автоматичного або ручного управління. Режим управління вибирається кнопкою, розташованою на передній панелі регулятора. У режимі автоматичного керування, коли змінюється реактивне значення потужності, контролер автоматично вмикає та вимикає етапи керування з встановленою затримкою часу. У ручному режимі керування увімкнення та вимкнення здійснюється вручну натисканням відповідних кнопок на панелі керування. Включення і вимкнення здійснюється з витривалістю часу в діапазоні 15-300-х років. При включенні і відключенні ступенів монтажів здійснюється індикація світла світлодіодами, розташованими на передній панелі регулятора.

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. ПІДБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА РОЗТАШУВАННЯ ЦЕХУ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

Кількість і пропускна здатність трансформаторів цеху вибираються на основі отриманих даних з розрахунку цехових навантажень і категорій споживачів. При виборі ТП ми дотримуємося наступних вимог:

- одно трансформаторні ТП встановлюються при навантаженнях, що дозволяють перерву в електромережі на момент поставки «складського резерву». В іншому випадку, по можливості, необхідне резервування на вторинній напрузі;
- дво трансформаторні ТП використовуються з перевазі споживачів першої та другої категорій або з нерівномірним щоденним графіком навантаження;
- рекомендується встановлювати трансформатори такого ж типу і потужності на цех ТП з обмеженням запасу складу.

Тому, виходячи з розрахунку, ми вибираємо одноформатор ТП з типом трансформатору ТС3250/10 потужністю 250 кВА. Номінальні параметри трансформатора наведені в таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1 - Номінальні параметри вибраного трансформатора**

Тип	$S_N$ , кВА	$U_1/U_2$	$\Delta P_{xx}$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$I_{xx}$ , %	$U_{к}$ , %	Кількість
ТС3250/10	250	10/0,4	0,42	2,7	3,5	5,5	1

					<b>ДП 2021</b>	<b>141</b>				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ</b>			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Тимошук Б.О.									
Перевір.	Ізволеньський І.									
Реценз.										
Н. контр.										
Затверд.	Балюта С.М.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск					

## 6. ВИБІР СХЕМИ І РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОМЕРЕЖІ ЦЕХУ

### 6.1. Вибір схеми мережі цеху

Вибираємо високовольтні вимикачі на стороні живлення 10 кВ (на РП 10 кВ) при номінальній напрузі і номінальному струмі з урахуванням пост-аварійних режимів і можливого нерівномірного розподілу струму між лініями і секціями шин:

$$U_{ном.в} \geq U_{ном. мережі},$$

$$I_{ном.в} \geq I_{м.ав},$$

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

Розрахуємо струм нормального режиму для ТП, що живить цех:

$$I_{н} = \frac{S_{р}}{\sqrt{3} \cdot U_{н}} = \frac{236,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 13,75 \text{ А.}$$

Розрахуйте струм для пост-аварійного режиму:

$$I_{мав} = \frac{S_{нтр}}{\sqrt{3} \cdot U_{н}} = \frac{265,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 15,43 \text{ А.}$$

Для установки збоку 10 кВ вибираємо вакуумні вимикачі типу ВВ / TEL-10-12,5 / 630 U2, виготовлені tavrıda-Electric. Номінальна напруга 10 кВ, номінальний струм вимикача 630А, номінальний комутаційний струм 12,5 кА, кліматична конструкція і розміщення категорії У2, власний час відключення вимикача 0,042 с. Для цієї ділянки високовольтної мережі ми вибираємо броньовані кабелі з паперовою ізоляцією в алюмінієвій обшивці типу ААВ. Вибір перетину жил виконуємо за економічною густиною струму. Для кабелів з паперовою ізоляцією  $j_{ек} = 1,4 \text{ А / мм}^2$  при  $T_m = 3500 \text{ год}$  [2].

					<b>ДП 2021 141</b>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Тимошук Б.О.				<b>РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОМЕРЕЖІ ЦЕХУ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Ізволеньський І.							
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.	Балюта С.М.							
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛІ5-8ск		



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

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

вцілому при  $U_n = 0,38 \text{ кВ}$ ;

$K_n$  - коефіцієнт надійності відстроювання струмової відсічки;

$I_n$  - піковий (пусковий) струм.

Вибираємо автоматичний вимикач для ліній від ТП до РП-0,4 кВ.

Розрахунковий струм для цих ліній:

$$I_m = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{236,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 394,6 \text{ А.}$$

Піковий струм визначаємо за формулою:

$$I_n = I_m - K_g I_{n.макс} + I_{n.макс},$$

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

$$I_n = 394,6 - 0,35 \times \frac{31,62}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,87} + 5 \times \frac{31,62}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,87} = 801,79 \text{ А.}$$

Вибираємо для встановлення на лініях від ТП до РП автоматичні вимикачі SENTRON [15] виробництва Siemens. Розрахуємо номінальний струм розчіплювача та струм спрацювання відсічки для лінії ТП – РП:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \times I_m = 1,1 \times 394,6 = 423,06 \text{ А;}$$

$$I_{с.в} \geq K_n \times I_n = 1,5 \times 909,68 = 1201,5 \text{ А.}$$

Номінальний струм вимикача 400 А, номінальний струм випуску 400 А і відрізний струм 1600 А.

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для з'єднань РП-СП1, РП-СП2, РП-СП3, РП-СП4 вибираємо автоматичні вимикачі серії SENTRON виробництва SIEMENS. Ці автоматичні вимикачі призначені для проведення струму в штатному режимі і струму вимикання при коротких замиканнях, перевантаженнях, а також для нечастих оперативних включень і відключень електричних контурів і розраховуються для роботи в електроустановках номінальною напругою до 400 В змінного струму з частотою 50 і 60 Гц і 220 В постійного струму.

Автоматичний вимикач VL - це компактний пристрій, що обмежує струм, оптимізований для вузлів подачі. Автоматичні вимикачі використовуються для перемикання і захисту трифазних двигунів до 45 кВт при 400 В змінного струму, а також для інших споживачів з номінальними струмами до 100 А. Вимикачі короткого замикання вимикачів VL в разі короткого замикання відключать несправну збірку живилки від мережі і тим самим запобігають подальшому пошкодженню обладнання. Завдяки граничній вимикаючій здатності 50кА або 100кА при змінній напрузі 400 В, автоматичні вимикачі стійкі до більшості коротких замикань, так як струми короткого замикання на практиці зазвичай досягають значно нижчих значень.

Результати розрахунків за з'єднання наведені в таблиці 6.1.

**Таблиця 6.1. – Розрахунок комутаційно-захисної апаратури цеху**

Лінія	Sм, кВА	Im, А	Ip, А	Тип захисного апарата	Iном.в, А	In розч (розр), А	In розч, А	I СВ (розр), А	I СВ, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТП-РП 0,4кВ	391,16	297,68	811,79	SENTRON VL630	630	327,45	630	1217,69	1600
РП - СП1	30,73	46,7	172,8	SENTRON VL160	160	51,37	160	77,06	200
РП - СП2	22,91	34,82	121,86	SENTRON VL160	160	38,3	160	182,8	200
РП – СП3	46,81	71,14	293,87	SENTRON VL160	160	78,25	160	440,8	500
РП – СП4	42,8	65,05	221,16	SENTRON VL160	160	71,55	160	331,73	400

					<b>ДП 2021 141</b>				Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

### 6.3. Вибір силових пунктів

З таблиці 2.1. беремо розрахункову потужність силових пунктів СП1, СП2, СП3, СП4. Для СП1  $S_p=30,73$  кВА,  $I_m=46,7$  А. До СП1 підключено 13 електроприймачів, струм найбільшого струмоприймача 21,49А. Вибираємо силовий пункт типу ПР11Д-7-3085А-54 У3 з чотирма групами автоматичних вимикачів.

Для СП2  $S_p=22,91$  кВА,  $I_m=34,82$  А. До СП2 підключено 22 електроприймача, струм найбільшого струмоприймача 30,37 А. Вибираємо силовий пункт типу ПР11Д-7-3085А-54 У3 з чотирма групами автоматичних вимикачів.

Для СП3  $S_p=46,81$  кВА,  $I_m=71,14$  А. До СП3 підключено 15 електроприймачів, струм найбільшого струмоприймача 70,09 А. Вибираємо силовий пункт типу ПР11Д-7-3085А-54 У3 з чотирма групами автоматичних вимикачів.

Для СП4  $S_p=42,8$  кВА,  $I_m=65,05$  А. До СП4 підключено 14 електроприймачів, струм найбільшого струмоприймача 28,037А. Вибираємо силовий пункт типу ПР11Д-7-3085-54 У3 з чотирма групами автоматичних вимикачів.

На лініях, що підходять безпосередньо до електроприймачів вибираємо автоматичні вимикачі серії SIRIUS 3RV1 виробництва SIEMENS з тепловим і електромагнітними розчіплювачами. Виберемо автоматичний вимикач для лінії від СП1 до ЕП-1.

Розрахунковий та піковий струми для цієї лінії:

$$I_m = \frac{4,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,65} = 21,49 \text{ А.}$$

$$I_n = 5 \times I_m = 5 \times 21,49 = 107,47 \text{ А.}$$

За умовами вибору автоматичних вимикачів розрахуємо номінальний

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

струм розчіплювача та струм спрацювання відсічки:

$$I_{n,розч} \geq K_{відс} \times I_M = 1 \times 21,49 = 21,49 \text{ A},$$

$$I_{с.в} \geq K_n \times I_n = 2,1 \times 107,47 = 225,7 \text{ A}.$$

За розрахованими значеннями струмів вибираємо автоматичний вимикач SIRIUS-3RV10-S2 з тепловим і електромагнітними розчіплювачами з номінальним струмом вимикача 50 А, номінальним струмом розчіплювача 50 А та струмом спрацювання відсічки 500 А.

