

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

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

\_\_\_\_\_ Сергій БАЛЮТА  
(підпис) (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»

на тему: «Розробка системи електропостачання хімфармзаводу у м. Київ та особливості відстройки “розумних” трансформаторів»

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЗЕЛ 5-3

\_\_\_\_\_ Тищенко Олена Іванівна  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Мащенко Олег Анатолійович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_ Аліна СІРИК  
(ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ НАТАЛІЯ Іващенко  
(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) незарплатованої 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 Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра Електропостачання і енергоменеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електротехніка та інформаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕПЕМ

/Сергій БАЛЮТА/

« 10 » жовтня 2024 р.

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Тищенко Олени Іванівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

керівник роботи Мащенко Олег Анатолійович, ст.викладач

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 10 » 10. 2024 р. № 861-кв.

2. Строк подання здобувачем роботи 31 січня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи Генеральний план хімфарзаводу з зазначенням місця розташування основних об'єктів; характеристика споживачів електричної енергії; умови проектування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Коротка характеристика схеми електропостачання підприємства; визначення розрахункової потужності ділянки виробництва стерильних антибіотиків; картограма навантажень; вибір напруги, потужності й типу, трансформаторів; розрахунок струмів короткого замикання; компенсація реактивної потужності; вибір перерізу лінії живлення ДВСА з врахуванням встановлення компенсуючих пристроїв; вибір обладнання розподільчого пристрою; вибір електрообладнання; релейний захист і автоматика; розрахунок та вибір освітлення; охорона праці; спеціальна частина. Розумні трансформатори.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Генеральний план заводу з картограмою навантажень. 2. Схема живлення заводу 10 кВ. 3. Схема живлення цеху 0,4 кВ. 4. Принципова схема твердотільного трансформатора.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
ОП	Сірик А.О., доцент		

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дипломний проект.	12.11.2024 р	
2	Вступ.	26.11.2024 р	
3	Коротка характеристика системи електропостачання підприємства.	07.12.2024 р	
4	Визначення розрахункової потужності ділянки виробництва стерильних антибіотиків	14.12.2024 р	
5	Картограма навантажень	21.12.2024 р	
6	Вибір напруги, потужності й типу трансформаторів	25.12.2024 р	
7	Розрахунок струмів короткого замикання	29.12.2024 р	
8	Компенсація реактивної потужності	03.01.2025 р	
9	Вибір перерізу лінії живлення ДВСА з врахуванням встановлення компенсуючих пристроїв	07.01.2025 р	
10	Вибір обладнання розподільчого пристрою	14.01.2025 р	
11	Вибір електрообладнання		
12	Релейний захист і автоматика		
13	Розрахунок та вибір освітлення		
14	Спеціальна частина. Розумні трансформатори.	21.01.2025 р	
15	Охорона праці	25.01.2025 р	
16	Оформлення пояснювальної записки	27.01.2025 р	
17	Оформлення графічної частини проекту	31.01.2025 р	
18	Література		
19	Подання готової роботи для перевірки на плагіат	31.01.2025 р	

Здобувач \_\_\_\_\_ (підпис)

Тищенко О.І. \_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ (підпис)

Мащенко О.А. \_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## Анотація

Тищенко Олена Іванівна. Дипломний проект на тему :  
«Розробка системи електропостачання хімфармзаводу у м. Київ та особливості  
відстройки “розумних” трансформаторів»

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

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 14 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проекту становить 93 сторінки.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: генеральний план заводу з картограмою навантажень, схема електропостачання заводу 10 кВ, схема електропостачання цеху 0,4 кВ, принципова схема твердотільного трансформатора.

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

У розділі охорона праці обґрунтовано рішення щодо розміщення трансформатора 1000 кВА на виробничому об'єкті, розглянуті додаткові ізолюючі електрозахистні засоби для електроустановок напругою до 1000 В та виконано практичний розрахунок заземлюючого пристрою.

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

## Abstract

TYSHCHENKO OLENA. Diploma project on the topic:

"Development of a power supply system for a Chemical and Pharmaceutical Plant in Kyiv and the specifics of setting up solid-state transformers""

National University of Food Technologies, Kyiv - 2025

141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics"

The attached explanatory note consists of an introduction, 14 sections and a list of used literature. The volume of the project is 92 pages.

The description is accompanied by a graphic part consisting of four drawings: a general plan of the plant with a load map, a 10 kV plant power supply scheme, a 0.4 kV workshop power supply scheme, a schematic diagram of a solid-state transformer.

The project considers the characteristics of the enterprise and provides a description of the technological process. Calculations of electrical loads have been made and a load map has been built. Transformers of the main step-down substation have been calculated, as well as the number and power of workshop transformers have been calculated. The calculation of operating currents has been performed and the appropriate cables have been selected. The calculation of short-circuit currents has been performed for the plant's power supply system. Electrical protection and control devices have been selected. The number and type of equipment for reactive power compensation has been calculated. The individual task "Features of tuning "smart" transformers" is considered.

In the occupational health and safety section, the decision to place a 1000 kVA transformer at a production facility is substantiated, additional insulating electrical protective devices for electrical installations with voltages up to 1000 V are considered, and a practical calculation of the grounding device is performed.

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

## ЗМІСТ

### ВСТУП

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ХІМІКО-ФАРМАЦЕВТИЧНОГО ЗАВОДУ ЯК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТУ.
2. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.
3. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ПОТУЖНОСТІ ДІЛЯНКИ ВИРОБНИЦТВА СТЕРИЛЬНИХ АНТИБІОТИКІВє
4. КАРТОГРАМА НАВАНТАЖЕНЬ.
5. ВИБІР НАПРУГИ, ПОТУЖНОСТІ Й ТИПУ ТРАНСФОРМАТОРІВ.
6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.
  - 6.1 Розрахунок струмів короткого замикання в розподільчій мережі 10 кВ.
  - 6.2 Розрахунок струмів короткого замикання в розподільчій мережі 0,4 кВ.
    - 6.2.1 Визначення опорів елементів схеми заміщення.
    - 6.2.2 Розрахунок струмів короткого замикання в колі трансформатора 1000 кВА.
7. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.
  - 7.1. Визначення доцільності застосування компенсуючих пристроїв.
    - 7.1.1. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв.
    - 7.1.2. Техніко-економічне порівняння варіантів.
  - 7.2. Вибір компенсуючих пристроїв.
  - 7.3. Регулювання потужності конденсаторних батарей.
8. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ ДВСА З ВРАХУВАННЯМ ВСТАНОВЛЕННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ.
9. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ РОЗПОДІЛЬЧОГО ПРИСТРОЮ.

					ДП 2025 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Тищенко О.І.			Зміст	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Мащенко О.А.						
Реценз.		Іващенко Н.В						
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		



## ВСТУП

Енергетика є основою економіки нашої країни. Особливо важливе значення для розвитку економіки має енергетика, яка надає великий вплив на прискорення прогресу не тільки в промисловому виробництві, але й у всіх інших областях життя нашого суспільства.

Системою електропостачання називають комплекс приладів для виробництва, передачі і розподілу електричної енергії.

Система електропостачання промислових підприємств забезпечують електроенергією промислових споживачів. Основними споживачами являються електроприводи різних машин і механізмів, електроосвітлення, електронагрівні прилади. Робота промислових електроприводів та інших споживачів повинна знаходитись в точній відповідності, як з окремими приймачами, так і з комплексом електроприводів, забезпечуючи роботу складних механізмів.

Робота електроприводів залежить від подачі і якості електроенергії. Наприклад, відключення напруги викликає зміну швидкості руху механізмів, що в свою чергу призводить до зменшення їх терміну служби.

Вплив системи електропостачання на виробничий процес дуже великий. Достатньо сказати, що виробничий процес в основному визначається показниками системи промислового електропостачання і електроприводів, які забезпечують нормальний режим роботи всього промислового підприємства.

Розширення використання електроенергії та поглиблення процесів електрифікації проходять в цих галузях господарства. Структуру і об'єм споживання електроенергії всередині кожної галузі промисловості залежать від її специфікації, визначаючої шляхи ефективного використання електроенергії і впровадження прогресивних технологій.

					ДП 2025 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Тищенко О.І.			Вступ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Мащенко О.А.						
Реценз.		Іващенко Н.В.						
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		



електрообладнання заводу, розрахунок релейного захисту, компенсація реактивної потужності та інші питання.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ХІМІКО-ФАРМАЦЕВТИЧНОГО ЗАВОДУ ЯК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТУ

Хіміко-фармацевтичний завод (ХФЗ) характеризується широкою номенклатурою продукції. Це обумовлює потребу у відповідній кількості виробничих приміщень (цехах). Як основні виробничі, можна виділити такі цехи: цехи виробництва гематогену та алохолу, ділянки виробництва рідких препаратів та стерильних антибіотиків, ампульний цех. До допоміжних виробничих об'єктів можна віднести насосні технічної та питної води, котельню, компресорну стиснутого повітря, лабораторнії ВТК та дослідно-лабораторний корпус. Також на території заводу розташовані об'єкти які не носять виробничий характер – складові сировини, тари, готової продукції та матеріально-технічного забезпечення, транспортний цех, їдальня, адміністративний корпус та інші. Вказані об'єкти розташовані по всій території заводу (приблизно 2,5 га).

Робота заводу протягом року носить постійний характер. Проте можна відмітити пік споживання електроенергії, який припадає на листопад – березень. Основні виробництва заводу працюють в дві зміни, хоча деякі допоміжні виробництва – в три.

Хіміко-фармацевтичний завод відрізняється високою культурою виробництва. За останні роки більшість виробництв було переоснащено сучасним обладнанням.

					ДП 2025 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Тищенко О.І.			1. Характеристика хіміко-фармацевтичного заводу як технологічного об'єкту	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Мащенко О.А.						
Реценз.		Іващенко Н.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

## 2. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

За критерієм надійності електропостачання в цілому ХФЗ можна віднести до споживачів III категорії. Але наявність в рамках підприємства споживачів II категорії (живильні насоси котельні, компресори холодильних камер, сучасне технологічне обладнання з високими вимогами до якості електроенергії) зумовлює необхідність електропостачання по двом лініям. Фактично кожна з ліній живлення приєднання до незалежних між собою знижувальних підстанцій. Живлення відбувається кабельними лініями напругою 10 кВ. Напруга мереж цехів дорівнює 0,4 кВ, електропостачання яких виконується радіальними кабельними лініями від заводської ТП 5401. Внутрішньозаводське електропостачання здійснюється від центрального розподільчого пункту (РП 401), до шин якого приєднана лінія живлення 10 кВ ( $\approx 201\text{м}$ ) двотрансформаторні підстанції ТП 5401. Конструкція та схема РП 401 передбачають можливість підключення до її шин лінії живлення ще однієї ТП 2x1000 кВА. ТП 5401 на даний момент є єдиним джерелом живлення виборчих цехів ХФЗ. В цілому схема розподільчих мереж носить радіальний характер. Всі лінії електропередач, включаючи вуличне освітлення виконані кабелями.

Основними споживачами в цехах є асинхронні двигуни потужністю від 0,28 до 55 кВт (основна частка з них – двигуни потужністю від 1,5 до 11 кВт.) та освітлювальні установки.

					ДП. 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Тищенко О.І.			2. Коротка характеристика системи електропостачання підприємства	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Мащенко О.А.						
<i>Реценз.</i>		Іващенко Н.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		Балюта С.М.						