Аналогічно проводимо вибір автоматичних вимикачів з тепловими і електромагнітними розчіплювачами для решти ліній, що підходять безпосередньо до електроприймачів.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.2.

**Таблиця 6.2 – Розрахунок комутаційно-захисної апаратури цеху**

Лінія	$P_m$ , кВт	$I_m$ , А	$I_n$ , А	Тип захисного апарата	$I_{ном.в.}$ , А	$I_n$ розч (розр), А	$I_n$ розч, А	$I_{св}$ (розр), А	$I_{св}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СП1- 1,2,3,4,	4,6	21,49	107,47	SIRIUS- 3RV10-S2	50	21,49	50	225,7	300
СП2- 1,2, 3,4	3,2	14,95	74,76	SIRIUS- 3RV10-S2	25	14,95	25	157	200
СП3- 1,2,3,4,	9,2	43	215	SIRIUS- 3RV10-S2	50	43	50	451,4	500
СП4- 1,2,3,4,	3,16	14,77	73,83	SIRIUS- 3RV10-S2	25	14,77	25	155,05	200

Вибираємо переріз кабелю на ділянці від ТП до РП 0,4 кВ:

$$I_M = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{236,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 347,79 \text{ A}.$$

Вибираємо кабель типу АВВГнг [8] перерізом 4x240 (силовий кабель з алюмінієвими жилами з полівінілхлоридною ізоляцією, не підтримуючий горіння), для якого:

$$I_{дон} = 357 \text{ A} \geq I_M = 247,79 \text{ A}.$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Аналогічно обираємо переріз решти провідників АВВГнг. Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.3

**Таблиця 6.3. – Вибір провідників цехової мережі**

Лінія	Ім, А	Тип провідника	S, мм <sup>2</sup>	Ідоп, А
1	2	3	4	5
ТП - РП	297,68	АВВГнг	4x240	337
РП - СП1	46,7	АВВГнг	4x50	132
РП - СП2	34,82	АВВГнг	4x50	132
РП – СП3	71,14	АВВГнг	4x50	132
РП – СП4	65,05	АВВГнг	4x50	132
СП1-1,2,3,4,	21,49	АВВГнг	4x10	55
СП2-1,2,3,4,	14,95	АВВГнг	4x6	40
СП3-1,2,3,4,	43	АВВГнг	4x16	71
СП4-1,2,3,4,	14,77	АВВГнг	4x6	40

#### **6.4. Вибір магнітних пускачів**

Оскільки в цеху є вентилятори (2, 14 - за планом цеху), ми вибираємо для них магнітні пускачі. При виборі магнітних пускачів приймається максимально допустима потужність двигуна, експлуатацією якого буде керувати пускач. У комплекті з тепловими реле стартери проводять захист електродвигунів від перевантажень і від струмів, що виникають при розриві однієї з фаз.

Номинальний струм теплового реле підбирається виходячи з номінального навантаження двигуна.

Ми вибираємо магнітний пускач Schneider Electric LC1-D1810.

Номинальний струм двигунів вентилятора становить 70,09 А, магнітного пускача - 80А, що більше, ніж номінальний моторний струм.

#### **6.5. Розрахунок мережі освітлення**

Мережі освітлення діляться на мережі живлення і групові. Мережа електропостачання включає лінії від трансформаторних підстанцій або інших

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



$$P_{p\text{ осв1}} = 0,9 \times 1,2 \times 0,08 \times 2 \times 11 = 1,9 \text{ кВт.}$$

Струм для серії світильників визначається припускаючи, що  $\cos \varphi = 0,95$ , тому що люмінесцентні лампи оснащені конденсаторами індивідуальної компенсації реактивної потужності.

Група 1 – 14

$$I_{p.pl} = \frac{P_{po}}{U_{\phi} \times \cos \varphi} = \frac{1,9}{0,22 \times 0,95} = 9,09 \text{ А.}$$

Потужність освітлювального щитка визначаємо за формулою:

$$P_{щ} = 1,9 \times 14 = 26,6 \text{ кВт.}$$

Струм щитка буде становити:

$$I_{p.щ.} = \frac{P_{щ}}{\sqrt{3} \times U_n \times \cos \varphi} = \frac{26,6}{\sqrt{3} \times 0,38 \times 0,95} = 42,8 \text{ А.}$$

Для живлення ряду ламп ми приймаємо дроти АВВГнд-з алюмінієвими жилами, з полівінілхлоридною ізоляцією (ПВХ), не підтримуючи горіння з низьким димом і викидами газу. Перетин кабелю вибирається номінальним струмом. Для мережі освітлення кожного ряду беремо перетин 2,5 мм<sup>2</sup>. Перевіримо цей кабель на наявність найбільшого номінального струму для груп ламп:

$$I_{\text{доп}} = 21 \text{ А} > I_{p.p} = 9,09 \text{ А.}$$

Для живлення щитка освітлення – кабель АВВГнгд 4х6, прокладений по стіні.  $I_{\text{доп}} = 59 \text{ А} > 42,8 \text{ А.}$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДП 2021 141

## 7. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

### 7.1. Розрахунок струмів потужності 10 кВ

Розрахунок струмів КЗ виконує у відносних одиницях, для цього ми приймемо основу потужності . Для базисної напруги беремо напругу ступеня, при якій КЗ  $U_{сер} = 10,5 \text{ кВ}$  .

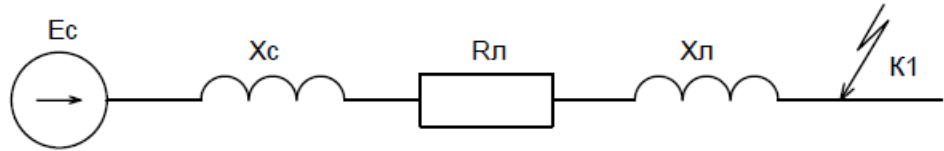


Рисунок 7.1. – Схема заміни для розрахунку струму з боку 10 кВ

На рисунку 7.1 показана схема заміщення системи електропостачання.

Відповідно до основних значень потужності і напруги, визначимо базовий струм:

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

Розрахуйте опори елементів кабельної лінії.

Для вибраної кабельної лінії ААБл 3х35  $X_0=0,868 \text{ Ом/км}$ ,  $r_0=0,087 \text{ Ом/км}$  [8].

$$X_{л} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{сер}^2} = 0,868 \cdot 1,2 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 9,44 ;$$

$$R_{л} = R_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{сер}^2} = 0,087 \cdot 1,2 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,947 .$$

Визначте резистентність:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{(X_c + X_{л})^2 + R_{л}^2} = \sqrt{9,44^2 + 0,947^2} = 9,48 .$$

Початкове діюче значення трифазного КЗ:

					<b>ДП 2021 141</b>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Тимощук Б.О.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Ізволеньський І.					
Реценз.					<b>РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ</b> ННІТІ ім.акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ15-8ек		
Н. контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					

$$I_{no.C} = \frac{E_C''}{Z} \cdot I_\sigma = \frac{1}{9,48} \cdot 55 = 5,8 \text{ кА}.$$

Періодична складова струму від енергосистеми не змінюється, тому

$$I_{n.\tau.C} = I_{no.C} = 5,8.$$

Розрахунковий час складає

$$\tau = t_{pz.min} + t_{B.B.} = 0,01 + 0,042 = 0,052 \text{ с}.$$

Аперіодичний компонент струму КЗ при  $t = \tau = 0,052 \text{ с}$  визначаємо:

$$i_{ax.C} = \sqrt{2} \cdot I_{no.C} \left( 1 + e^{-\frac{\tau}{T_{oc}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 5,8 \cdot e^{-\frac{0,052}{0,03}} = 9,3 \text{ кА},$$

де  $T_{ac}$  - постійний час аперіодичних компонентів.

Визначте ударний струм КЗ:

$$i_{yd.C} = \sqrt{2} \cdot I_{no.C} \left( 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{oc}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 5,8 \cdot \left( 1 + e^{-\frac{-0,01}{0,03}} \right) = 11,45 \text{ кА}$$

Визначте тепловий імпульс:

$$B_K = I_{no.C}^2 \cdot (t_{відкл} + T_{oc}) = 5,8^2 \cdot (0,7 + 0,03) = 24,56 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де  $t_{відкл} = t_{pz} + t_{ПВ} = 0,6 + 0,1 = 0,7 \text{ с}$  - час відключення КЗ.

## 7.2. Перевірка електрообладнання на теплову та динамічну стійкість струмів КЗ

Перевірка вимикачів А3710Б, встановлених на РП-10 кВ, комутаційна ємність і стійкість до струмів КЗ.

Перевірка здатності перемикачів здійснюється за такими умовами:

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

					<b>ДП 2021</b>	<b>141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

оскільки  $\tau = 0,052c < 0,09c$ , то приймаємо  $\beta_n = 0$  і перевірку вимикача здійснюємо за наступними умовами:

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

$$\{ I_{н.відкл} = 12,5кА \geq I_{нт} = 5,8кА$$

$$\sqrt{2}I_{н.відкл} = \sqrt{2} \cdot 12,5 = 17,68кА \geq \sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 5,8 + 9,3 = 17кА$$

Виконані умови перевірки вибраного перемикача на комутаційну здатність.

Перевірка вимикачів на динамічну стійкість до струмів КЗ здійснюється за умовами:

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

$$i_{дин} = 20кА \geq i_{yo} = 11,45кА$$

$$I_{дин} = 12,5кА \geq I_{но} = 5,8кА$$

Також виконуються умови перевірки вибраного перемикача на динамічну стійкість до струмів КД. Перевірка вимикача на термостійкість до струмів КД здійснюється за умови, що:

$$I_T^2 t_T \geq B_K,$$

$$I_T^2 t_T = 12,5^2 \times 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \text{ с} \geq B_K = 24,56 \text{ кА}^2 \text{ с}.$$

Також виконуються умови перевірки обраного вимикача на термостійкість струмів КЗ.

Отже, цей тип комутатора можна використовувати для установки на РП-10 кВ.

Давайте перевіримо обрані кабельні лінії, що відходять від ГПП до ТП, термостійкість струмів КЗ за умови, що:

$$s_{ТП} = 70 \text{ мм}^2 \geq s_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T} = \frac{\sqrt{24,56 \cdot 10^3}}{92} = 53 \text{ мм}^2,$$

де  $C_T$  - термічний коефіцієнт.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Умова перевірки кабельних ліній від РП-10 кВ до ТП термостійкості до струмів КЗ, що в виконана. Отже, кабельні лінії відповідають умовам.

### 7.3. Розрахунок струму КЗ на напрузі 0,4 кВ

Розраховуємо струми КЗ з боку 0,4 кВ .

Схема проектування та схема заміщення наведені на рисунку 7.2.

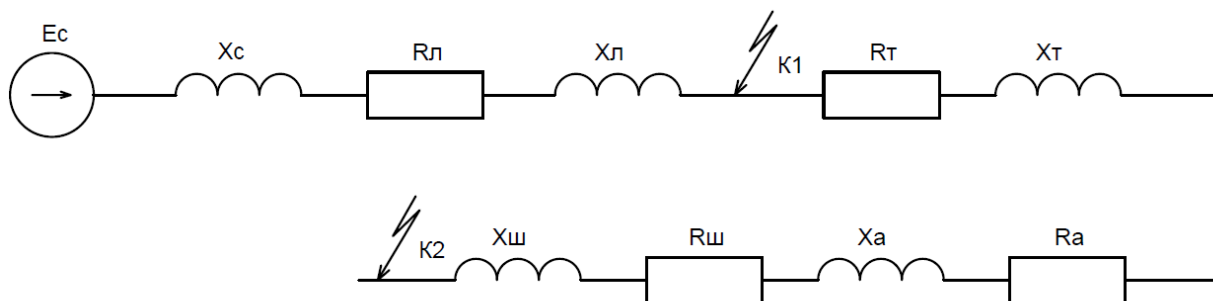


Рисунок 7.2 - Схема заміни для розрахунку струмів короткого замикання на напрузі 0,4 кВ

Визначте максимальний струм трансформатора:

$$I_{M\text{ ав}} = \frac{S_{\text{нмр}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 231,8 \text{ А}.$$

Розрахунок струмів КЗ в точці K2 виконують в іменованих одиницях.

Опір схеми заміни, доведений до базової напруги

$$X_c = \frac{U_{\bar{o}}^2}{S_{\text{нотк}}} = \frac{400^2}{1000} = 0,16 \text{ мОм}.$$

Знайдемо опір трансформатора:

$$U_{\text{кр}} = 100 \sqrt{\left(\frac{U_k}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_M}{S_n}\right)^2} = 100 \sqrt{0,045^2 - \left(\frac{2,7}{160}\right)^2} = 4,2,$$

$$X_{\text{тпр}} = \frac{U_{\text{кр}}}{100} \cdot \frac{U_{\bar{o}}^2}{S_n} = \frac{4,2}{100} \cdot \frac{400^2}{160} = 42 \text{ мОм},$$

$$R_{\text{тпр}} = \Delta P_M \left(\frac{U_{\bar{o}}}{S_n}\right)^2 = 2,7 \cdot \left(\frac{400}{160}\right)^2 = 16,875 \text{ мОм}.$$

Опір до автоматичних вимикачів.

$$X_{\text{ав}} = 0,094 \text{ мОм},$$

$$r_{\text{ав}} = 0,12 \text{ мОм},$$

					ДП 2021      141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_{ка}=0,25 \text{ мОм},$$

$$r_{кр}=0,15 \text{ мОм}.$$

Визначення опору шин:

$$X_{ош}=0,163 \text{ мОм/м};$$

$$r_{ош}=0,099 \text{ мОм/м},$$

$$L_{ш}=5\text{м}.$$

$$X_{ш}=X_{ош} \times L = 0,163 \times 5 = 0,815 \text{ мОм};$$

$$r_{ш}=r_{ош} \times L = 0,099 \times 5 = 0,495 \text{ мОм}.$$

Опір трансформаторів струму:

$$X_{тт}=0,07\text{мОм};$$

$$r_{тт}=0,05 \text{ мОм}.$$

Визначимо результуючий опір і струм короткого замикання в точці К2.

$$r_{рез} = r_{ш} + r_{тр} + r_{ав} + r_{ка} + r_{кр} + r_{тт} = 0,495 + 16,875 + 0,12 + 0,25 + 0,15 + 0,05 = 17,94\text{мОм},$$

$$X_{рез} = X_c + X_{ш} + X_{тр} + X_a + X_{тт} = 0,16 + 0,815 + 42 + 0,094 + 0,07 = 43,14 \text{ мОм},$$

$$Z_{рез} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} = \sqrt{17,94^2 + 43,6^2} = 46,72 \text{ мОм}.$$

Струм КЗ в точці К2:

$$I_{к2} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 46,72} = 4,95 \text{ кА}.$$

Значення миттєвого удару струсу:

$$i_y = \sqrt{2} \times k_y \times I_k = \sqrt{2} \times 1,4 \times 4,95 = 9,8 \text{ кА}.$$

Потужність КЗ в точці К2:

$$S_{к2} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi} \cdot I_{к2} = \sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 4,95 = 3,425 \text{ МВА}.$$

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 8. Облік електроенергії

Управління енергопостачанням промислового підприємства – це складний комплекс взаємозалежних процесів, обумовлений необхідністю дотримання режимів енергоспоживання, визначених енергосистемою, та забезпечення виробництва продукції, виходячи з вимог технологічного процесу виробництва підприємства.

При цьому важливо визначити необхідний обсяг і характер інформації про процеси, що течуть. Отримання достовірної інформації вимагає визначених витрат, які збільшуються зі збільшенням обсягу інформації і швидкості доставки. Якщо інформація необхідна для того, щоб підтримувати параметри енергоспоживання для забезпечення надійної роботи енергосистеми, швидкість її доставки повинна бути максимальною і якість інформації, швидше за все, достатньою для прийняття рішення про експлуатаційний вплив на систему.

У прогнозованій системі електропостачання є необхідність вимірювання параметрів режиму. Перш за все, необхідно виконати заміри на трансформаторній підстанції. Вимірюванні підлягає кількість струму, напруги, активної і реактивної енергії. Амперметри, що використовуються для вимірювання струму, включаються через трансформатори струму. Цей же струм трансформаторів також повинен бути підключений до поточних обмоток лічильників активної і реактивної енергії. Вольтметр на низькій стороні трансформаторів можна з'єднати безпосередньо. Перелік вимірювальних приладів, підключених до поточного трансформатора, показано в таблиці 8.1.

					<b>ДП 2021 141</b>					
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ</b>			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	<i>Тимошук Б.О.</i>									
Перевір.	<i>Ізволеньський І.</i>									
Реценз.										
Н. контр.										
Затверд.	<i>Балюта С.М.</i>									
					ННІТІ ім.акад. І.С.Гулого, ЗЕЛІ5-8ск					

**Таблиця 8.1. Прилади для вимірювання навантаження**

Назва приладу	Тип	Навантаження по фазах, ВА		
		А	В	С
Амперметр	Э-378	0,1	0,1	0,1
Лічильник	LZQM	0,05	0,05	0,05
<b>Разом</b>		0,15	0,15	0,15

Багатофункціональний лічильник LZQM (виробництво Литва), призначений для вимірювання активної та реактивної потужності та енергії в трифазних мережах змінного струму. Електронний лічильник з вбудованими мікроконтролерними заходами, процесами, відображає РК-дисплей і передає напругу, струм, потужність, енергію зовнішньому обладнанню, сос і частоту мережі. Параметризація та збір показань лічильника здійснюється персональним комп'ютером через оптичний інтерфейс програмою LZPEMS, що працює в середовищі ОС MS Windows. Інтерфейси «поточного циклу» дозволяють отримувати дані через двовідвідні лінії зв'язку, в тому числі інтермодемний телефонний зв'язок».

У зв'язку з тим, що нинішні трансформатори підключені до лічильників комерційного обліку електроенергії, відповідно до [7] вони повинні працювати в класі точності 0,5. Розрахуйте опір вторинного обмотування струму трансформатора. Опір приладів:

$$R_{np} = \frac{S_{np}}{I_{2н}^2} = \frac{0,15}{5^2} = 0,006 \text{ Ом.}$$

Перехідний опір контактів  $R_k = 0,1 \text{ Ом.}$

Для з'єднання бордюрів використовуємо мідні дроти перетину  $2,5 \text{ мм}^2$ , довжина  $l = 4 \text{ м.}$

Опір дроту:

$$R_{np} = \frac{1}{\gamma \times S} \times l = \frac{1}{2,5 \times 57} \times 4 = 0,028 \text{ Ом.}$$

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



Лічильники дозволяють виконувати облік з використанням диференційованих тарифів на електроенергію, а також формувати графіки споживання електроенергії з заданим інтеграційним інтервалом.

Види і виконання лічильників і їх функції відповідають позначення лічильника. Лічильники призначені для роботи в таких кліматичних умовах:

- встановлений діапазон робочих температур навколишнього середовища від мінус 10 до плюс 45 °С;
- максимальний діапазон робочих температур навколишнього середовища від мінус 20 до плюс 55 °С;
- відносна вологість повітря до 90% при температурі 30 °С;
- атмосферний тиск від 70 до 106,7 кПа.

На стійкість до механічних дій лічильники відповідають групі 3 по ГОСТ 22261 “Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия”.

Лічильники LZQM є складними електронними приладами, що мають в своєму складі мікроконтролер, призначений для вимірювання активної і реактивної енергії одночасно із застосуванням диференційованих за часом тарифів на електричну енергію.