### 3. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ПОТУЖНОСТІ ДІЛЯНКИ ВИРОБНИЦТВА СТЕРИЛЬНИХ АНТИБІОТИКІВ

За фактичним переліком обладнання ділянки виробництва стерильних антибіотиків визначаємо  $P_{см}$ ,  $Q_{см}$  для кожного електроприймача. Наприклад, для електродвигуна гідравлічного насоса:

$$P_{см} = P_{ном} \cdot k_B = 20 \cdot 0,63 = 12,6 \text{ кВт};$$

$$q_{см} = \sum P_{см} \cdot \text{tg}\varphi = 12,6 \cdot 0,88 = 11,1 \text{ квар.}$$

Аналогічно розраховуємо для інших електроприймачів. Длі знаходимо окремо  $P_{см}$ ,  $Q_{см}$  для електроприймачів зі змінним та постійним графіком навантаження (в данному цеху останні відсутні):

$$P_{см\sim} = \sum P_{смi}; Q_{см\sim} = \sum q_{смi}; \quad P_{см-} = \sum P_{смi}; Q_{см-} = \sum q_{смi};$$

$$P_{см\sim} = \sum P_{смi} = 148,95 \text{ кВт}; \quad Q_{см\sim} = \sum q_{смi} = 99,8 \text{ квар.}$$

Потім знаходимо  $K_B$  групи електроприймачів зі змінним графіком навантаження:

$$K_g = \frac{P_{см\sim}}{\sum P_{ном}} = \frac{148,95}{225,68} = 0,66.$$

Визначаємо ефективну кількість електроприймачів:

$$n_e = \frac{(\sum P_{ном\sim})^2}{(\sum P_{ном})^2} = \frac{125729}{31804} = 3,36.$$

Тепер користуючись табл. 8.1, [1], визначаємо  $K_M$ , апроксимуючи табличні дані. Маємо при  $n_{еф} = 4$  та  $K_B = 0,66 - K_{max} = 1,28$ .

Далі визначаємо розрахункові потужності цеху  $P_{p\sim}$ ,  $Q_{p\sim}$ :

$$P_{p\sim} = P_{см\sim} \cdot K_{max} = 148,95 \cdot 1,28 = 190,66 \text{ кВт};$$

$$Q_{p\sim} = 1,1 \cdot Q_{см\sim} = 99,8 \cdot 1,1 = 109,78 \text{ квар} (n_{еф} < 10).$$

Розрахункові потужність цеху:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{190,66^2 + 109,78^2} = 220,01 \text{ кВА};$$

Розрахункові потужності інших цехів наведені в табл. 3.2

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Тищенко О.І.</i>			Визначення розрахункової потужності ділянки виробництва стерильних антибіотиків	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Мащенко О.А.</i>						
<i>Реценз.</i>		<i>Іващенко Н.В.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						

Освітлювальне навантаження будемо визначати методом питомої потужності на одиницю площі приміщення.

Встановлена потужність джерел світла, відповідно до методу питомих потужностей, визначається по формулі [кВт]:

$$P_{уст} = P_{ном} \cdot F \cdot 10^{-3},$$

де  $P_{ном}$  – питома потужність освітлювальної установки,  $Вт/м^2$ ;

$F$  – площа освітлюваного приміщення  $м^2$ .

Згідно [11] розрахункова потужність освітлювального навантаження визначається по формулі (кВт):

$$P_{ро} = K_n \cdot K_{пра} \cdot P_{уст},$$

де  $K_n$  – коефіцієнт попиту;

$K_{пра}$  – коефіцієнт втрат пускорегулюючої апаратури;

$$Q_{ро} = P_{ро} \cdot tg \varphi,$$

де  $tg \varphi$  відповідає  $cos \varphi$ , застосовуваних типів ламп.

Таблиця 3.1

Питома потужність освітлювальної установки,  $Вт/м^2$

Об'єкт освітлення	Лампи
Будівля головного конвейера, складальний цех	20
Лабораторний корпус	17
Адміністративно-технічна будівля, конторсько-побутове приміщення	15
Основне виробниче приміщення, насосна	12
Котельня, компресорна	10
Інше допоміжне виробниче приміщення (будівля), окрім насосної, котельної та компресорної	8
Складська будівля	4
Промлощадка (територія, прилегла до виробничого об'єкта) – зовнішнє освітлення	0,2

Коефіцієнт попиту, коефіцієнт ПРА й коефіцієнт потужності беремо з []

$K_n = 0,85$  для виробничих будинків;

$K_n = 0,6$  для складських приміщень;

$K_n = 0,9$  для побутових і адміністративних приміщень.

$K_{пра} = 1,1$  для ламп ДРЛ;

									ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$K_{пра} = 1,2$  для люмінесцентних ламп.

$\cos \varphi = 1$  для світлодіодних ламп;

$\cos \varphi = 0,95$  для люмінесцентних ламп;

$\cos \varphi = 0,65$  для ламп ДРЛ.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}$$

визначаємо  $\operatorname{tg} \varphi$ , що відповідає  $\cos \varphi$

$\cos \varphi = 1; \operatorname{tg} \varphi = 0;$

$\cos \varphi = 0,95; \operatorname{tg} \varphi = 0,33;$

$\cos \varphi = 0,65; \operatorname{tg} \varphi = 1,17.$

Як приклад приведемо розрахунок освітлювального навантаження ділянки виробництва стерильних антибіотиків:

– застосовуємо лампи ДРЛ;

Визначаємо встановлену потужність джерел світла:

$$P_{уст} = 12 \cdot 1025 \cdot 10^{-3} = 12,3 \text{ кВт}$$

Визначаємо розрахункову потужність освітлювального навантаження:

$$P_{ро} = 0,85 \cdot 1,1 \cdot 12,3 = 11,5 \text{ кВт}$$

$$Q_{ро} = 11,5 \cdot 1,17 = 13,46 \text{ квар.}$$

Аналогічним чином визначаються освітлювальні навантаження по інших приміщеннях, дані розрахунків заносимо в табл. 4.1.

									ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Таблиця 3.2

Зведена таблиця розрахункових навантажень ХФЗ.

Назва цеху або лінії	Поз на ГП	Площа цеху м <sup>2</sup>	К-ть прийм	P <sub>ном</sub> , кВт	K <sub>в</sub>	Cosφ	tgφ	P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар	n <sub>сф</sub>	K <sub>max</sub>	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВт	P <sub>ро</sub> , кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Цех №1	1	734	66	123,25	0,48	0,72	0,96	59,304	56,93	13	1,25	74,13	56,93	93,6	8,81
Капсульна ділянка	2	757	23	73,1	0,46	0,71	0,99	33,63	33,29	9,57	1,4	47,08	39,21	61,27	9,08
Цех №2, лабораторія ВТК	3	596	17	63,14	0,62	0,76	0,86	39,15	33,67	4,26	1,3	50,9	37,04	62,95	7,15
Виробництво гематогену	4	552	18	88,06	0,47	0,74	0,91	41,4	37,67	18	1,23	50,92	37,67	63,34	6,62
Виробництво акт. вугілля	5	737	33	76,5	0,61	0,74	0,91	46,7	42,5	33	1,07	49,97	42,5	65,6	8,84
Пральня, побут. ЕРУ	6	205	7	14,62	0,62	0,76	0,86	9,06	7,79	7	1,1	9,97	8,57	13,15	3,08
Склад рослинної сировини	7	367	4	11,22	0,25	0,65	1,17	2,8	3,28	4,54	2,32	6,5	3,61	7,44	1,47
Виробництво алохолу	8	734	20	198,89	0,42	0,75	0,88	83,5	73,48	6,22	1,5	12,53	80,83	81,8	8,81
Котельня	9	365	47	143,31	0,61	0,74	0,91	87,42	79,55	45,4	1,08	94,41	87,51	128,73	3,65
Трансформатор на підстанція	10	83	4	10,2	0,25	0,6	1,3	2,55	3,32	4	2,11	5,38	3,65	6,5	0,66
Градірня	11	213	3	104	0,62	0,72	0,96	64,48	61,9	2,88	1,23	79,31	68,09	104,53	-

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Виробництво стер. антибіотиків	12	1025	30	225,68	0,66	0,83	0,67	148,95	99,8	3,36	1,28	190,66	109,78	220,01	12,3
Склад тари	13	306	7	14,11	0,45	0,6	1,3	6,35	8,26	7	1,32	8,38	8,26	11,77	1,22
Виробництво рідких препаратів	14	612	61	171,7	0,62	0,7	1,02	106,45	108,56	27,46	1,07	113,9	108,56	157,35	7,34
Столярна майстерня	15	69	9	27,2	0,25	0,6	1,3	6,8	8,84	8,39	1,22	8,3	9,72	12,77	0,55
Адмін. корпус, їдальня	16	595,6	55	15,3	0,8	0,96	0,29	12,24	3,55	34,19	0,99	12,12	3,91	12,74	8,93
Транспортний цех	17	552	5	18,7	0,56	0,74	0,91	10,47	9,53	4,44	1,26	13,19	9,53	16,27	4,42
Зал РП 401	18	47,6	3	4,76	0,64	0,7	1,02	3,05	3,11	3	1,35	4,12	3,11	5,16	0,38
Дослідно–лабораторний корпус	19	273,7	15	24,22	0,64	0,97	0,25	15,5	3,88	4,37	1,32	20,46	3,88	20,83	4,65
Ампульне виробництво	20	693,6	111	391	0,61	0,74	0,91	238,51	217,04	34,99	1,09	309,03	238,74	390,51	8,32
Цех № 1	21	3101	13	31,28	0,25	0,6	1,33	7,82	10,4	6,2	2,11	16,5	10,4	19,5	62,02
Виборча база	22	3672	11	62,65	0,62	0,79	0,78	38,84	30,3	5,14	1,35	52,43	30,3	60,56	44,06
Адмін.-побут.корпус	23	1438	22	14,48	0,43	0,71	0,99	6,23	6,17	13,42	1,11	6,92	6,79	9,7	21,57
Складський корпус	28	474	2	2,89	0,46	0,6	1,33	1,33	1,77	2	1,61	2,14	1,77	2,8	1,9

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Підготовча ділянка РМЦ	29	270	12	20,4	0,43	0,79	0,78	8,77	8,03	12	1,12	9,82	8,83	13,21	3,24
Арочний склад	30	1254	1	6,38	0,64	0,71	0,99	4,08	4,68	1	1,27	5,18	4,68	6,98	5,02
Пожежний пост	31	46	3	103,7	0,25	0,6	1,33	25,93	37,56	3	1,66	43,04	37,56	57,12	0,69
Склад готової продукції	48	394	2	2,89	0,46	0,6	1,33	1,33	2,06	2	1,61	2,14	2,06	2,97	1,58
												Площа території заводу S=21500м <sup>2</sup>			
Всього по заводу			604	2043,63				1112,644	996,92			1299,43	1063,49	1709,16	246,36

#### 4. КАРТОГРАМА НАВАНТАЖЕНЬ

Щоб визначити місце оптимального розміщення центрального розподільного пункту, цехових трансформаторних підстанцій та вибрати оптимальну схему електропостачання визначають центр електричних навантажень. Для цього генплан заводу розташовуємо в прямокутній системі координат, та наносимо на нього центри навантаження цехів, вважаючи, що ці центри співпадають з центрами мас фігур, які зображають цехи на генплані.

Визначивши координати центрів електричних навантажень всіх цехів визначаємо центр електричних навантажень підприємства за формулою:

$$x_o = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad y_o = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i};$$

де  $X_o, y_o$  – координати електричних навантажень підприємства;  $X_i, y_i$  – координати електричних навантажень  $i$  – го цеху;  $P_i$  – розрахункове навантаження  $i$  – го цеху. При побудові картограми враховуємо тільки активні навантаження.

Площа кругів пропорційні до навантажень цехів. При цьому коефіцієнтом пропорційності є масштаб  $m$ . Приймаючи що радіус круга найбільшого за розрахунковим навантаженням ампульного виробництва дорівнює 51 мм (при побудові картограми на аркуші формату А1) визначаємо масштаб для визначення радіусів кругів решти об'єктів:

$$m = \frac{P_{AB}}{51^2 \cdot \pi} = \frac{318,3}{51^2 \cdot \pi} = 0,039.$$

Радіус круга навантажень  $i$  – го цеха визначаємо за формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{0,039\pi}}$$

Круги навантажень поділяються на два сектори, з яких заштрихований відповідає частці розрахункового навантаження, на заштрихований – освітлювального.

Кут, що обмежує сектор освітлювального навантаження визначаємо за формулою:

$$\gamma = 360^\circ \frac{P_o}{P_i}$$

					ДП 2025 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Тищенко О.І.				Картограма навантажень	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.	Мащенко О.А.							
Реценз.	Іващенко Н.В					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Н. Контр.								
Затверд.	Балюта С.М.							

Результати розрахунків наведені в табл.4.1.

Генплан з нанесеною картограмою навантажень представлений в графічній частині дипломного проекту.