Вхідні кола лічильників в якості датчиків струму використовуються активними трансформаторами струму, що мають невелику фазову і амплітудну похибку, так як перетворювачі використовували високоточні фазово-компенсуючі активні резистивні дільники напруги.

Як джерело живлення використовується імпульсне одноколісне зворотне джерело живлення, побудоване за принципом автогенератора, який має широкий діапазон вхідних напруг.

Усі моделі лічильника для пристрою інформаційного дисплея використовують рідкокристалічний дисплей.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

В якості ключів телеметричних виходів використовуються оптрони з додатковим транзистором, що входить в комплекті з фототранзистором за схемою Дарлінгтона. При зворотному вмиканні для захисту виходу встановлюються стабілітрони зі стабілізаційною напругою 30 В.

Ключі високочастотних телеметричних каналів використовують напрямну оптронний вихід фототранзистора. В якості реле управління навантаженням, оптосимістор використовується з включенням через нульову перехідну напругу і виключення через нульовий перехідний струм. Оптосимістор призначений для перемикання змінної напруги промислової частоти.

У тарифних лічильниках для контролю показників використовуються оптосенсори, які працюють на віддзеркалення. Кожен оптрон випромінює модульований світловий потік інфрочервоним світлодіодом і фотодіодом, що приймає відбитий світловий потік, сигнал фотоприймача, що продуктує вимкнений сигнал, з підтвердженням спрацьовування червоним світлодіодним світлом.

Лічильник обладнаний автономними годинниками, які показують поточний час (годину, хвилини, секунди) і дату (рік, місяць, день місяця і тижня), формує контрольні сигнали, відповідні часу дії 4 тарифних зон. Коли мережа вимкнена, годинник працює не менше 10 років (поки час та інші параметри на індикаторі не відображаються). Календар (рік, місяць, день), з урахуванням високосних років, правильний протягом 100 років. Варіанти переходу встановлюються при встановленні лічильника для реєстрації.

Для кожного з 4 тарифів протягом дня можна призначити до 3 часові інтервали. Тарифні зони будь-якого з 12 місяців за доцільне в одному з 4 сезонів. Часові обмеження тарифних зон встановлюються з дискретність 30 хвилин на чотири типи днів:

					ДП 2021	141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- робочий день - до 7 лімітів тарифних зон;
- Суботній день - до 2 меж тарифних зон;
- Недільний день - до 2 меж тарифних зон;
- Святкові - до 3 меж тарифних зон.

Лічильник передбачає можливість окремого встановлення міжтарифних зон за чотири сезони протягом року. Ці пори року умовно позначені показниками "а", "b", "с" і "d". Ліміти сезонів встановлюються останнім числом будь-якого місяця. Автоматична корекція годинника забезпечується при переході на «літній час» і «зимовий» час. Варіанти переходу встановлюються при встановленні лічильника для реєстрації.

Лічильник має можливість керувати реле для перемикання зовнішнього навантаження. Користувач має можливість запрограмувати до семи інтервалів часу, щоб включити або вимкнути реле протягом дня з дискретність 30 хвилин. Лічильники також можуть мати канал управління навантаженням. Управління навантаженням здійснюється відповідно до встановлених споживачем часових поясів. За добу визначено 7 зон часу включення-виключення навантаження. Дискретність представлення часу становить півгодини.

					<b>ДП 2021      141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 9. Захист промислових об'єктів від блискавки

Сплеск напруги називають будь-яким збільшенням різниці потенціалів до рівня, небезпечного для утеплення електроустановок, призначених для робочої напруги. Перечитування в електроустановки ділиться на внутрішні і зовнішні.

Внутрішня надмірність може з'явитися під час перехідних процесів, що супроводжується різкою зміною стійкої роботи електричної мережі. Він умовно ділиться на дві групи:

- резонансний, який пов'язаний зі стійкими резонансними коливаннями в системі і може тривати необмежений тривалий час;
- що відбувається в перехідних режимах і триває від тисячі до сотих секунди.

Резонансний перенапхж відбувається з певним співвідношенням між індуктивними і конденсаторами. Перенакидання перенапання залежить від продуктивності комутаційного обладнання, а також потужності і індуктивності електричного кола. Внутрішня надмірність поширюється на все електричне коло. Перенакидання перенапання визначає рівні лінійного утеплення електроенергії. Як резонансні, так і перемикання перенакидання мають важливе значення при виборі рівнів ізоляції обладнання підстанції і координації їх з характеристиками захисних розрядів.

В електроустановок напругою до 220 кВ допустимі значення внутрішнього сплеску визначаються вибором раціонального методу заземлення нейтральним, використанням найбільш сприятливих схем електричних з'єднань і встановленням рівнів ізоляції електрообладнання, що перевищують можливі максимальні значення внутрішнього сплеску напруги.

					<b>ДП 2021 141</b>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	<i>Тимошук Б.</i>				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	<i>Ізволеньський</i>						
Реценз.					<b>ЗАХИСТ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ</b> ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого,ЗЕЛ15-8ск		
Н. контр.							
Затверд.	<i>Балюта С.М.</i>						

Зовнішня перенапруга відбувається за рахунок впливу на електромонтаж грозових розрядів і не залежить від значення робочої напруги електроустановки. Атмосферна перенапруга ділиться на перенакидання прямого удару блискавки і індукованої.

Надмірне зіткнення в результаті удару блискавки, яка влучає в дроти лінії електропередач або станції обладнання або підстанції, є найнебезпечнішим. Дуже високі потенціали, що виникають в результаті прямих ударів блискавки по дротах, в більшості випадків викликають імпульсне перекриття утеплювача. Сам по собі останній не становить небезпеки, оскільки його тривалість не перевищує 100 ол.

Але під впливом робочої напруги імпульсне перекриття може перейти в силову дугу. При цьому відбувається коротке замикання і релейний захист розблоковує лінію.

Викликана надмірність виникає при грозі біля електромонтажних і ліній електропередач одночасно на всіх проводах лінії. Кількість переекспозицій майже однакова, тому між фазовою ізоляцією при індукованому переексерцизмі не піддається його впливу. При індукованому перенапрузі в електроустановках, де використовуються кабелі, амплітуда перенапрузі зазвичай не перевищує 300...400 кВ. Тому індукований перенапруження небезпечний для електроустановок з робочою напругою до 35 кВ і безпечний для електроустановок з робочою напругою 110 кВ і вище.

Слід мати на місці, що випробувальна напруга ізоляції обладнання електричних систем на електростанціях і підстанціях нижче електричної міцності лінійної ізоляції. Крім того, пошкодження ізоляції обладнання станцій і підстанцій призводить до короткочасного закриття безпосередньо біля колу шин, які навіть за допомогою сучасних засобів релейного захисту можуть стати причиною серйозних аварій в електричній системі.

Отже, грозовий захист станцій і підстанцій повинен виконуватися особливо ретельно. Електрообладнання слід захищати як від прямих ударів

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

блискавки, так і від штормових хвиль, що надходять з боків ліній.

Захист від прямої блискавки.

Ступінь порушення ліній електропередачі характеризується певною кількістю вимикачів  $n_{gr}$ , яка містить кількість вимикачів за рік ліній довжиною 100 км через грозовий сплеск кількості грузинських днів на рік = 20, або години затоплення року  $n_g = 30$ . Грозові лінії, метою яких є зменшення кількості лінійних вимикачів, досягаються за рахунок:

- захист ліній від прямих ударів блискавки за допомогою кабельних блискавок для зменшення кількості перекритих утеплювачів;
- подовження шляху перекриття за рахунок використання дерев'яних опор або траверсів, які трохи зменшують кількість вимикачів за рахунок зниження ймовірності перекриття імпульсу, що переміщуються в стійку силову дугу;
- захист окремих точок ліній з розпущеним утеплювачем (наприклад, металеві опори на лінії з дерев'яними опорами) трубчастими бітами, які гасять дугу короткого замикання і перешкоджають напучування лінії;
- автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) Як трифазне, так і однофазне. Лінії напругою 110 кВ і вище на металевих і залізобетонних опорах захищені від прямих ударів блискавки за допомогою кабельних громовідводів.

Захисна дія кабелю характеризується розташуванням  $\alpha$  між вертикальною лінією, протягнутим через крайній дріт і лінією, що з'єднує дріт і кабель. Чим вище кабель над дротом і тим ближче він до вертикалі, що здійснюється через дріт, тим краще його захисний ефект. Отже, ступінь надійності захисту збільшується зі зменшенням захисного кута.

Згідно з Правилами електромонтажної установки (ПУЕ), для захисту від прямих ударів блискавки по лініях на металевих опорах з

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

горизонтальним розміщенням проводів необхідно повісити два кабелі з кутом захисту по відношенню до екстремальних проводів не більше 20 °.

Для надійного захисту середнього дроту відстань між кабелями повинна бути не більше чотирьох разів перевищення над проводами. На одностіні металеві та залізобетонні опори захист виконується однією мотузкою з кутом захисту не більше 30°.

Металеві та залізобетонні опори ліній 6...10 кВ підлягають обов'язковому заземленню. Кабельні вставки захищають від атмосферного сплеску за допомогою трубчастих розрядів, які розміщуються на опорах з кінцевими кабельними муфтами. На підстанціях напругою 6 кВ і вище трансформатори, відкриті вимикачі, включаючи шинні мости і гнучкі з'єднання, закриті розподільчі системи, нафтове землеробство та інші вибухо- і пожежні небезпечні конструкції повинні бути захищені від прямих ударів блискавки.

Будівлі та споруди поділяються на 3 категорії:

I – виробничі потужності та споруди, віднесені за 2016 рік до вибухонебезпечних класів В – I та В – II; будинки електростанцій і підстанцій;

II – інші будівлі та споруди, у тому числі протипожежні приміщення;

III – всі інші будівлі та споруди, що мають вибухонебезпечні приміщення, не є I категорією.