Таблиця 4.1

Назва цеху або лінії	Поз. на ГП	$P_p$ , кВт	$P_o$ , кВт	$P_{\Sigma}$ , кВт	$r_i$	$Q_{po}$ квар	$X_i$ , м	$Y_i$ , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Цех № 1	1	74,13	8,81	84,59	24,6	2,96	141	89
Капсульна ділянка	2	47,08	9,08	57,88	19,61	3,05	123	89
Цех № 2, лабораторія ВТК	3	50,9	7,15	59,4	20,39	2,41	114	107
Виробництво гематогену	4	50,92	6,62	58,78	20,39	2,23	116	133
Виробництво акт. вугілля	5	49,97	8,84	60,85	20,2	2,98	91	130
Пральня, побут. ЕРУ	6	9,97	3,08	12,31	9,02	1,1	91	146
Склад рослинної сировини	7	6,5	1,47	9,29	7,29	0,35	131	101
Виробництво алохолу	8	12,53	8,81	22,99	10,12	2,97	146	111
Котельня	9	94,41	3,65	109,75	27,77	1,3	123	124
Трансформаторна підстанція	10	5,38	0,66	6,188	6,63	0,01	116	123
Гради́рня	11	79,31	0	79,31	25,45	0,05	142	99
Виробництво стер. антибіотиків	12	74,68	12,3	92,21	39,46	13,46	47	149
Склад тари	13	8,38	1,22	11,29	8,27	0,29	28	154
Виробництво рідких препаратів	14	113,9	7,34	122,62	30,5	8,03	64	147
Столярна майстерня	15	8,3	0,55	9,48	8,23	0,19	129	64
Адмін. корпус, їдальня	16	12,12	8,93	96,98	9,95	3,18	89	95
Транспортний цех	17	13,19	4,42	17,64	10,38	1,49	154	53
Зал РП 401	18	4,12	0,38	5,02	5,8	0,003	15	91
Дослідно- лабораторний корп.	19	20,46	4,65	59,45	12,93	1,56	20	
Ампульне виробництво	20	309,0 3	8,32	407,87	50,23	9,1	21	
Цех № 1	21	16,5	62,02	51,85	11,61	40,71	159	93

ДП 2025 141

Арк.

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

## Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Виробнича база	22	52,43	8,81	61,93	20,69	34,04	57	21
Адмін.- побут. корпус	23	6,92	21,57	15	7,52	7,69	24	39
Складський корпус	28	2,14	1,9	6,64	4,18	0,45	46	130
Підготовча ділянка РМЦ	29	9,82	3,24	12,91	8,95	0,73	0	155
Арочний склад	30	5,18	5,02	14,71	6,5	3,87	62	95
Пожежний пост	31	43,04	0,69	43,69	18,75	0,25	59	131
Склад готової продукції	48	2,14	1,58	5,66	4,18	0,38	44	96
Всього		1299, 43	246,3 6	1545,7 9		144,8 33		

Координати центра електричних навантажень підприємства:

$$X_o = \frac{130579,65}{1299,43} = 100,5 \text{ м}; \quad y_o = \frac{154892,1}{1299,43} = 119,2 \text{ м.}$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ДП 2025 141

## 5. ВИБІР НАПРУГИ, ПОТУЖНОСТІ Й ТИПУ ТРАНСФОРМАТОРІВ

### 5.1. Вибір числа й потужності силових трансформаторів

Мінімальне число цехових трансформаторів визначається по формулі:

$$N_{T \min} = \frac{\Delta P}{K_3 \cdot S_{H.TP}},$$

де  $\Delta P$  – розрахункове активне навантаження споживачів на напругу до 1000 В;

$K_3$  – коефіцієнт завантаження (при перевазі навантажень II категорії надійності)

$$K_3 = 0,8 \div 0,85. \text{ Приймаємо } K_3 = 0,85; [1].$$

$S_{H.TP}$  – номінальна потужність трансформатора, кВ·А.

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{\sqrt{P_P^2 + Q_P^2}}{N_T \cdot S_{H.TP}}$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформаторів у післяаварійному режимі:

$$K_{3.AB} = \frac{\sqrt{P_P^2 + Q_P^2}}{(N_{\dot{O}} - 1) \cdot S_{i.\dot{O}B}}$$

Вибір числа цехових трансформаторів, згідно «Вказівкам по проектуванню установок компенсації реактивної потужності в електричних мережах загального призначення промислових підприємств» здійснюється одночасно з рішенням питання компенсації реактивної потужності.

Кількість і потужність трансформаторів визначається для навантаження:

$$\Sigma P_p = 1545,79 \text{ кВт},$$

$$\Sigma Q_p = Q_p + Q_{po}$$

$$\Sigma Q_p = 1063,49 + 144,83 = 1208,32 \text{ квар}$$

					ДП 2025 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Вибір напруги, потужності й типу трансформатора	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Тищенко О.І.						
Перевір.		Мащенко О.А.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3			

На підприємстві передбачена повна компенсація реактивної потужності за рахунок встановлення автоматично компенсуючих приладів.

Вибір трансформатора ТМ - 1000/10/0,4.

$$N_{T.\min} = \frac{1545,79}{0,8 \cdot 1000} = 1,82$$

До установки треба приймати 2 трансформатори ТМ - 1000/10/0,4.

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі по (3.4):

$$K_3 = \frac{\sqrt{1545,79^2 + 0^2}}{2 \cdot 1000} = 0,77.$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформаторів у післяаварійному режимі по (3.5):

$$K_{3,AB} = \frac{\sqrt{1545,79^2 + 0^2}}{(2-1) \cdot 1000} = 1,55.$$

Для масляних трансформаторів потужністю до 2500 кВ·А, значення  $K_{3,AB}$  не повинно перевищувати 1,4 [1], при тривалості післяаварійного режиму не менше 6 годин і коефіцієнті  $K_3 \leq 0,9$  [1].

Згідно [4]  $K_{3,AB} > 1,4$ . Відключаємо частину споживачів III категорії для доведення коефіцієнту до потрібного значення.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Короткі замикання є найбільш частими і важкими аваріями в електричній системі. З найбільш вирогідних причин виникнення КЗ можна виділити наступні:

- порушення цілості ізоляції між фазою або фазою та землею;
- помилкові дії чергового персоналу електроустановок.

При короткому замиканні різко зростають струми в колі, а напруга різко зменшується. Спад напруги призводить до розладу нормальної роботи пошкоджених ділянок системи, а іноді й до зупинки системи в цілому.

В процесі проектування системи електропостачання необхідно визначити параметри короткого замикання та на основі вказаних розрахунків вибрати обладнання, налагодити релейний захист, щоб попередити або швидко ліквідувати аварію.

### 6.1. Розрахунок струмі короткого замикання в розподільчій мережі 10 кВ

Розрахунок ведемо за умови, що на знижувальних підстанціях, які живлять підприємство трансформатори працюють роздільно. За даними енергопостачальної організації потужність системи на шинах підстанції, що живить підприємство становить  $S_c = 100$  МВА.

Враховуючи те, що має місце так званої малої відпайки в схему заміщення входять лише кабельні лінії. Тому проведемо розрахунок в іменованих одиницях без застосування системи відносних одиниць. При цьому, внаслідок того, що активний опір кабельних ліній співвідносний з їх індуктивним опором, обов'язково враховуємо перший при розрахунках.

Приймаючи, що питома активна провідність кабелів з алюмінієвими жилами дорівнює  $\gamma = 32 \text{ км} / \text{Ом} \cdot \text{мм}^2$ , а погонний індуктивний опір КЛ дорівнює  $X_n = 0,07 \text{ Ом} / \text{км}$  [2] визначаємо відповідні опори схеми заміщення:

					ДП 2025 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Тищенко О.І.			Розрахунок струмі короткого замикання	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Мащенко О.А.						
Реценз.		Іващенко Н.В.						
Н. Контр.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Затверд.		Балюта С.М.						

$$r_1 = \frac{10^3 \cdot 1}{\gamma \cdot S} = \frac{10^3 \cdot 2,5}{32 \cdot 185} = 0,422 \text{ Ом} \quad r_2 = r_1;$$

$$x_2 = x_n \cdot 1 = 0,07 \cdot 2,5 = 0,175 \text{ Ом}; \quad x_2 = x_1;$$

$$r_3 = \frac{10^3 \cdot 1}{\gamma \cdot S} = \frac{10^3 \cdot 0,391}{32 \cdot 185} = 0,066 \text{ Ом}. \quad r_4 = r_3;$$

$$x_4 = x \cdot 1 = 0,07 \cdot 0,391 = 0,027 \text{ Ом}; \quad x_4 = x_3;$$

Струм трифазного КЗ в точці К1 при роз'єднаній секційній перемичці на РП 401:

$$I_{k1} = \frac{U_{nc}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_1^2 + x_1^2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,422^2 + 0,175^2}} = 13,27 \text{ кА}.$$

Обчислюємо ударний струм:

$$i_{yd} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{k1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 13,27 = 33,78 \text{ кА},$$

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

Діюче значення струму короткого замикання за перший період:

$$I_y = I_{k1} \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} = 13,27 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} \approx 20 \text{ кА}.$$

Для обчислення теплового імпульсу приймаємо, що час відключення КЗ (витримка часу релейного захисту та час спрацювання високовольтного вимикача на підстанції живлення) складає приблизно одну секунду. За цим значенням визначаємо фіктивний час –  $t_{\phi} = 0,6 \text{ с}$ .

Значення теплового імпульсу від дії періодичної складової:

$$W_n = I_{k1}^2 \cdot t_{\phi} = 13,27^2 \cdot 0,6 = 105,656 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Значення теплового імпульсу від дії аперіодичної складової:

$$W_a = I_{k1}^2 \cdot 0,05 = 13,27^2 \cdot 0,05 = 8,805 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Певний тепловий імпульс при короткому замиканні в точці К1:

$$W = W_n + W_a = 105,656 + 8,805 = 114,461 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

										ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Очевидно, що при включеній секційній перемикачі на РП-401 опір ліній живлення зменшиться вдвічі та відповідно вдвічі збільшиться струм короткого замикання:

$$I_{к1} = \frac{U_{нс}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(r_1/2)^2 + (x_2/2)^2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,422/2)^2 + (0,175/2)^2}} = 26,539 \text{ кА.}$$

Ударний струм:

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot \kappa_y \cdot I_{к1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 26,539 = 67,557 \text{ кА.}$$

Діюче значення струму замикання за перший період:

$$I_y = 26,539 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 42,793 \text{ кА.}$$

Значення теплового імпульсу від дії періодичної складової:

$$W_n = I_{к1}^2 \cdot t_{\phi} = 26,539^2 \cdot 0,6 = 422,591 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Значення теплового імпульсу від дії аперіодичної складової:

$$W_a = I_{к1}^2 \cdot 0,05 = 26,539^2 \cdot 0,05 = 35,216 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Повний тепловий імпульс при короткому замиканні в точці К1:

$$W = W_n + W_a = 422,591 + 35,216 = 457,807 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

З проведених розрахунків випливає, що паралельна робота ліній живлення підприємства (включена секційна перемичка) за нормальних умов неприпустима внаслідок небезпечних для переважної більшості апаратури рівнів ударного струму та теплового імпульсу.

Струм трифазного КЗ в точці К2 при роз'єднаній секційній перемичці на ТП 5041 та роз'єднаній перемичці на РП 401:

$$I_{к1} = \frac{U_{нс}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(r_1 + r_3)^2 + (x_1 + x_3)^2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,422 + 0,066)^2 + (0,175 + 0,027)^2}} = 11,478 \text{ кА.}$$

Обчислюємо ударний струм:

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



перевіркою апаратів та провідників на термічну та електродинамічну стійкість до струмів короткого замикання. Результати розрахунків струмів короткого замикання в розподільчій мережі підприємства напругою 10 кВ наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Розрахунковий параметр	т.К1, перемичка на РП 401 відключена	т.К1, перемичка на РП 401 включена	т.К1, перемичка на РП 5041 відключена	т.К1, перемичка на РП 5041 включена
Перший струм короткого замикання, кА	13,27	26,539	11,478	22,956
Ударний струм, кА	33,78	67,557	29,218	58,436
Діюче значення струму за перший період, кА	20	42,793	17,331	34,676
Тепловий імпульс дії період. складової, $кА^2 \cdot с$	105,656	422,591	158,093	632,374
Тепловий імпульс дії аперіод. складової, $кА^2 \cdot с$	8,805	35,216	6,587	26,394
Повний тепловий імпульс струму к.з., $кА^2 \cdot с$	114,461	457,807	164,68	658,723

## 6.2. Розрахунок струмі короткого замикання в розподільчій мережі 0,4 кВ.

Як розрахункові, приймаємо точки на шинах ТП та шинах РП ДВСА. Враховуючи, що трансформатори працюють роздільно, мають різну номінальну потужність (різний опір) проведемо розрахунок К.З. в колі кожного трансформатора. Ще однією особливістю розрахунку струмів К.З. в мережі 0,4 кВ є наявність шляху для протікання струмів нульової послідовності. Тому для правильної настройки апаратури захисту розрахуємо також і їх рівень.