Захист від прямих ударів блискавки будівель і споруд I категорії здійснюється окремо монтажем стрижня або кабельних блискавок, які забезпечують необхідну зону захисту.

Триває захист від прямих ударів блискавки будівель і споруд II категорії: окремо встановлюється або встановлюється на будинок стрижень або кабельні блискавки, що забезпечують зону захисту; на блискавці заземлену сітку розміром 6\*6 м, яка накладається на металеву покрівлю; заземлення металеві покрівлі.

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



При год  $\leq 30$  м,  $p = 1$ , при год  $> 30$  м,  $p = 5,5 / \sqrt{h}$ . Найменша висота зони захисту між двома громовідводами:

$$h_0 = h - a / 7,$$

де  $a$  – відстань між громовідводами.

Найменша ширина зони захисту  $2b_x$  на висоті  $h_x$  визначається кривою за довідковою літературою або за формулою:

$$b_x = 4n_x (7 h_a - a) / (14 h_a + a)$$

Територія підстанції найчастіше охороняється кількома громовідводами. Щоб весь простір між ударами блискавки був захищений від прямих ударів блискавки, необхідно виконати умову:

$$D \leq 8 h_a$$

Захист підстанції від хвиль атмосферного сплеску, які надходять від лінії електропередач. На лініях електропередачі часто спостерігається атмосферна надмірність у вигляді імпульсних електромагнітних хвиль, що поширюються по лінії і рейдують шинами підстанції. Основними засобами захисту електрообладнання від цих хвиль є скидання клапанів, підключених до шин підстанції або безпосередньо до обладнання, що буде захищено.

Надійний захист обладнання можливий за двох умов:

- коли відстань між клапанами і обладнанням, що буде захищено, обмежена;
- при значенні імпульсних струмів, що протікають через розряди, обмежується нормалізованими значеннями 5...10 к А, при яких імпульсна напруга, яка ще не стала на біті, знаходиться в допустимих межах.

Максимально допустиму відстань між бітами та захищеним обладнанням можна визначити з виразу:

$$I_{\text{доп}} = (U_{\text{із, доп}} - U_p) \cdot V / (2a),$$

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



Розряди клапанів з магнітним гасінням дуги РВМ дозволяють обмежити значення перенакидання  $2,4 V_{ном}$ , якщо імпульсний струм, який проходить через вентиляційний розряд, не перевищує 2 кВ на фазу. Тому при використанні РВМ розрядів захист підходу повинен забезпечити відповідне обмеження імпульсних струмів за рахунок розрядів.

При наявності реакторних ліній підвищується надійність схем захисту. Це пов'язано, перш за все, з обмеженням струмів апаратів ШВЛ індуктивним зв'язком.

На підходи замість апаратів ШВЛ можна ставити трубчасті, оскільки реактори обмежують короткі замикання струмів значеннями, безпечними для трубчастих розрядів. Повітряний підхід повинен бути захищений від прямих ударів блискавки ударами блискавки.

У схемах з реакторами необхідно враховувати небезпеку значного підвищення напруги перед реактором за рахунок відбиття електромагнітної хвилі від індуктивного реактора. Таким чином, розряди повинні бути розміщені перед реактором.

При одночасному використанні кабельної вставки і реактора блискавкозахист буде найнадійнішим. Підвищення надійності блискавкозахисту електричних машин можна домогтися, встановивши нелінійні обмежувачі напруги напрузі генератора.

#### Розрахунок захисту трьох громовідводів

1. Для захисту основного корпусу від прямої блискавки (РВБ) беремо три блискавки (стрижень). Будівництво вихідної зони трьох стрижнів БВ здійснюється за загальним правилом для кожного двох суміжних БВ: Визначення зони захисту двох громовідводів БВ-1– БВ-3:  
 $a = 81 \text{ м}$  – відстань між БВ-1 і БВ-3, яка не повинна перевищувати:

$$7 h = 735 = 245 \text{ м,}$$

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$h = 35$  м – висота блискавковідводу;

$h_x = 15$  м – рівень встановленого обладнання;

$h_a = h - h_x$ ;  $h_a = 35 - 15 = 20$  м – активна висота БВ.

Визначаємо радіус півкола на висоті  $h_x = 15$  м

$$r_x = 1,6 h_a / (1 + h_x / h) \cdot 5,5 / \sqrt{h};$$

$$r_x = 1,620 / (1 + 15 / 35) \cdot 5,5 / \sqrt{35} = 20,1 \text{ м}$$

Найменша висота зони захисту між двома БВ:

$$h_0' = h - a' / 7; \quad h_0' = 35 - 81 / 7 = 23,4 \text{ м}$$

Найменша ширина захисної зони  $b_x'$  на висоті  $h_x$  :

$$b_x' = 4 r_x \cdot (7 h_a - a') / (14 h_a + a');$$

$$b_x' = 4 \cdot 20,1 \cdot (7 \cdot 20 - 81) / (14 \cdot 20 + 81) = 13,1 \text{ м}$$

Визначення зони захисту від блискавки БВ-1 – БВ-2

$$a'' = 52,5 \text{ м}; \quad h = 35 \text{ м}; \quad h_x = 15 \text{ м}; \quad h_a = 20 \text{ м};$$

$$r_x = 1,6 h_a / (1 + h_x / h) \cdot 5,5 / \sqrt{h};$$

$$r_x = 1,620 / (1 + 15 / 35) \cdot 5,5 / \sqrt{35} = 20,1 \text{ м}$$

$$h_0'' = h - a'' / 7; \quad h_0'' = 35 - 52,5 / 7 = 27,5 \text{ м}$$

$$b_x'' = 4 r_x (7 h_a - a'') / (14 h_a + a'');$$

$$b_x'' = 420,1(720 - 52,5) / (1420 + 52,5) = 21,1 \text{ м}$$

Визначення зони блискавкозахисту БВ-2 – БВ-3

$$a''' = 78,8 \text{ м}; \quad h = 35 \text{ м};$$

$$h_x = 15 \text{ м}; \quad h_a = 20 \text{ м};$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$r_x = 1,6 h_a / (1 + h_x / h) \cdot 5,5 / \sqrt{h};$$

$$r_x = 1,620 / (1 + 15 / 35) \cdot (5,5 / \sqrt{35}) = 20,1 \text{ м}$$

$$h_0''' = h - a''' / 7; \quad h_0''' = 35 - 78,8 / 7 = 23,7 \text{ м}$$

$$b_x''' = 4 r_x \cdot (7 h_a - a''') / (14 h_a + a''');$$

$$b_x''' = 420,1 \cdot (720 - 78,8) / (1420 + 78,8) = 13,7 \text{ м}$$

Обрана захисна зона з трьома громовідводами БВ-1, БВ-2, БВ-3 охоплює заповідну зону головного корпусу, тобто захист ефективний.

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 10. КОНСТРУКТИВНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПІДСТАНЦІЙ

У КТП при напрузі 10 кВ прийнята єдина система збірних шин, яка з'єднує вхід силового трансформатора потужністю 250 кВА і лінії вильоту.

У КТП при напрузі 0,4 кВ прийнято один, нарізний автоматичним вимикачем, системою збірних шин.

У КТП передбачається встановлення силового трансформатора типу ТСЗ-250/10/0,4 потужністю 250 кВА.

Передбачається, що РУВН буде з типових КСВ-камер з перемикачами навантаження з номінальним струмом до 160 А.

РУВН передбачається з типових вхідних панелей і ліній вильоту 0,4кV на автоматичних вимикачах.

У КТП передбачається встановлення обліку активної та реактивної енергії з підгрівом у вхідному відсіку. У відсіку вимикачів- трансформатори струму і лічильників активної і реактивної енергії збоку НН.

Підключення силового трансформатора до РУВН передбачається кабелями ААБл-3х35. Підключіть силовий трансформатор до кабелю РУНН АВВГнг 4х240. Вольтметри з вимикачами встановлюються на двері вхідних панелей для вимірювання напруги на секціях РУНН. Для вимірювання струму кожної фази на вході НН встановлюються амперметри.

У відсіках КТП прийнято робоче освітлення на напругу 220В. Ремонтне, портативне освітлення та освітлення КСВ-камер виконується при напрузі 24В. Електропостачання мережі освітлення взято з розподільних щитків робочого освітлення.

					<b>ДП 2021</b>		<b>141</b>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<b>КОНСТРУКТИВНЕ ВИКОНАННЯ ПІДСТАНЦІЙ</b>			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	<i>Тимчук Б.О.</i>									
Перевір.	<i>Ізволеньський І.</i>									
Реценз.										
Н. контр.										
Затверд.	<i>Балюта С.М.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛІ5-8ск					

## 11. Вплив компенсації реактивної потужності на техніко-економічні показники підприємств

### Споживачі та джерела реактивної енергетики

Споживачами реактивної потужності (РП) в системі електропостачання промислових підприємств (СЕПП) є всі електроприймачі, які за принципом його роботи використовують електромагнітне поле (асинхронні електричні двигуни, зварювальні трансформатори, випрямлячі і т.д.). При 100% РП, виробленої в енергосистемі, 42% втрачається в енергомережі (від збільшення трансформаторів електростанцій до зниження трансформаторів ГДЗ), 58% приходить на розподільчі мережі промислових підприємств. Аналіз складу споживачів РП показує, що асинхронні електромобілі становить 35%, електрона установки – 8%, втрати трансформаторів всіх видів і всі етапи трансформації – 45%, втрати в лініях електропередачі – 13%, освітлення та інші електроприймачі – 7%.

З метою зниження РП, споживаного АД, передбачені наступні заходи: вибрати двигуни без зайвих запасів на потужності або замінити низьконавантажувальні двигуни з меншою потужністю; зменшити напругу на затискачах АД, які працюють з низьким навантаженням (перемикання обгортання статора з трикутника на зірку, розчлення обгорток статора, відключення опускання трансформаторів); обмежити простою АД (холостий  $\varphi = 0,1...0,3$ ); підвищити якість ремонту АД. Для того, щоб зменшити РП, споживаний АД, передбачені наступні заходи: вибрати двигуни без зайвих запасів на потужності або замінити низьконавантажувальні двигуни з меншою потужністю; зменшити напругу на затискачах АД, які працюють з низьким навантаженням (перемикання обгортання статора з трикутника на зірку,

					<b>ДП 2021 141</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Спецпитання</b>					
Розробив		<i>Тимошук Б.О.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Ізволеньський</i>								
Н. Контр.								ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ15-8ск		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>								



Залежно від мети, для якої компенсується пристрій, в кожному випадку вибирається певне джерело РП.

Найширший розподіл в СЕП отримав КУ, які мають ряд істотних переваг: незначні втрати, можливість дроблення потужності при їх максимальному наближенні до споживачів, можливість збільшення потужності при збільшенні навантаження, простота обслуговування.

Переваги СК в порівнянні з ІК обумовлені його технічними характеристиками: можливістю плавного ручного і автоматичного регулювання РП шляхом зміни струму збудження; можливість різкого збільшення видачі РП за рахунок примушення струму збудження при миттєвих і швидких змінах напруги в контрольованій точці мережі; підвищення стійкості електричних мереж за рахунок ефекту примушування і дефляційного збудження СК; можливість споживання надлишку РП з мережі в умовах, коли іншими засобами неможливо знизити напругу в цьому вузлі до нормального рівня.

Синхронні компенсатори практично не використовуються, оскільки з економічних причин виготовляються тільки на великих потужностях, характерних для підстанцій енергосистем. Ефективні як джерела РП швидко рухомої напруги SD 6-10 кВ, які виробляють РП як супутній продукт при виконанні свого основного завдання – споживання активної потужності, тобто при перетворенні одного виду енергії в інший. Тому конкретні витрати на виробництво РП в СД практично нульові.

Статичні джерела реактивної сили. Принцип роботи SDLP полягає в тому, що поточний перетворювач заряджає магнітну енергетичну індуктивність, ця енергія перевертає в мережу змінного струму з передпрогнозним коефіцієнтом потужності. Для отримання 12-фазної пульсації випрямленого струму напруга від електромережі подається через координатний трансформатор і два мости керованих випрямлячів на обмотці горла. Відкриття транзистрів відбувається раніше, ніж природна точка переходу на

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

кут, близький до 90°. Потужність можна регулювати широко. Тривалість перехідного процесу становить один період. Головним недоліком SDLP є спотворення поточної форми.

### Конденсаторні установки промислового виробництва

Для завершення КУ використовується ряд конденсаторів. За даними ГОСТ конденсатори 1282-88 діляться: номінальною напругою (220, 380, 500, 660, 1050, 3150, 6300, 6600, 10500 В), кількістю фаз (однофазна, трифазна), для виконання (для зовнішньої або внутрішньої установки), габаритні розміри (нуль з габаритами 380x120x180 мм, перший - 380x120x325 мм, другий- 380x120x640).

В експлуатації знаходяться конденсатори типів КМ, КМА, КСО, КСО, КСК1, КСА, КС1. Потужність конденсатора пропорційна потужності, напрузі і частоті цієї напруги. Фактичний конденсатор RP QK, включений в мережу США, крім номінальної напруги конденсатора  $U_{к.ном}$ , визначається

формулою

$$Q_k = Q_{к.ном} \cdot \left( \frac{U_c}{U_{к.ном}} \right)^2,$$

де  $Q_{к.ном}$  – номінальна потужність конденсатора, кВар;  $U_{нас}$  – фактичний рівень напруги в мережі, кВ. У порівнянні з іншим електрообладнанням конденсатори мають невеликі втрати. Вони 0,05-0,35%, номінальна потужність, тобто 0,5-3,5 Вт за кварк. Втрати конденсаторів збільшуються при підвищенні температури (особливо швидко збільшуючи втрати при температурах вище 60 °С), частоті, напрузі (особливо при наявності більш високих гармонік в напрузі) і дотичні кутові діелектричні втрати.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2021		141		

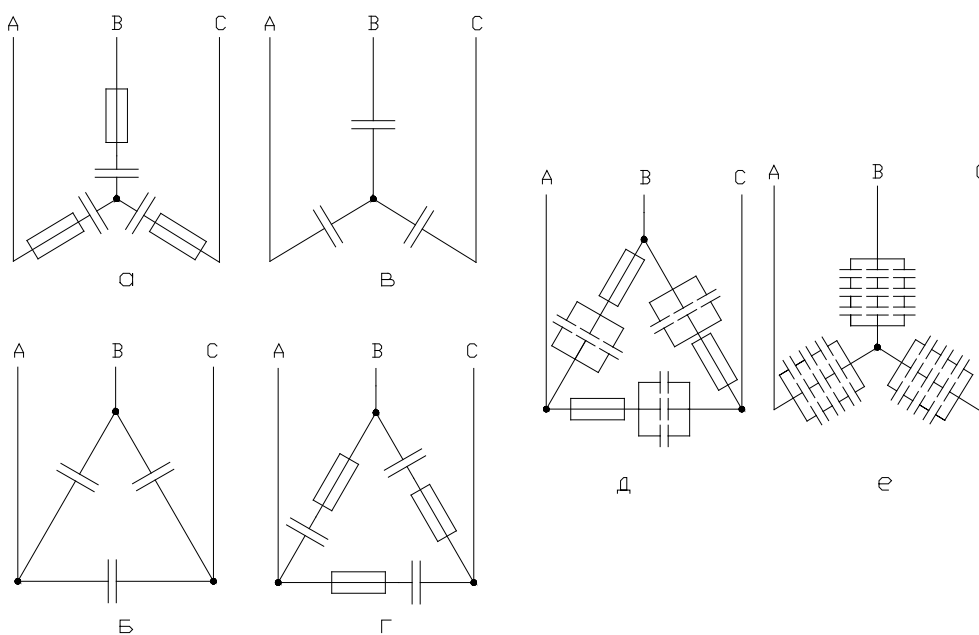


Рис. 11.1. Схеми з'єднання КУ:  
а, в, е – зіркою; б, г, д – трикутником.

Конденсатори виготовляються в однофазних і трифазних характеристиках при напрузі нижче 1,05 кВ, однофазні – при напрузі 1,05 кВ і вище. Конденсатори в трифазній конструкції мають з'єднання тільки за схемою трикутника, а однофазні можуть з'єднуватися як зірка, так і трикутник (рис. 9.1). У конденсаторах трифазної продуктивності співвідношення максимальної потужності, виміряної між двома будь-якими виходами, мінімум повинен бути не більше 1,08 в конденсаторах напругою 0,66 кВ і нижче і не більше 1,06 - при напрузі вище 0,66 кВ. Граничне відхилення потужності (потужності) конденсаторів від номінальної при температурі 20 0С is -5...+10%.

Конденсатори напругою 1,05 кВ і нижче і при напрузі 6,3 і 10,5 кВ потужністю до 200 квар включно виготовляються з вбудованим всередині корпусу і послідовно з'єднуються з кожним агрегатом всередині конденсатора за допомогою плавника запобіжником по одному на одиницю. У разі поломки, будь-який з них розряджається на пошкоджений агрегат,

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

через що запобіжник спалює пошкоджений агрегат і його надійне відключення. При роботі за межами конденсатора запобіжники не повинні працювати. При спалювачі конденсатор втрачає частину ємності, але може довго залишатися в експлуатації. Таким чином, конденсатори напругою 1,05 і нижче, завдяки реалізації великої кількості незалежних паралельних блоків з індивідуальними запобіжниками, мають більш високу «живучість».

Конденсатори напругою 1,05 кВ виконують з тих же низьковольтних агрегатів, підключених в паралельно-последовних групах. Таке з'єднання блоків виключає можливість вибіркового захисту конденсаторів за допомогою вбудованих запобіжників. Тому при ламання будь-якого з блоків він не відключається, а повністю шунтує паралельно включеному блоку його ряду. В результаті ряд виводиться з роботи, а натяг на інші ряди збільшується, що призводить до їх значного перевантаження і поломки наступних блоків вже в інші ряди. Зрештою, високовольтний конденсатор, в якому пробивають хоча б один блок, неминуче виходить з ладу. Щоб виключити такі випадки, високовольтні конденсатори повинні бути захищені вибілковими зовнішніми запобіжниками, що реагують на поломку одного блоку.

Для забезпечення розряду конденсаторів під час перемикання в конденсатор вбудовуються біт-пристрої, що складаються з активних опор (резисторів). Конденсатори напругою 0,38 кВ з вбудованими резисторами біт встановлюються зовні між виходами конденсатора. Конденсатори напругою 6-10 кВ бітові резистори встановлюються всередині верхньої частини ємності конденсатора і прикріплюють паралельні виходи. Значення опору бітів  $R_p$ , Ом, визначається за формулою

$$R_p = 15 \cdot \frac{U_{\phi}^2}{Q_{к.ном}} \cdot 10^6,$$

де  $U_{\phi}$  – фазова напруга мережі, кВ;

$Q_{к.ном}$  – номінальна потужність конденсатора, кварц.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Схеми з'єднання біт-резисторів в трифазних конденсаторах виконують трикутник, відкритий трикутник і зірка. Найнадійнішою схемою для КУ напругою до 1000 В слід вважати з'єдний трикутник, так як при порушенні однієї фази буде розрядка за схемою відкритого трикутника у всіх трьох етапах.