### 6.2.1. Визначення опорів елементів схеми заміщення.

Трансформатори.

									ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Опори прямої послідовності для трансформаторів визначаємо за формулами [2]:

$$Z_1 = \frac{u_k \cdot U_{н2}^2}{S_n^2}; \quad r_1 = \frac{P_k \cdot U_{н2}^2}{S_n^2}; \quad x_1 = \sqrt{z_1^2 - r_1^2};$$

де  $u_k$  – напруга короткого замикання, %;  $U_{н2}$  – номінальна напруга вторинної обмотки трансформатора, кВ;  $S_n$  – номінальна потужність трансформатора, кВА;  $P_k$  – втрати короткого замикання, Вт.

Опори нульової послідовності трансформатора залежить від схеми з'єднання його обмоток. В нашому випадку обмотки обох трансформаторів з'єднані за схемою  $\Delta/\Delta$ .

Це означає, що струмами нульової послідовності обтікаються обидві обмотки трансформаторів. Отже  $r_0 = r_1$ ;  $x_0 = x_1$ . Результати розрахунків опорів трансформаторів наведені в таблиці 6.2.

Лінії та шинопроводи.

Опори шинопроводів визначаємо за відповідними значеннями погонних опорів:

$$r_{1n} = \frac{10^3}{\gamma \cdot S},$$

де  $\gamma = 30...32 \text{ м/мОм} \cdot \text{мм}^2$  – питома провідність алюмінію;  $S$  – площа поперечного перерізу шини,  $\text{мм}^2$ .

Погонний індуктивний опір шини визначаємо за формулою:

$$x_{1n} = 0,1451q \frac{D_{cp}}{r_e},$$

де  $D_{cp} = \sqrt[3]{AB \cdot BC \cdot CA}$  – середня геометрична відстань між фазами;  $r_e$  – еквівалентний радіус провідника, мм.

Для плоских шин  $r_e = 0,23 (b+h)$  ( $b$  – загальна ширина пакета, мм;  $h$  – висота пакета шинопровода, мм).

Опори нульової послідовності шинопроводів залежить від багатьох факторів. Але в основному від того, що проводить струми нульової

						ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

послідовності в землі. Враховуючи, що провідником вказаних струмів є не лише четвертий провід системи (струми протікають через систему заземлення, труби, рейки, залізобетонну арматуру, металічну оболонку кабелів), а також що К.З. не буває чисто металічним з невеликою похібкою для кінцевих розрахунків зробимо такі припущення:  $r_0 = (5...15) r_1$ ;  $x_0 = (7,5...9,5) x_1$ . результати розрахунків заносимо в табл.6.2.

Апаратура кола.

Опори апаратури кола (автоматичних вимикачів, роз'єднувачів, трансформаторів струму) вибираємо з [17] та заносимо в табл.6.2. При цьому приймаємо, що опори прямої послідовності апаратури дорівнюють опорам нульової.

Опір контактних з'єднань.

Розрахунок струмів К.З. в мережах до 1000 В з врахуванням всіх вищезазначених опорів дає завищені значення струмів в порівнянні з фактичними [2]. Це пояснюється тим, що К.З. не буває ідеально металічним, у місцях з'єднання шин і провідників з виводами апаратів є перехідний опір контактів. Проте точно врахувати його неможливо. Тому рекомендується [2] при розрахунках в мережі до 1000 В додатково враховувати опір контактних з'єднань  $r_k = 15...30$  мОм в залежності від віддаленості місця К.З. від трансформатора. Так при К.З. на збірних шинах ТП 0,4 кВ сумарний опір контактних з'єднань можна прийняти  $r_k = 15$  мОм, а на шинах цехових РП –  $r_k = 20$  мОм.

### 6.2.2. Розрахунок струмів короткого замикання в колі трансформатора 1000 кВА.

За даними табл. 6.2 визначаємо струми коротких замикань. Струм трифазного К.З. на збірних шинах трансформатора:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{закл}^2 + x_{закл}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{16,931^2 + 9,439^2}} = 11,914 \text{ кА.}$$

Струм однофазного К.З. на збірних шинах трансформатора [2]:

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\phi}}{\sqrt{(2r_{\text{закл1}} + r_{\text{закл0}})^2 + (2x_{\text{закл1}} + x_{\text{закл0}})^2}} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 16,931 + 17,586)^2 + (2 \cdot 9,436 + 14,168)^2}} = 11,33 \text{ кА.}$$

Струм трифазного К.З. на шинах цехового РП:

$$I_{\text{к4}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(16,931 + 45,84)^2 + (9,436 + 14,52)^2}} = 3,437 \text{ кА.}$$

Струм однофазного К.З. на шинах цехового РП:

$$I_{\text{к4}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot (16,931 + 45,84) + 323,67)^2 + (2 \cdot (9,436 + 14,52) + 109,54)^2}} = 1,455 \text{ кА.}$$

Ударний струм обчислюємо за трифазним К.З.. Уточнимо значення сталої часу точки КЗ:

$$T_a = \frac{x_{\text{зак1}}}{\omega r_{\text{зак1}}} = \frac{9,436}{314 \cdot 16,931} = 1,775 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Відповідно ударний коефіцієнт:

$$K_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{1,775 \cdot 10^{-3}}} = 1,999.$$

Отже ударний струм:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,999 \cdot 11,914 = 33,681 \text{ кА.}$$

Для точки К4 приймаємо, що  $K_y = 1$ . Тоді ударний струм при К.З. в точці К4 коло трансформатора 1000 кВА.

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,437 = 4,861 \text{ кА.}$$

									ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Таблиця 6.2

Елемент	Параметр	Додаткові дані	Опори, мОм							
			$r_1$		$X_1$		$r_0$		$X_0$	
			питом.	загал.	питом.	загал.	питом.	загал.	питом.	загал.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Точка К3 в колі трансформатора 1000 кВА										
Трансформатор	1000 кВА	$u_k=5,6\%$ $P_k=11,5\text{кВт}$	1,84	1,84	8,76	8,76	$r_1$	1,84	$X_1$	8,76
Лінія зв'язку тр-Збш	6,5 м	2хАл 120х10	0,014	0,091	0,104	0,676	$8 \cdot r_1$	0,728	$8 \cdot X_1$	5,408
Автомат	АВМ	2000А	0	0	0	0	0	0	0	0
Трансформатор	ТШ	1500/5	0	0	0	0	0	0	0	0
Роз'єднувач	Р3545	2000А	0	0	0	0	0	0	0	0
Опір контактів		1 ступінь	15	15	0	0	15	15	0	0
Заклучний опір		для К3	$r_{\text{закл } 1}$	16,931	$X_{\text{закл } 1}$	9,436	$r_{\text{закл } 0}$	17,568	$X_{\text{закл } 1}$	14,168
Додатково для точки К4										
Вимикач	АВМ – 400	400А	0,2	0,2	0	0	$r_1$	0,2	0	0
Трансформатор	ТКФ	400/5	0,6	0,6	0,95	0,95	$r_1$	0,6	$X_1$	0,95
Запобіжник	ПН2	400А	0,15	0,15	0	0	$r_1$	0,15	0	0
Кабелі алюм.	240м	3х300+1х150	0,185	39,69	0,0297	13,57	1,48	317,52	0,238	108,56
Вимикач	АВМ – 400	400А	0,2	0,2	0	0	$r_1$	0,2	0	0
Опір контактів		2 ступінь	+5	5	0	0	5	5	0	0
Заклучний опір		для К4	$r_{\text{закл } 1}$	45,84	$X_{\text{закл } 1}$	14,52	$r_{\text{закл } 0}$	323,67	$X_{\text{закл } 1}$	109,54

## 7. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Енергосистеми мають обмежені можливості генерування реактивної потужності. Так, генератори потужністю 100 МВт і вище мають номінальний  $\cos \varphi = 0,85$  або  $0,9$ . Значна частина генерованої реактивної потужності споживається трансформаторами чи ЛЕП. Отже в період максимуму навантаження енергосистеми можуть видати підприємствам обмежену кількість реактивної потужності.

При зниженні потоку реактивної потужності, що передається (збільшення  $\cos \varphi$ ), втрати активної потужності зменшуються. В першу чергу це зумовлено зменшенням струму в лініях електропередач. Тому при проектуванні системи електропостачання значну увагу необхідно приділити заходам по як можливо найближчому до споживачів виробництву необхідної для них реактивної потужності. Вказані заходи часто називають компенсацією реактивної потужності.

В даному розділі розглянемо питання зменшення потоку реактивної потужності в кабельній лінії, що живить ділянку виробництва стерильних антибіотиків. Оскільки вказаний технологічний об'єкт споруджується на підприємстві з досить збалансованою системою електротостачання розглянемо лише місцеві заходи по компенсації реактивної потужності встановлення компенсуючих пристроїв на збірних шинах РП ДВСА. При вихідні дані приймаємо розрахункову активну та реактивну потужності вказаного технологічного об'єту. На шинах РП НН ТП5401 необхідне підтримання значення коефіцієнта потужності на рівні  $1,0$  на всі години доби на протязом усього року.

					ДП 2025 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Тищенко О.І.			Компенсація реактивної потужності	Літ.	Арк.	Аркушіє
Перевір.		Мащенко О.А.						
Реценз.		Іващенко Н.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						



Так як вбудовані розрядні резистори відсутні, конденсаторні установки напругою до 1 кВ обладнують резисторами для розряду.

Час розряду конденсаторів, хв. [14]:

$$t_p = R_p C \ln \frac{U_\kappa}{U_i}$$

де  $R_p$  – розрядний опір, Ом;  $C$  – ємність установки, Ф;  $U_\kappa$  – напруга на конденсаторах після вимкнення, В;  $U_i$  – небезпечний рівень напруги.

Відповідно до вимог ПБЕ напруга на клеммах БК через обну хвилину після вимкнення батареї не повинна перевищувати 50 В. За вказаним значенням напруги  $U_i$  визначаємо опір розрядних резисторів:

$$R_p = \frac{t_p}{C \ln \frac{U_\kappa}{U_t}} = \frac{1}{551 \cdot \ln \frac{380}{50}} = 0,895 \text{ Ом}$$

### 7.3. Регулювання потужності конденсаторних батарей.

Враховуючи швидкі темпи розвитку сучасної електроніки та автоматики приймаємо для застосування пристрої плавного регулювання потужності батарей конденсаторів за допомогою напівпровідникових регуляторів. Основний принцип плавного регулювання закладений у зміні ку повідності чи часу, протягом якого тиристор залишається відкритим і опускає струм.

При зменшенні кута провідності зменшується ефективне значення першої гармоніки струму, що тече через конденсатор, а отже й потужність, яку віддає БК у мережу.

Зміна кута провідності тиристорів у колі з КБ не можна здійснювати зміною кута керування, тобто зміною моменту відкриття. Таке регулювання, як відомо, супроводжується значними кидками вільного струму і практично ніякого ефекту не дає. Плавне регулювання БК, обладнаної тиристорним вимикачем, досягається шляхом штучного вимкнення тиристорів.

Умови вимкнення тиристора утворюються тоді, коли напруга стає від'ємною чи потенціал катода перевищує потенціал анода. Для виконання

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вказаного співвідношення потенціалів служить спеціальний пристрій – джерело керувальних імпульсів струму.

Згідно з призначенням БК, що керується тиристорами, найсуттєвішим можна вважати такі технічні показники:

1) діапазон регулювання реактивної потужності чи здатність джерела реактивної потужності плавно змінювати цю потужність від мінімального значення до максимального;

2) швидкодія або час, протягом якого БК спроможна змінити потужність, що генерується, від одного значення до іншого;

3) гармонійний склад сумарного струму, що характеризує якість компенсації та фільтрації гармонік струму.

Переховані показники пов'язані між собою і залежить від параметрів мережі, в яку ввімкнені конденсатори. Так, розширення діапазону регулювання спричинює погіршення гармонічного складу струму.

Для плавного способу регулювання існує практично доцільний обмежений діапазон, який має за потужність верхню та нижню границі.

Регулювання реактивної потужності БК в області малих кутів ефективно. Причиною, що обмежує границю регулювання в області, коли кут провідності пристроїв стає рівним нулю, є погіршення гармонійного складу сумарного струму джерела реактивної потужності. Складу сумарного струму джерела реактивної потужності. Тому нижня границя за потужністю визначається тим кутом регулювання, за якого спотворення напруги на шинах живлячої мережі не перевищують допустимих, які встановленні ДОСТ 13109-67. Експериментальне встановлено, що залежить від реактивного опору мережі без застосування фільтрів вищих гармонік (11-ої і вище) нижня границя регулювання реактивної потужності може бути оцінена в 10-20% установленої потужності БК.

Основною перевагою розглядуваного компенсуючого пристрою, як інших аналогічних пристроїв з вентильним керуванням, є його швидкодія. Час,

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідний для зміни режиму джерела, не перевищує одного – двох періодів промислової частоти (0,02...0,04с).

За даного способу регулювання потужності БК з допомогою тиристорного вимикача плавність забезпечується додатковим силовим пристроєм, призначеним для примусового вимикання вентилів, що встановлені в колі батареї. Потужність цього пристрою складає 20-30% установленної потужності конденсаторної батареї.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 8. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ ДВСА З ВРАХУВАННЯМ ВСТАНОВЛЕННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ.

В зв'язку зі встановленням компенсуючих пристроїв на РП ділянки виробництва стерильних антибіотиків розглянемо питання про зменшення перерізу ліній живлення. Розрахункова потужність ДВСА після встановлення БК становить  $S_p = 220,01 \text{кВА}$  [п.8]. Відповідно до цього струм лінії в нормальному форсованому режимі:

$$I_\phi = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{220,01}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 317,56 \text{А}$$

Струм номінального робочого режиму:

$$I_{роб.} = \frac{I_\phi}{K_\phi} = \frac{317,56}{1,7} = 186,8 \text{А}$$

де  $K_\phi = 1,6 \dots 1,8$  – коефіцієнт форсованого режиму [14].

В [п.2,14] зазначено, що вибору перерізу за економічною густиною струму не підлягають мережі до 1 кВ з кількістю годин максимуму до 4000 на рік. Проте, враховуючи що максимум даної лінії наближений до вказаної величини (3860 год.), а також значне струмове навантаження виберемо переріз даної лінії за економічною густиною:

$$S = \frac{I_{роб.}}{j_{ек}} = \frac{186,8}{1,4} = 133,43 \text{мм}^2$$

За оптимальним значенням економічно вигідного перерізу, для даної лінії вибираємо по два кабелі марки АВБШв 3x240 на кожен віток. Кожна вітка приєднана до різних секцій РП НН ТП 5401. Допустимий струм для такого кабелю, що прокладений в повітрі з температурою 25 °C становить  $I_{доп} = 3 \times 240 \text{А}$ .

					<i>ДП 2025 141</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Тищенко О.І.</i>			<b>Вибір перерізу лінії живлення ДВСА з урахуванням встановлення компенсуючих пристроїв.</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Мащенко О.А.</i>						
<i>Реценз.</i>		<i>Іващенко Н.В.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						

Отже вибраний переріз відповідає наступним умовам:

$$S_{\text{кл}} > S_{\text{ек}} ; \quad 240 \text{ мм}^2 > 133,43 \text{ мм}^2 ;$$

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{ф}} ; \quad 480 \text{ А} > 317,56 \text{ А} ;$$

Враховуючи те, що апаратом захисту від коротких замикань вказанної кабельної лінії є автоматичний вимикач, перевіряти її переріз на термічну стійкість до струмів коротких замикань не має потреби.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 9. ОБЛАДНАННЯ РОЗПОДІЛЬЧОГО ПРИСТРОЮ.

З точки зору електроспоживачів ділянки виробництва стерильних антибіотиків розподільний пункт РП є джерелом живлення. На нього покладаються функції якісного та безперебійного живлення вказанного технологічного об'єкту. Окрім того обладнання РП не входить в комплект поставки технологічної лінії. Тому в данному розділі детально розглянемо вибір обладнання РП.

До складу РП входить таке обладнання:

1. Шафа вводу.
2. Шафа автоматичного включення резерву живлення.
3. Права та ліва система збірних шин.
4. Щит відгалужень з апаратами захисту.
5. Трансформатор ремонтного освітлення.

В якості шасі ввідного пристрою вибираємо шафу ПР8501-630. Шафа вводу являє собою зварену металеву конструкцію типу з двома дверима. Шини та зборки шафи розраховані на струм до 630 А. В полу шафи

розташовані отвори, для вводу кабелів з кабельних колодязів. Двері шафи замикаються на замок. Обладнання шафи розділене на дві секції, кожна яких складається з рубильника, трансформатора струму, показувальних приладів (амперметр та вольтметр), сигнальної арматури.

Призначення рубильника: рубильник, встановлений в шафі в першу чергу призначений для забезпечення безпеки проведення ремонтних робіт в РП (захист від помилкових включень вимикача на РП НН ТП 5401).

Вибір рубильника: в якості рубильника до встановлення приймаємо вимикач врубний серії ВР-32. Вимикачі ВР-32 призначені для неавтоматичної комутації електричних кіл напругою до 660 В та частотою 50 Гц. Вибираємо

					ДП 2025 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Тищенко О.І.				Обладнання розподільчого пристрою	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.	Мащенко О.А.							
Реценз.	Іващенко Н.В.							
Н. Контр.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Затверд.	Балюта С.М.							

вимикач ВР32-3 (триполюсне виконання) з номінальним струмом  $I_{доп} = 400A$ . За категорією застосування вимикач відноситься до АС22 (комутація активних навантажень, враховуючи помірні перевантаження) і відповідає ГОСТ 12434-83Е. Струм електродинамічної стійкості  $i_{дин} = 65$  кА, що не перевищує значення ударного струму в даній точці мережі [п.6.3]. Апарат має степінь захисту IP54 та кліматичне виконання – УХЛ – 3.

Для візуального контролю роботи РП на дверцятах шафи передбачається встановлення двох систем вимірювальних приладів. Кожна система складається з щитових амперметра та вольтметра електромагнітної системи класом точності не менше ніж 1,0, і підключається до різних секцій ввідної шафи. Затискачі вольтметра приєднуються безпосередньо до шин ввідної шафи на лінійну напругу.

Амперметр з номінальним струмом 5 А підключається до однієї з фаз кожної секції через трансформатор струму. Шкала амперметра повинна бути проградуєвано на значення від 0 до 400 А. Для живлення амперметра приймаємо до встановлення трансформатор струму типу ТШНЛ-0,66-УЗ. Технічні параметри трансформатора струму наведенні в табл.8.1.

Таблиця 9.1

Найменування параметра	Значення
Номінальний первинний струм	400 А
Номінальний вторинний струм	5 А
Номінальна напруга	660 В
Номінальне навантаження	5 ВА
Клас точності	0,5
Частота	50 Гц

Окрім того, передбачається вивід сигнальної арматури на передню панель шафи, яка сигналізує про наявність напруги струмоведучих елементах шафи до та після рубильників.

Вибір апаратури шафи автоматичного включення резервного живлення буде проведений в розділі «Релейний захист».

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Для зв'язку між ввідною шафою та шафою АВР, а також шафи АВР та щитками відгалужень приймаємо до встановлення жорсткі алюмінієві шини, встановленні на опорних ізоляторах.

Виходячи із значення струмів форсованого режиму  $I_f = 371,9$  А вибираємо алюмінієві шини прямокутного перерізу розміром 40x4 мм. Тривало допустимий струм шин даного перерізу  $I_{доп} = 480$  А. Шини також необхідно перевірити на термічну та електродинамічну стійкість до струмів коротких замикань. За даними розрахунку струмів КЗ визначаємо мінімальний переріз шин, що відповідає умовам термічної стійкості.

Приймаючи, що час спрацювання автоматичних вимикачів на РП НН ТП 5401 дорівнює 1 с визначаємо тепловий імпульс КЗ:

$$B_k = i_{yd}^2 \cdot t_{кз} = 4,861^2 \cdot 1 = 23,629 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Мінімальний переріз за умовою термічної стійкості:

$$S_{\text{мі}} \frac{\sqrt{B_k \cdot 10^6}}{C} = \frac{\sqrt{23,629 \cdot 10^6}}{90} = 54,012 \text{ мм}^2;$$

$$S > S_{\text{мін}} ; \quad 150 \text{ мм}^2 > 54,012 \text{ мм}^2 .$$

Вибраний переріз відповідає умовам термічної стійкості.

Шинна конструкція вважається стійкою до електродинамічних зусиль струмів короткого замикання, якщо максимальне розрахункове напруження в матеріалі шини  $\sigma_{\text{мах}}$  та максимальне розрахункова зусилля на ізоляторі  $F_{\text{мах}}$  не перевищує допустимих значень:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{мах}} &\leq \sigma_{\text{доп}} ; \\ F_{\text{мах}} &\leq F_{\text{доп}} . \end{aligned}$$

Визначаємо максимальну відстань між опорними ізоляторами, за якої частота власних  $f_0$  коливань дорівнює 200 Гц [11]:

$$\ell_{\text{мах}} = 0,931 \sqrt{\frac{J}{S_{\text{ст}}}} = 0,931 \sqrt{\frac{0,9}{1,5}} = 0,7 \text{ м},$$

						ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

де  $J = 0,9\text{см}^4$  - момент інерції перерізу шин відносно осі, що перпендикулярна напрямку дії сили [табл.2.10,14];  $S_{ст}$  – стандартний переріз шини  $\text{см}^2$ .

Приймаємо відстань між опорами ізоляції  $\ell = 0,4$  м.

Приймаючи, що відстань між шинами (фазами) дорівнює  $a = 0,25$  м визначаємо найбільше значення електродинамічного зусилля для режиму трифазного замикання:

$$q_{max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} i_{yo}^2 \xi = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{0,25} \cdot 2,058^2 \cdot 1 = 2,93 \text{ Н / м},$$

де  $\xi = 1$  коефіцієнт максимального зусилля, при розміщені шин в одній площині.

Обчислимо максимальне напруження в матриці шини:

$$\sigma_{max} = \frac{q_{max} \cdot l^2}{10W} = \frac{2,93 \cdot 40^2}{10 \cdot 0,6} \approx 0,1 \text{ МПа},$$

де  $W = 0,6\text{см}^3$  - момент опору перерізу шини.

Максимальне зусилля на ізолятори:

$$A_{max} = q_{max} \cdot \ell = 2,93 \cdot 0,1 \approx 1 \text{ Н}.$$

За значенням максимального зусилля вибираємо ізолятори ОФ-0,66-375УЗ. Мінімальне руйнуюче зусилля ізолятора  $F_{доп} = 375$  Н.

Отже за результатами розрахунків можна зробити висновок, що шини даної ТП відповідають умовам термічної та електродинамічної стійкості струмам КЗ.

В якості щитів відгалужень приймаємо до застосування комплектні розподільні щити типу ЩО-94, які випускає ВАТ «Укрелектроапарат». Панелі розподільних щитів ЩО-94 призначені для прийому та розподілення електричної енергії трифазного змінного струму, частотою 50 Гц при нарузі до 0,66 кВ і захисту відгалужень від перевантажень та коротких замикань. Розподільні панелі обладнані стаціонарними автоматичними вимикачами типу

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

BA57-35-3-400. За каталогом обладнання вибираємо панелі типу 2345. Кожна з панелей має захищене відгалуження з номінальним струмом від 16 до 250 А.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 10. ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

В даному розділі проведемо вибір електрообладнання, що не входить до комплексу поставки технологічної лінії виробництва стерильних антибіотиків DOSA. Дане електрообладнання включає в себе розподільні щитки, кабелі, апарати захисту і т. ін. Вибір електрообладнання проведемо враховуючи специфіку окремих приміщень та цеху в цілому.