Для напруги КУ вище 1000 В в якості резисторів бітів рекомендується використовувати два однофазних трансформатори напруги, підключені до відкритого трикутника або індуктивних резисторів (Мал. 9.2). Більш того, якщо для конденсаторів напруга до 1000 В рекомендована з метою економії електроенергетики без постійно прикріплених резисторів з автоматичним підключенням останнього в момент відключення конденсаторів, то для конденсаторів напругою вище 1000 В біт резистори повинні постійно підключатися до конденсаторів, тому не повинно бути вимикачів в колах між резисторами і конденсаторами.

При поділі КУ на секції для ступінчастого регулювання потужності, кожна секція з окремою комутаційна машина повинна мати свій власний набір резисторів

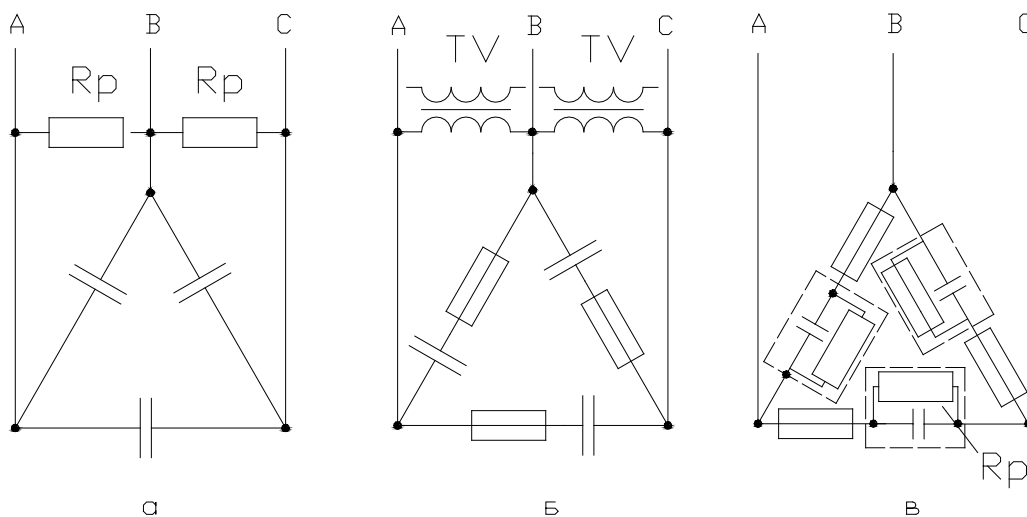


Рис. 9.2. Підключення опор для розряду КУ:

а – зовнішнє із активних опорів; б – індуктивне (трансформатори напруги); в – активні опори, вбудовані всередину конденсатора.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



Конденсаторні агрегати четвертої групи спеціального призначення мають широке застосування в системі електропостачання промислових підприємств і можуть виконуватися на різних потужностях і напругах в залежності від умов, встановлених споживачами електроенергії.

Схеми електричних з'єднань конденсаторних агрегатів СЕПП частіше використовують КУ напругою 0,38; 6 і 10 кВ. Відносно рідко використовується напруга КУ 35; 110 та 220 кВ. Конденсаторні агрегати напругою 0,38; 6 і 10 кВ в розподільчих мережах зазвичай використовуються у вигляді КСУ. У мережах 35 кВ, 110 кВ і вище КУ оснащені конденсаторами, які постачаються окремо. Такі КУ, як правило, встановлюються на ГДЗ великих промислових підприємств. В електромережах напругою 0,38 кВ, як правило, трифазний КУ, підключений за схемою трикутника. Однофазна напруга КУ 0,38 кВ використовується для індивідуального однофазного енергоспоживання 6 and 10 kV налаштування напруги оснащені трифазними конденсаторами, з'єднаними за схемою трикутника. Схеми з'єднання напругою 6 і 10 кВ від однофазних конденсаторів 0,66 і 1,05 кВ (з паралельним послідовним підключенням їх фази) частіше виконуються у вигляді зірки або подвійної зірки. Можливі варіанти підключення КУ з напругою 0,38 кВ до розподільчої мережі наведені на рис. 11.3, а КУ напругою 6-10 кВ – на рис.11.4; 11.5.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					





вимкнений. У разі групової компенсації ку підключається до шин або до шин розподільчих точок мережі 0,38 кВ. Цей метод дозволяє збільшити час використання конденсаторів. Однак частково мережі напругою 0,38 кВ завантажуються реактивною силою.

З централізованою компенсацією конденсаторна установки з'єднує:

1. до 0,4 кВ ТП;
2. до шин 6...10 кВ РП;
3. до шин 6...10 кВ ГПП.

У першому випадку з реактивної потужності вивантажується вся високовольтна мережа і трансформатори ТП; у другому – лише частина високовольтної мережі та трансформаторів ГПП; у третьому – тільки трансформатори ГПП і мережі енергосистеми.

При виборі засобів компенсації необхідно враховувати, що максимальний економічний ефект досягається в разі їх розміщення в місцях споживання реактивної потужності. Передача РП з мережі 6...35 кВ в мережу 1000 В зазвичай економічно непрактична, якщо це призводить до збільшення кількості цегляних трансформаторів.

Для малої потужності електроустановок, що підключаються до існуючих мереж 6...10 кВ, повна компенсація реактивної потужності збоку до 1000 В є економічно ефективною. Нерегульований КУ в мережах до 1000 В необхідно розміщувати в магазинах, в точках групового розподілу, якщо навколишнє середовище дозволяє таку установку. Установка регульованої конденсаторної батареї в мережах до 1000 В визначається з урахуванням регулювання напруги мережі або регулювання реактивної потужності. Установка конденсаторних батарей збоку 6...10 кВ цегляних підстанцій не рекомендується.

Установка нерегульованих конденсаторів напругою до 1000 В на ТП або основній ділянці основної секції основної шини допускається тільки тоді,

					ДП 2021 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коли установка конденсаторів у відділенні неможлива, якщо пожежна безпека.

Монтаж конденсаторів напругою 6...10 кВ повинен бути забезпечений:

1. на підстанціях з вимикачем живлення 6...10 кВ;
2. на ПГВ або ГПП, з яких електроенергія розподіляється через підстанції магазинів.

Для промислових підприємств з комбінованою потужністю трансформаторів менше 750 кВА розрахунки компенсації не виконуються. Потужність компенсуючих пристроїв живиться безпосередньо від енергосистеми.

При виборі засобів компенсації вихідних даних РП становлять такі вимоги енергосистеми: 1) економічно обґрунтована максимальна сума РП, яка може бути передана з енергосистеми в мережу підприємства; 2) найменший РП, який може бути переданий в мережу підприємства в режимі найменших навантажень енергосистеми (нічний мінімум); 3) мінімальна РП, що передається з енергосистеми після аварійних режимів.

Перед визначенням потужності компенсаційних пристроїв необхідно враховувати реактивну потужність, що генерується повітряними і кабельними лініями електропередач номінальною напругою понад 20 кВ. Необхідно вибрати спосіб управління компенсуючими пристроями (ручними, дистанційними або автоматичними), а також параметр регулювання (напруга, реактивна потужність, час і т.д.), враховувати додатковий економічний ефект від впливу компенсаційних пристроїв на режим напруги.

					ДП 2021 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 12. Охорона праці

### 12.1 Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання

Сучасне виробництво нерозривно пов'язане з використанням електроенергії. В умовах експлуатації потужних енергосистем, електричних машин та апаратів, розвитку обчислювальної техніки і приладобудування, роботизації та комп'ютеризації виробництва важливого значення набуває проблема в електробезпеці і захисті електротехнічного персоналу та інших осіб, які обслуговують електроустаткування від ураження електричним струмом.

Оскільки розташування обладнання у механічних цехах обумовлюється технологічним циклом виробництва, проблеми охорони праці відіграють велику роль. Не завжди виконуються вимоги до освітлення робочих місць, встановлення силових та розподільчих пунктів, прокладання силових мереж.

Основним електричним об'єктом у цеху є силовий трансформатор, що обов'язково розташований у відокремленому приміщенні (трансформаторній підстанції). Оптимальним розташуванням підстанції є місце, що умовно являється серединою електричних навантажень цеху. Але таке розташування підстанції часто заважає технологічному процесу, переміщенню по цеху робітників та технологічного транспорту. Тому приміщення підстанції розміщують біля однієї із стінок цеху, бажано з додатковими дверима на вулицю (для заміни силових трансформаторів у разі ремонту).

Майже все обладнання цеху має електричний привід – асинхронні двигуни. Робота в такому цеху вимагає певних знань з електротехніки та суворого дотримання норм техніки безпеки та охорони праці на виробництві.

Необережне поводження з електричною частиною верстатів може привести до травмування людини, яка обслуговує електричне обладнання.

					<b>ДП 2021 141</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Охорона праці</b>					
Розробив		<i>Тимошук Б.О.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Сірик А.О.</i>								
Н. Контр.		<i>Ізволеньський</i>						<b>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск</b>		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>								



своєї ділянки; вміти навчати персонал інших груп правилам техніки безпеки; вміти надавати першу допомогу потерпілому.

**V група.** Особи цієї групи повинні знати всі схеми та обладнання своєї ділянки; знати ПТЕ та ПБЕ в загальній та в спеціальній частинах; знати, чим викликана та чи інша вимога правил; вміти організувати безпечне виконання робіт та здійснювати нагляд в електричних установках будь-якої напруги; навчати персонал інших груп правилам техніки безпеки; вміти надавати першу допомогу.

При огляді електричного обладнання обов'язково потрібно звернути увагу на наявність і справність захисного заземлення чи занулення корпусів, каркасів і т.д. не змінюючи кожухів і огорожень з діючого обладнання роботи.

Тяжкість ураження організму електричним струмом залежить від цілого ряду фізіологічних та фізичних чинників і умов середовища. Сюди відноситься: опір тіла людини, сила струму та тривалість його дії, шлях протікання через тіло людини; вид і частота електричного струму, індивідуальні особливості організму людини, стан її здоров'я і нервової системи, середовище, яке оточує людину при ураженні її електричним струмом і т. ін.