### 10.1. Вибір електрообладнання першого поверху ДВСА.

Вибір обладнання проводимо виходячи із плану розташування обладнання. Для вибору перерізу кабелю головної ділянки розрахуємо її номінальний струм. Основними споживачами схеми живлення першого поверху є асинхронні двигуни ділянки підготовки води. Технічні характеристики, а також розрахунок їх номінальних та пускових струмів приведено в табл.10.1.

Таблиця 10.1

Тип двигуна	Рн, кВт	cosφ	ККД, %	Ін, А	Іпуск, А
4A100L4УЗ	3,0	0,83	82,0	6,7	40,2
4A100S4УЗ	4,0	0,84	84,0	8,6	51,6
4A132M4УЗ	11,0	0,87	87,5	22,0	165
4A160M4УЗ	18,5	0,88	89,5	35,7	249,9

Приймаючи питому потужність освітлення  $p_{oc} = 15 \text{ Вт/м}^2$  орієнтовано визначаємо встановлену потужність, струм електричного освітлення першого поверху:

$$P_o = p_{oc} \cdot S = 15 \cdot 1025 = 15375 \text{ Вт};$$

$$I_o = \frac{P_o}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{15375}{\sqrt{3} \cdot 380} = 23,36 \text{ А}.$$

Отже, розрахунковий струм вказаної ділянки:

					<b>ДП 2025 141</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Лист</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Тищенко О.І.			<b>Вибір електрообладнання</b>	Літ.	Арк.	Аркушіє
Перевір.		Мащенко О.А.						
Реценз.		Іващенко Н.В						
Н. Контр.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Затверд.		Балюта С.М.						

$$I_p = I_{\Sigma_{\text{дв}}} + I_0 = 73 + 23,36 = 96,36 \text{ A.}$$

Для вибору автоматичного вимикача для захисту лінії розрахуємо струм електромагнітного розчеплювача:

$$I_{e.p.} \geq I_{\text{пуск.max}} + \sum_1^{n-1} I_{ni} + I_0 = 249,9 + 37,3 + 9,12 = 296,32 \text{ A.}$$

В якості апарату захисту даної (встановлений в лівій розподільній панелі РП) вибираємо автоматичний вимикач типу АЗ710Б. Номінальний струм вимикача  $I_n = 160 \text{ A}$ ; номінальний струм розчеплювача  $I_{cp} = 80 \text{ A}$ ; струм спрацювання автомата  $I_{с.а.} = 5I_{н.р.} = 400 \text{ A}$ .

За значенням розрахункового струму вибираємо кабель марки АВВГ 3х16, 1х10. Тривалий допустимий струм однієї жили, для кабелю, що прокладений на лотках (в повітрі)  $I_{доп} = 83 \text{ A}$ .

Перевіримо вибраний переріз на відповідність апарату захисту:

$$I_{доп} \geq K_3 I_{с.а.}$$

де  $K_3 = 1$  – захисний коефіцієнт для автоматичних вимикачів.

$$83 \text{ A} < 0,22 \cdot 400 \text{ A} = 88 \text{ A},$$

Отже даний переріз не відповідає апарату захисту. Тому вибираємо переріз 3х25, 1х16 кабелю тієї ж марки. Допустимий струм перерізу  $I_{доп} = 106 \text{ A}$ .

$$106 \text{ A} > 0,22 \cdot 400 \text{ A} = 88 \text{ A}$$

Вказаний кабель живить груповий розподільний щиток, від якого по радіальних лініях живляться двигуни та освітлення. Вибір перерізів кабелів живлення двигунів, їх апаратів захисту та керування проведемо в табличній формі (табл.10.2). Розрахункові дані вибираємо з табл.10.2. В якості апарату захисту двигунів використовуємо автоматичні вимикачі серії АЗ710Б, а в якості апарату керування магнітний пускач серії ПМЛ, з вмонтованим тепловим реле типу РТЛ.

						ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 10.2

Технічні дані обладнання	Розрахункові параметри кола	Умова вибору
1	2	3
Двигун 4A100L4УЗ		
Магнітний пускач ПМЛ – 1210002		
$U_n = 380В$	$U_{роб} = 380В$	$U_{роб} \leq U_n$
$I_n = 10А$	$I_{н.дв} = 6,7А$	$I_{н.дв} \leq I_n$
Теплове реле РТЛ 101204		
$I_n = 10А$	$I_{н.дв} = 6,7А$	$I_{н.дв} \leq I_n$
Середнє значення струму теплового елемента $I_{с.т} = 6,8А$		
Автоматичний вимикач А3710Б		
$I_n = 160А$	$I_{н.дв} = 6,7А$	$I_{н.дв} \leq I_n$
$I_{н.р} = 20А$	$I_{н.дв} = 6,7А$	$I_{н.дв} \leq I_{н.р}$
$I_{с.а} = 3 I_{н.р} = 60А$	$I_{пуск} = 40,2А$	$I_{пуск} \leq I_{с.а}$
Кабель АВВГ 3x2,5		
$I_{доп} = 19А$	$I_{н.дв} = 6,7А$	$I_{н.дв} \leq I_{доп}$
$I_{доп} = 19А$	$0,22I_{с.а} = 13,2А$	$0,22I_{с.а} \leq I_{доп}$
Двигун 4A100S4УЗ		
Магнітний пускач ПМЛ – 1210002		
$U_n = 380В$	$U_{роб} = 380В$	$U_{роб} \leq U_n$
$I_n = 10А$	$I_{н.дв} = 8,6А$	$I_{н.дв} \leq I_n$
Теплове реле РТЛ 101404		
$I_n = 10А$	$I_{н.дв} = 8,6А$	$I_{н.дв} \leq I_n$
Середнє значення струму теплового елемента $I_{с.т} = 6,8А$		
Автоматичний вимикач А3710Б		
$I_n = 160А$	$I_{н.дв} = 8,6А$	$I_{н.дв} \leq I_n$
$I_{н.р} = 20А$	$I_{н.дв} = 8,6А$	$I_{н.дв} \leq I_{н.р}$
$I_{с.а} = 3 I_{н.р} = 60А$	$I_{пуск} = 51,6А$	$I_{пуск} \leq I_{с.а}$
Кабель АВВГ 3x2,5		
$I_{доп} = 19А$	$I_{н.дв} = 8,6А$	$I_{н.дв} \leq I_{доп}$
$I_{доп} = 19А$	$0,22I_{с.а} = 13,2А$	$0,22I_{с.а} \leq I_{доп}$
Двигун 4A132M4УЗ		
Магнітний пускач ПМЛ – 2210002		
$U_n = 380В$	$U_{роб} = 380В$	$U_{роб} \leq U_n$
$I_n = 25А$	$I_{н.дв} = 22,0А$	$I_{н.дв} \leq I_n$
Теплове реле РТЛ 102204		
$I_n = 25А$	$I_{н.дв} = 22,0А$	$I_{н.дв} \leq I_n$
Середнє значення струму теплового елемента $I_{с.т} = 21,5А$		
Автоматичний вимикач А3710Б		
$I_n = 25А$	$I_{н.дв} = 22,0А$	$I_{н.дв} \leq I_n$

## Продовження таблиці 10.2

1	2	3
$I_{н.р} = 25A$	$I_{н.дв} = 22,0A$	$I_{н.дв} \leq I_{н.р}$
$I_{с.а} = 7 I_{н.р} = 175A$	$I_{пуск} = 165A$	$I_{пуск} \leq I_{с.а}$
Кабель АВВГ 3х10		
$I_{доп} = 42A$	$I_{н.дв} = 22,0A$	$I_{н.дв} \leq I_{доп}$
$I_{доп} = 42A$	$0,22I_{с.а} = 38,5A$	$0,22I_{с.а} \leq I_{доп}$
Двигун 4А160М4УЗ		
Магнітний пускач ПМЛ – 3210002		
$U_H = 380B$	$U_{роб} = 380B$	$U_{роб} \leq U_H$
$I_H = 40A$	$I_{н.дв} = 35,7A$	$I_{н.дв} \leq I_H$
Теплове реле РТЛ 205504		
$I_H = 40A$	$I_{н.дв} = 35,7A$	$I_{н.дв} \leq I_H$
Середнє значення струму теплового елемента $I_{с.т} = 35A$		
Автоматичний вимикач А3710Б		
$I_H = 160A$	$I_{н.дв} = 35,7A$	$I_{н.дв} \leq I_H$
$I_{н.р} = 40A$	$I_{н.дв} = 35,7A$	$I_{н.дв} \leq I_{н.р}$
$I_{с.а} = 7 I_{н.р} = 280A$	$I_{пуск} = 249,9A$	$I_{пуск} \leq I_{с.а}$
Кабель АВВГ 3х25		
$I_{доп} = 75A$	$I_{н.дв} = 35,7A$	$I_{н.дв} \leq I_{доп}$
$I_{доп} = 75A$	$0,22I_{с.а} = 61,6A$	$0,22I_{с.а} \leq I_{доп}$

Для живлення освітлення провідники вибираємо за умовою механічної міцності (не менше 2,5 мм<sup>2</sup>). Лінії захищені автоматами типу ВА-51-25  $I_H = 25A$ ;  $I_{н.р.} = 6,3$  або 10А.

### 10.2. Вибір електрообладнання другого поверху ДВСА.

Основне навантаження схеми живлення другого поверху складає технологічна лінія виробництва стерильних антибіотиків. Робота лінії повністю автоматизована і контроль за її роботою здійснюється шафою керування ШК. Перелік електроспоживачів лінії наведено в табл.10.3. Навантаження шафи в цілому носить рівномірний характер (термічне навантаження, стерилізатори тощо), хоча можна відмітити невеликі поштовхи струму від пуску малопотужних асинхронних та шагових електродвигунів.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2025 141				



розподільного щитка другого поверху через окремий автомат. За паспортом номінальний дорівнює 6. Отже пусковий струм двигуна компресора:

$$I_{\text{пуск}} = 6I_n = 6 \cdot 19,7 = 118,2 \text{ А.}$$

В якості апарату захисту даної вибираємо автоматичний вимикач типу АЗ710Б. Номінальний струм вимикача  $I_n = 160\text{А}$ ; номінальний струм розчеплювача  $I_{н.р.} = 20\text{А}$ ; струм спрацювання автомата  $I_{н.р.}=7$ ,  $I_{н.р.} = 140\text{А}$ .

За значенням розрахункового струму вибираємо кабель матки АВВГ 3х4. Тривалий допустимий струм однієї жили, для кабелю, що прокладений на лотках (в повітрі)  $I_{\text{доп}} = 38\text{А}$ .

Перевіряємо вибраний переріз на відповідність апарату захисту:

$$38\text{А} < 0,22 \cdot 140\text{А} = 30,8\text{А},$$

отже даний переріз відповідає апарату захисту.

Однією з особливостей електричної схеми другого поверху є застосування пристроїв захисного відключення ПЗВ в розподільних щитках. В першу чергу це пов'язано з режимом роботи лінії (підвищена вологість в приміщеннях), а також з необхідністю прибирання та дезінфекції стін та стелі проточною водою та розчинами.

### 10.3. Вибір електрообладнання третього поверху ДВСА.

Для вибору перерізу кабелю головної ділянки розрахуємо її номінальний струм. Основними споживачами схеми живлення третього поверху є асинхронні двигуни ділянки підготовки та стерилізації повітря. Технічні характеристики, а також розрахунок їх номінальних та пускових струмів приведено в табл. 10.4.

Таблиця 10.4.