## 12.2 Організаційні та технічні заходи з охорони праці

Аналіз загальної кількості виробничих нещасних випадків свідчить, що кількість електротравм становить 1,0-1,5%, а в енергетиці навіть 3-5%. Але серед нещасних випадків зі смертельним наслідком електротравми становлять 20-40% на виробництві, а в енергетиці до 60%, займаючи одне з перших місць. При цьому 60-85% смертельних уражень електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В (127-380 В).

Електротравматизм порівняно з іншими видами травматизму має деякі відмінні особливості.

Перша особливість полягає у тому, що організм людини не має органів, за

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

допомогою яких можна дистанційно визначити наявність напруги, як, наприклад, теплову, світлову енергію, деталі, які рухаються. Тому захисна реакція організму виявляється тільки після потрапляння під напругу.

Друга особливість електротравматизму полягає в тому, що струм, який проходить крізь людину, діє не тільки в місцях контактів та на шляху протікання крізь організм, а й викликає рефлекторну взаємодію, спричиняючи порушення нормальної діяльності окремих органів (серцево-судинної системи, системи дихання).

Третьою особливістю є можливість отримання електротравми, не маючи безпосереднього контакту зі струмопровідними частинами - переміщення по землі поблизу пошкодженої установки (у випадку замикання на землю), ураження через електричну дугу.

Четверта особливість електротравматизму це те, що у більшості випадків для розслідування, обліку та аналізу доступні тільки електротравми з тяжкими та смертельними наслідками.

Безпека людини на виробництві залежить від багатьох факторів і, зокрема, від рівня електробезпеки. Грамотне вирішення проблеми електробезпеки має забезпечувати людині використання електричної енергії в будь-яких умовах без ризику для життя.

Електробезпека - це система організаційних та технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики (ГОСТ 12.1.009-76).

Електричний струм, який проходить крізь живий організм, чинить термічну, електролітичну та біологічну дію. Термічна та електролітична дія властива будь-яким провідникам, а біологічна - тільки живій тканині.

Термічна (теплова) дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку та інших органів, які перебувають на шляху протікання струму, що викликає серйозні функціональні розлади цих органів й організму в цілому.

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електролітична (хімічна) дія струму виражається в розкладі (електролізі) органічних рідин, в тому числі й крові, що супроводжується значними порушеннями їх фізико-хімічного складу.

Біологічна дія струму виявляється в подразненні та збудженні живих тканин організму, а також у порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, які протікають у нормально діючому організмі й тісно пов'язані з його життєвими органами.

Подразнювальна біологічна дія на тканини організму може бути прямою, коли струм проходить безпосередньо по цих тканинах, і рефлекторною, тобто дія відбувається через центральну нервову систему, а шлях струму пролягає за межами цих тканин.

Механічна (динамічна) дія струму виявляється в розшаруванні, розриві та інших подібних пошкодженнях різних тканин організму, в тому числі м'язової тканини, стінок кровоносних судин легеневої тканини тощо внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари від перенагрітої струмом рідини тканини і крові.

Різноманітність дій електричного струму на організм людини може призвести до різних електротравм, які умовно можна звести до двох видів: місцевих електротравм, коли виникає місцеве пошкодження організму, і загальних електротравм, так званих електричних ударів, коли уражається (або створюється загроза ураження) весь організм через порушення нормальної діяльності життєво важливих органів і систем.

Травми обох видів часто супроводжують одна одну. Але вони різні і мають розглядатися окремо. Характерні місцеві електротравми - це електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні пошкодження та електроофтальмія.

Електричний опік - найбільш поширена електротравма. Залежно від умов виникнення розрізняють два основних види опіків: струмовий (або контактний), який виникає в електроустановках з відносно невеликою напругою - не вище 2 кВ, при проходженні струму безпосередньо крізь тіло

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



який настапує з моменту припинення діяльності серця та легенів. У людини, яка перебуває у стадії клінічної смерті, відсутні усі ознаки життя: вона не дихає, серце не працює, больові подразнення не викликають ніякої реакції, зіниці ока дуже розширені й не реагують на світло. Тривалість клінічної смерті визначається з моменту припинення серцевої діяльності та дихання до початку загибелі клітин кори головного мозку, у більшості випадків вона триває 4-6 хвилин. При загибелі здорової людини від випадкової причини, наприклад, від електричного струму, тривалість клінічної смерті може становити 7-8 хвилин, а в разі смерті людини через тяжку хворобу серця, легень тощо лише кілька секунд. Проте якщо в цей період надати постраждалому допомогу, тобто штучним диханням забезпечити збагачення його крові киснем, а непрямим масажем серця налагодити в організмі штучний кровообіг і тим самим забезпечити клітини організму киснем, то розвиток смерті можна буде припинити, а життя повернути.

Біологічна, або істинна, смерть - необоротне явище, яке характеризується зупинкою біологічних процесів у клітинах та тканинах і розкладом білкових структур. Вона починається після закінчення періоду клінічної смерті.

Фактори, які визначають безпеку ураження електричним струмом

Фактори, які впливають на характер та наслідки уражень електричним струмом, надзвичайно різноманітні. Їх можна поділити на три групи: фактори електричного характеру (напруга і струм, який проходить крізь людину, вид і частота струму, опір людини електричному струму); фактори неелектричного характеру (особливі властивості людини, фактор уваги, тривалість дії струму, шлях струму крізь людину); фактори навколишнього середовища.

Фактори електричного характеру. Струм, який проходить крізь людину, є головним ушкоджуючим фактором при електротравмі. Різний за рівнем струм впливає по-різному на людину. Людина починає відчувати дію малого струму, який проходить крізь неї: 0,6-1,5 мА при змінному струмі, частота якого 50 Гц; 5-7 мА при постійному струмі. При збільшенні струму понад відчутний, у людини з'являються спазматичні скорочення м'язів та сильний

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



контактів зі струмопровідними частинами знижує опір шкіри. З підвищенням прикладеної напруги опір шкіри також зменшується внаслідок пробою її верхнього шару.

Зростання сили струму або часу його протікання викликає більше нагрівання верхнього шару шкіри та інтенсивніше потовиділення у місцях контакту, що теж зменшує електричний опір шкіри.

Найбільший електричний опір має верхній роговий шар шкіри, який не містить кровоносних судин.

Опір внутрішніх органів залежить, у цілому, від прикладеної напруги.

Оскільки опір тіла людини електричному струму є нелінійним та нестабільним і вести розрахунки з такими опорами складно, дійшли висновку, що опір тіла людини становить 1000 Ом.

Найбільш небезпечним для людини є струм із частотою 20-200 Гц. Зі зниженням і підвищенням частоти небезпека ураження зменшується та цілком зникає при частоті 450-500 кГц, хоча ці високочастотні струми зберігають небезпеку опіків.

Постійний струм, який проходить крізь тіло людини, порівняно зі змінним струмом з такими ж параметрами, викликає менш неприємні відчуття. Однак це справедливо лише для напруг до 300 В.

З подальшим підвищенням напруги небезпека постійного струму зростає і в інтервалі напруг 400-600 В практично дорівнює небезпеці змінного струму з частотою 50 Гц, а при напрузі понад 600 В постійний струм є значно небезпечнішим, ніж змінний. Різкі больові відчуття при підключенні під постійну напругу виникають у момент вмикання і розмикання кола. Вони зумовлюються струмами перехідного процесу, які викликають судомне скорочення м'язів.

Фактори неелектричного характеру. Зростання тривалості протікання струму крізь людину збільшує тяжкість ураження за таких обставин: із зростанням часу протікання струму опір тіла зменшується (за рахунок зволоження шкіри від поту), струм підвищується, з часом вичерпуються

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



жінок порогове значення струму приблизно у 1,5 рази нижче, ніж для чоловіків. Ступінь впливу струму залежить від стану нервової системи, депресії, хвороби (особливо захворювань шкіри, серцево-судинної і нервової систем тощо). Крім того, помічено, що сп'яніла людина значно чутливіша до протікаючого струму. Важливу роль відіграє і фактор уваги. Якщо людина підготовлена до електричного удару, то ступінь небезпеки різко зменшується, у той час як несподіваний удар призводить до набагато тяжчих наслідків.

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





## 11. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2004. – 656 с.
2. Справочник по проектированию электроснабжения / Под редакцией Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 576 с.
3. Соловей О.І., Денисенко М.А. Дипломне проектування для спеціальності 7.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання». – Київ, 2007. – 140с.
4. А.В. Кабышев, С.Г. Обухов. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Изд-во ТПУ, 2006-248 с.
5. Кнорринг Г.М. Справочник по проектированию электрического освещения. - Л.: Энергия, 1991.
6. Промэлектроавтоматика. Конденсаторные установки. Каталог 2012.  
<http://www.pea.ru/docs/equipment/reactive-power-compensation/low-voltage-krm/>
7. Правила улаштування електроустановок /Міненерговугілля України. - Київ-2014.
8. Кабели силовые с бумажной пропитанной и пластмассовой изоляцией. Закрытое акционерное общество «Завод «Южкабель». Каталог 2013, г.Харьков, Украина.
9. Сірій О.М., Шестеренко В.Є. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств: Навч. посібник – К.:ІСДОУ, 1993 – 592 с.

					<b>ДП 2021 141</b>						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		<i>Лисюк К.А.</i>			<b>Література</b>						
Перевір.		<i>Ізволеньський І.</i>									
Реценз.											
Н. контр.											
Затверд.		<i>Балюта С.М.</i>									
					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Літ.</td> <td style="width: 33%;">Арк.</td> <td style="width: 33%;">Аркушів</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Літ.	Арк.	Аркушів			
Літ.	Арк.	Аркушів									
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛІ5-8ск						

10. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
11. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования.—М.: Энергоатомиздат, 1989.—608с.

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		