Тип двигуна	$P_n$ , кВт	$\cos\varphi$	ККД, %	$I_n$ , А	$I_{\text{пуск}}$ , А
4А100L4УЗ	3,0	0,83	82,0	6,7	40,2
4А100S4УЗ	4,0	0,84	84,0	8,6	51,6
4А112М4УЗ	5,5	0,85	85,5	11,5	80,5
4А132S4УЗ	7,5	0,86	87,5	15,1	113,25

									ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

4A132M4У3	11,0	0,87	87,5	22,0	165
-----------	------	------	------	------	-----

Приймаючи питому потужність освітлення  $\rho_{ос} = 15 \text{ Вт/м}^2$  орієнтовно визначаємо встановлену потужність струм електричного освітлення третього поверху:

$$P_o = \rho_{ос} \cdot S = 15 \cdot 1025 = 15375 \text{ Вт};$$

$$I_o = \frac{P_o}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{15375}{\sqrt{3} \cdot 380} = 23,36 \text{ А.}$$

Отже, розрахунковий струм вказаної ділянки:

$$I_p = I_{\Sigma дв} + I_o = 84 + 23,36 = 107,36 \text{ А.}$$

Для вибору автоматичного вимикача для захисту лінії розглянемо струм електромагнітного розчеплювача:

$$I_{e.p.} \geq I_{\text{тиск. max}} + \sum_1^{n-1} I_{ni} + I_o = 165 + 62 + 9,12 = 236,12 \text{ А.}$$

В якості апарату захисту даної (встановлений в лівій розподільній панелі РП) обираємо автоматичний вимикач типу АЗ710Б. Номінальний струм вимикача  $I_n = 160 \text{ А};$

Номінальний струм розчеплювача  $I_{н.р.} = 100 \text{ А};$  струм спрацювання автомата  $I_{с.а.} = 3I_{н.р.} = 300 \text{ А.}$

За значенням розрахункового струму вибираємо кабель марки АВВГ 3х25, 1х16. Тривалий допустимий струм однієї жили, для кабелю, що прокладений на лотках (в повітрі)  $I_{доп} = 106 \text{ А.}$

Перевіряємо вибраний переріз на відповідність апарату захисту:

$$I_{доп} \geq K_3 I_{с.а.}$$

$$106 \text{ А} < 0,22 \cdot 300 \text{ А} = 66 \text{ А.}$$

Отже даний переріз відповідає апарату захисту.

Вказаний кабель живить груповий розподільний щиток, від якого по радіальних лініях живляться двигуни та освітлення. Вибір перерізів кабелів

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

живлення двигунів, їх апаратів захисту та керування проведемо в табличній формі (табл.9.5). Розрахункові дані вибираємо з табл.9.4. В якості апарату захисту двигунів використовуємо автоматичні вимикачі серії А3710Б, а в якості апарату керування магнітний пускач серії ПМЛ, з вмонтованим тепловим реле типу РТЛ.

Таблиця 10.5.

Технічні дані обладнання	Розрахункові параметри кола	Умова вибору
1	2	3
Двигун 4А100L4У3		
Магнітний пускач ПМЛ – 1210002		
$U_H = 380В$	$U_{роб} = 380В$	$U_{роб} \leq U_H$
$I_H = 10А$	$I_{н.дв} = 6,7А$	$I_{н.дв} \leq I_H$
Теплове реле РТЛ 101204		
$I_H = 10А$	$I_{н.дв} = 6,7А$	$I_{н.дв} \leq I_H$
Середнє значення струму теплового елемента $I_{с.т} = 6,8А$		
Автоматичний вимикач А3710Б		
$I_H = 160А$	$I_{н.дв} = 6,7А$	$I_{н.дв} \leq I_H$
$I_{н.р} = 20А$	$I_{н.дв} = 6,7А$	$I_{н.дв} \leq I_{н.р}$
$I_{с.а} = 3 I_{н.р} = 60А$	$I_{пуск} = 40,2А$	$I_{пуск} \leq I_{с.а}$
Кабель АВВГ 3х2,5		
$I_{доп} = 19А$	$I_{н.дв} = 6,7А$	$I_{н.дв} \leq I_{доп}$
$I_{доп} = 19А$	$0,22I_{с.а} = 13,2А$	$0,22I_{с.а} \leq I_{доп}$
Двигун 4А100S4У3		
Магнітний пускач ПМЛ – 1210002		
$U_H = 380В$	$U_{роб} = 380В$	$U_{роб} \leq U_H$
$I_H = 10А$	$I_{н.дв} = 8,6А$	$I_{н.дв} \leq I_H$
Теплове реле РТЛ 101404		
$I_H = 10А$	$I_{н.дв} = 8,6А$	$I_{н.дв} \leq I_H$
Середнє значення струму теплового елемента $I_{с.т} = 6,8А$		
Автоматичний вимикач А3710Б		
$I_H = 160А$	$I_{н.дв} = 8,6А$	$I_{н.дв} \leq I_H$
$I_{н.р} = 20А$	$I_{н.дв} = 8,6А$	$I_{н.дв} \leq I_{н.р}$
$I_{с.а} = 3 I_{н.р} = 60А$	$I_{пуск} = 51,6А$	$I_{пуск} \leq I_{с.а}$
Кабель АВВГ 3х2,5		
$I_{доп} = 19А$	$I_{н.дв} = 8,6А$	$I_{н.дв} \leq I_{доп}$
$I_{доп} = 19А$	$0,22I_{с.а} = 13,2А$	$0,22I_{с.а} \leq I_{доп}$
Двигун 4А112М4У3		
Магнітний пускач ПМЛ – 2210002		
$U_H = 380В$	$U_{роб} = 380В$	$U_{роб} \leq U_H$
$I_H = 25А$	$I_{н.дв} = 11,5А$	$I_{н.дв} \leq I_H$

1	2	3
Теплове реле РТЛ 101604		
$I_n = 25A$	$I_{н.дв} = 11,5A$	$I_{н.дв} \leq I_n$
Середнє значення струму теплового елемента $I_{с.т} = 12A$		
Автоматичний вимикач А3710Б		
$I_n = 160A$	$I_{н.дв} = 11,5A$	$I_{н.дв} \leq I_n$
$I_{н.р} = 25A$	$I_{н.дв} = 11,5A$	$I_{н.дв} \leq I_{н.р}$
$I_{с.а} = 5 I_{н.р} = 125A$	$I_{пуск} = 80,5A$	$I_{пуск} \leq I_{с.а}$
1	2	3
Кабель АВВГ 3х6		
$I_{доп} = 32A$	$I_{н.дв} = 11,5A$	$I_{н.дв} \leq I_{доп}$
$I_{доп} = 32A$	$0,22I_{с.а} = 27,5A$	$0,22I_{с.а} \leq I_{доп}$
Двигун 4А132М4У3		
Магнітний пускач ПМЛ – 2210002		
$U_n = 380В$	$U_{роб} = 380В$	$U_{роб} \leq U_n$
$I_n = 25A$	$I_{н.дв} = 15,1A$	$I_{н.дв} \leq I_n$
Теплове реле РТЛ 102204		
$I_n = 25A$	$I_{н.дв} = 15,1A$	$I_{н.дв} \leq I_n$
Середнє значення струму теплового елемента $I_{с.т} = 16A$		
Автоматичний вимикач А3710Б		
$I_n = 160A$	$I_{н.дв} = 15,1A$	$I_{н.дв} \leq I_n$
$I_{н.р} = 25A$	$I_{н.дв} = 15,1A$	$I_{н.дв} \leq I_{н.р}$
$I_{с.а} = 5 I_{н.р} = 125A$	$I_{пуск} = 113,25A$	$I_{пуск} \leq I_{с.а}$
Кабель АВВГ 3х6		
$I_{доп} = 32A$	$I_{н.дв} = 15,1A$	$I_{н.дв} \leq I_{доп}$
$I_{доп} = 32A$	$0,22I_{с.а} = 27,5A$	$0,22I_{с.а} \leq I_{доп}$
Двигун 4А132М4У3		
Магнітний пускач ПМЛ – 2210002		
$U_n = 380В$	$U_{роб} = 380В$	$U_{роб} \leq U_n$
$I_n = 25A$	$I_{н.дв} = 22,0A$	$I_{н.дв} \leq I_n$
Теплове реле РТЛ 102204		
$I_n = 25A$	$I_{н.дв} = 22,0A$	$I_{н.дв} \leq I_n$
Середнє значення струму теплового елемента $I_{с.т} = 21,5A$		
Автоматичний вимикач А3710Б		
$I_n = 160A$	$I_{н.дв} = 22,0A$	$I_{н.дв} \leq I_n$
$I_{н.р} = 25A$	$I_{н.дв} = 22,0A$	$I_{н.дв} \leq I_{н.р}$
$I_{с.а} = 7 I_{н.р} = 175A$	$I_{пуск} = 165A$	$I_{пуск} \leq I_{с.а}$
Кабель АВВГ 3х10		
$I_{доп} = 42A$	$I_{н.дв} = 22,0A$	$I_{н.дв} \leq I_{доп}$
$I_{доп} = 42A$	$0,22I_{с.а} = 38,5A$	$0,22I_{с.а} \leq I_{доп}$

Для живлення освітлення провідники вибираємо за умовою механічної міцності (на менше 2,5 мм<sup>2</sup>). Лінії захищені автоматами типу ВА-51-25  
Ін = 25А; Ін.р. = 6,3 або 10А.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 11. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ.

Релейний захист (РЗ) є найважливішою частою автоматикою електроустановок та енергосистем. Його основна задача полягає в тому, щоб виявити місце пошкодження в електричній системі і як можна швидше видати керуючий сигнал на відключення відповідної ділянки. Також однією з основних задач релейного захисту є функція попередження пошкодження енергосистеми та споживачів. Такі функції виконують пристрої автоматичного включення резерву, автоматичного частотного розвантаження тощо. Додаткова задача полягає в сигналізації при виникненні аномальних режимів.

Враховуючи, що технологічну лінію виробництва стерильних антибіотиків, внаслідок великої вартості обладнання та сировини, можна віднести до споживачів другої категорії надійності електропостачання. Для забезпечення надійності електропостачання живлення лінії проводиться по двох незалежних лініях. Для зменшення часу перерви живлення застосовуємо пристрій автоматичного включення резерву АВР.

### 11.1. Основні положення

Пристрій АВР встановлюють на підстанціях пунктах (РП), для яких передбачені два джерела живлення, що працюють роздільно в нормальному режимі.

Призначенням пристрою АВР є здійснення швидкого автоматичного переключення на резервне живлення споживачів, знеструмлених у результаті ушкодження або самовільного відключення робочого джерела електропостачання, що забезпечує мінімальні порушення і втрати в технологічному процесі.

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Тищенко О.І.</i>			<i>Релейний захист</i>			
<i>Перевір.</i>		<i>Мащенко О.А.</i>						
<i>Реценз.</i>		<i>Іващенко Н.В.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		

Включення резервного джерела на ушкоджену секцію збірних шин КРУ, як правило, не допускається для уникнення збільшення обсягу руйнувань, викликаних КЗ, і аварійного зниження напруги споживачів, електрично зв'язаних з резервним джерелом. Дія АВР не повинна приводити до неприпустимого перенавантаження резервного джерела як у подальшому сталому режимі, так і в процесі самозапуску електродвигунів, що втратили живлення.

Схеми АВР повинні:

- а) забезпечувати можливо раннє виявлення відмови робочого джерела живлення;
- б) діяти узгоджено з іншими пристроями автоматики (АПВ, АЧР) в інтересах можливо повного збереження технологічного процесу;
- в) не допускається включення резервного джерела на КЗ;
- г) не допускати підключення споживачів до резервного джерела, напруга на якому знижена.

Апарати, що включаються пристроями АВР, повинні мати контроль справності ланцюга влючення.

Нижче розглядається виконання пристрою АВР розподільному пункті ділянки виробництва стерильних антибіотиків.

## **11.2. Структура, принципи виконання й установки пристроїв АВР**

Пристрій АВР складається з таких основних частин: вимірювальний орган (по одному на кожне джерело) та логічної частини, яка включає в себе органи витримки часу, кола однократності спрацювання, та заборони дії АВР, а також сигнальних реле.

Вимірювальний орган складається з реле напруги типу РН-54/160 та трансформаторів струму типу ТШНЛ-0,66. Реле напруги вимірюють значення лінійної напруги на шинах ввідної шафи РП і видають сигнал на початок роботи пристрою АВР. Трансформатори струму вимірюють значення струму в лінійних провідниках. Струми вторинних обмотках трансформаторів циркулюють у колах

											ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

струмових реле типу РТ-40, які при зниженні напруги через КЗ дають сигнал на заборону дії АВР. За допомогою ключа існує можливість відключення АВР або переведення керування включенням резерву в ручному режимі.

Кола витримки часу виконані на реле часу РВ-122. На них покладена функція перевірки можливості відновлення живлення від основного джерела (тимчасові зниження напруги, виконані пуском двигунів, спрацювання АВР на розподільному пристрої НН ТП 5401). Однократність спрацювання забезпечується перехідними контактами в колі проміжних реле.

Попередньо, установки реле напруги вибираються такими, що забезпечують спрацювання вказаного реле при зниженні напруги на збірних шинах будь-якої секції РП на 10%. (345-350 В). Але точний вибір установки необхідно вибрати після ретельної перевірки режимів роботи кожної технологічної ланки ДВСА. Адже при зниженні напруги на 10% момент асинхронних двигунів зменшується на 20%.

Установки реле струму вибирають такими, щоб забезпечити заборону включення АВР на КЗ. Враховуючи «плавність» навантажень аварійною ситуацією можна вважати збільшення струму збірних шин понад  $2I_{роб}$ . Тобто, якщо на шинах РП встановленні трансформатори струму 400/5, а  $I_{роб} = 247,5$  А, [п.9] установки реле струму повинна бути:

$$I_{реле} = 2 \cdot \frac{247,5 \cdot 5}{400} \approx 6,2 \text{ А.}$$

Установки реле часу вибираються такими, щоб забезпечити дію підготовки спрацювання АВР та перевірки сигналу на заборону дії АВР. Таку установку за рекомендаціями [1] приймаємо 0,5с.

### 11.3. Опис роботи схеми пристрою АВР.

При зникненні напруги на першому вводі реле напруги РН1 замкне свої контакти РН1.1 і подасть живлення на катушку реле РП1. Реле РП1 замкне контакти РП1.1 і подасть живлення на катушку відключення першого лінійного автомата, а через його блок контакти на катушку секційного автомата. З появою напруги, РП1 розімкне контакти РН1.1 і замкне контакти РН1.2, через які буде

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

подане живлення на реле часу РВ1. Через задану витримку часу реле РВ1 замкне свої контакти РВ1.1 і подасть живлення на реле РПЗ. Реле РПЗ замкне контакти РПЗ.1 і відключить секційний автомат. З його блок – контактів буде подане живлення на котушку включення першого лінійного автомата. Аналогічно працює АВР і при зниженні напруги на другому вводі. З появою напруги і по другому введенню, через задану витримку часу (РВ1) працює реле РПЗ, (відключення секційного автомата), замкне контакти РПЗ.2 і подасть напругу на катушку реле часу РВ2. Дана схема підходить для роботи майже з усіма автоматами або силовими контактами. При роботі АВР із польськими автоматами серії AMD була виявлена наступна проблема. Виглядала вона так: іноді, при провалі одного з уведень (приблизно один випадок з десяти), зненацька відключилися обидва автомати, а дизель – генератор не запускався. Детальне пророблення схеми не виявило дефектів ні в схемі АВР, ні в самих автоматах. Для рішення цієї проблеми були застосовані спеціальні особливо точні реєстри, що виявили дуже цікаві особливості у всіх випадках виникнення цих збоїв насправді пропадала напруга не на одному введенні, а на обох, але на одному з них напруга відразу виникла. Звичайні прилади і сигналізація не встигли це провалля зафіксувати. Після одержання цих вимірів був знову проведений докладений аналіз роботи АВР разом з автоматами і були виявлені нестиковки з даної схеми АВР при роботі саме з цими автоматами. Одною особливістю роботи даних автоматів є те, що при проваллі напруги із шин автомата і з його схеми керування приводить до його негайного відключення незалежно від команд надходять від АВР. Проведений аналіз показав наступне: даний збій виникав тільки при збігу визначених умов. В зовнішній мережі приладами були зафіксовані короточасні провалля напруги по обох введеннях. Якщо напруга відразу з'явилася, то система фіксувала це як поштовх і через хвилину давала команду на включення обох мережів автоматів. Якщо ж з'явилося тільки одне введення, то система «зависла». Можна зробити висновок, що до збою приводять наступні події:

1. Зникнення напруги по обох вводах.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

2. Відключення обох мережних автоматів їхніми внутрішніми схемами, незалежно від команд з АВР.

1. Поява напруги на одному з уведень за час менш 1,5 сек. Тому що затримка запуску АДГ складає від 1,5 до 3 сек, а АВР контролює напруга до мережі автоматів, то команда на запуск АДГ знімається. Включення мережі автоматів блокується блоками – контактами секційного автомата. Даний здій роботи схеми виявляється при роботі саме з польськими автомататами. Після виявлення цієї проблеми була зроблена нова система АВр, у якій відсутні вище приведенний недолік.

Конструктивно система АВР складається з чотирьох блоків.

1. Блок автоматики.
2. Блок керування автоматами.
3. Блок керування АДГ.
4. Блок сигналізації.

Основна відмінність нової схеми від попередньої, це застосування двох видів електроживлення: змінного і постійного. Завдяки цьому удалося цілком позбутися недоліків, виявлених у попередній схемі. У новій системі АВР застосовані принципово нові реле контролю фаз. Ці реле, крім контролю фаз, здійснюють ще і функції контролю напруги кожної фази.

#### 11.4 Розрахунок релейного захисту

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

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розглянемо більш докладно релейний захист і автоматику знижувального трансформатора. Знижувальний трансформатор повинен мати максимальний струмовий захист від надструмів, узгоджений за струмом і часом з наступними елементами схеми. Окрім максимального струмового захисту від надструмів силовий трансформатор, залежно від потужності повинен мати газовий захист, що забезпечує його вмикання при пошкодженні на стороні вищої напруги. Якщо на підстанції передбачене чергування персоналу чи передача попереджувальних і аварійних сигналів на який-небудь черговий пункт, то встановлюють захист трансформатора від перевантаження, який діє на сигнал з витримкою часу більшою за витримку часу інших захистів на об'єкті, як правило, 8...10с.

### Максимальний струмовий захист

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

Визначаємо номінальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ А.}$$

Трансформатори струму прийняті з коефіцієнтом трансформації 75/5, схема захисту неповна зірка;  $K_{СХ}=1$ .

Струм спрацювання захисту:

$$I_{СЗ} = \frac{K_H \cdot (I_{ном} \cdot K_{сп} + I_{ном})}{K_{п}} = \frac{1,2 \cdot (57,7 \cdot 1,5 + 57,7)}{0,85} = 203,6 \text{ А,}$$

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

$$K_{ч} = \frac{I_{k \min}}{I_{СЗ}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 492}{203,6} = 2,1 > 1,5,$$

де  $I_{k \min}$  - мінімально ймовірне значення струму при короткому замиканні на стороні НН трансформатора, приведені до сторони ВН.

$$I_{k \min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k \max}^{НН} \cdot \frac{U_{НОМ}^{НН}}{U_{НОМ}^{ВН}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 11,914 \cdot \frac{0,4}{10} = 257,95 \text{ А}$$

Уставка реле струму:

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{CP} = \frac{I_{C3} \cdot K_{CX}}{K_{T,TC}} = \frac{203,6 \cdot 1}{15} = 13,6 A.$$

Обираємо реле типу Місом.

Уставка часу захисту (реле):

$$t_{c31} = t_{\max} + \Delta t.$$

Ступінь селективності.

$$\Delta t = 0,12 + 0,12 + 0,08 + 0,1 = 0,42 \approx 0,4 \text{ с},$$

де 0,12- похибка двох мікропроцесорних реле Місом; 0,08 - час до згасання дуги на контактах вимикача; 0,1- запас часу.

Тоді

$$t_{c31} = 1,2 + 0,4 = 1,6 \text{ с};$$

$$t_{c32} = 1,6 + 0,4 = 2 \text{ с}.$$

### Розрахунок миттєвого діючого струмового захисту (відсічки)

Максимальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{MAX} = \frac{K_{пер} \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 80,83 A.$$

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

$$I_{c3}^{нам} = K_{від}^{нам} \cdot I_{MAX} = 4,5 \cdot 80,83 = 363,7 A$$

Також відстройка відсічки здійснюється за максимальним значенням струму к.з. на стороні НН трансформатора

$$I_{c3}^{кз} = K_{від} \cdot I_{kmax}^{НН} \cdot \frac{U_{НОМ}^{НН}}{U_{НОМ}^{ВН}} = 1,2 \cdot 11,914 \cdot \frac{0,4}{10} = 571,9 A$$

З двох значень  $I_{c3}^{нам}$  та  $I_{c3}^{кз}$  вибираємо найбільше, тобто  $I_{c3}^{нам} = I_{c3}^{кз} = 571,9 A$

Перевіримо коефіцієнт чутливості:

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кmin}}^{\text{ВН}}}{I_{\text{сз}}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,437}{571,9} = 5,2 > 1,5$$

де  $I_{\text{кmin}}^{\text{ВН}}$  - мінімально ймовірне значення струму при короткому замиканні на стороні ВН трансформатора.

Знаходимо вторинний струм:

$$I_{\text{сп}} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{Т,ТС}}} = \frac{571,9 \cdot 1}{15} = 38,13 \text{ А}$$

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

### Захист від перевантажень

Струм спрацювання сигналізації:

$$I_{\text{сз}} = \frac{K_{\text{ВД}} \cdot K_{\text{сзп}}}{K_{\text{П}}} \cdot I_{\text{ном}} = \frac{1,05 \cdot 1,35}{0,85} \cdot 57,7 = 96,2 \text{ А.}$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{\text{сп}} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{Т,ТС}}} = \frac{96,2 \cdot 1}{15} = 6,4 \text{ А.}$$

Час спрацювання сигналізації:

$$t_{\text{сз}} = t_{\text{сз}}^{\text{МСЗ}} + \Delta t = 2 + 0,4 = 2,4 \text{ с,}$$

де  $\Delta t = 0,4 \text{ с}$  - ступінь селективності.

Таблиця 11.1

Струм спрацювання		Коефіцієнт	Час спрацювання захисту
захисту	реле		
$I_{\text{сз}}$	$I_{\text{сп}}$	$K_{\text{ч}}$	$t_{\text{сз}}$
А	А	-	с
Відсічка			
571	38,13	1,5	-
Максимальний струмовий захист (МСЗ)			
203,6	13,6	2,1	2

Продовження таблиці 11.1

Захист від перевантажень (з дією на сигнал)			
96,2	6,4	-	2,4

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 12. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОСВІТЛЕННЯ

При проектуванні світлотехнічної частини вибирають:

- а) джерело світла;
- б) освітленість та коефіцієнт запасу;
- в) системи та види освітлення;
- г) світильники, їх розташування та висоту підвісу;
- д) визначають встановлену освітлювальну потужність цеху.

Освітлювальна установка (ОУ) повинна забезпечувати нормальне та безпечне освітлення для виконання виробничого процесу. Важливим фактором, який визначає якість освітлювальної установки являється гарна уявність предметів, які освітлюються.

Існують обов'язкові для всіх організацій правила та норми влаштування штучного освітлення. Вони визначають розміри найменшої освітленості в залежності від розміру об'єктів розміщення, ступеню контрасту предметів, що розглядаються, розряд виконуваних робіт.

Розглянемо приклад розрахунку освітлення приміщення ампульного цеху (рис. 12.1).

Приміщення знаходиться на відмітці 0,000.

*Вихідні дані:*

$$a = 6,3 \text{ м};$$

$$b = 9,3 \text{ м};$$

$$E_H = 150 \text{ лк};$$

$$h_p = 3,5 \text{ м};$$

де  $a, b$  – розміри приміщення;

$E_H$  – нормована освітленість приміщення;

$h_p$  – розрахункова висота приміщення

					ДП 2025 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Тищенко О.І.			Розрахунок та вибір освітлення	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Мащенко О.А.						
Реценз.		Іващенко Н.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						



кривої сили світла Г-1 для вибраного типу світильника коефіцієнт використання  
ОУ :  $\eta = 0,45$ .

Відстань між світильниками:

$$L = \lambda \cdot h_p,$$

$$L = 1,3 \cdot 3,5 = 4,55 \text{ м},$$

де  $\lambda$  – відношення відстані між світильниками до розрахункової висоти.

Тоді число рядків буде:

$$N = ((b - L) / L) + 1,$$

$$N = ((9,3 - 4,55) / 4,55) + 1 = 2,04 \text{ рядка.}$$

Для розрахунку вибираємо 2 ряди світильників.

Проводимо розрахунок потужності ОУ з ЛЛ при числі рядків, який дорівнює двом та при вибраних типах ламп світильників. Світловий потік одного рядка буде складати:

$$\Phi' = (a \cdot b \cdot k \cdot z \cdot E_n) / (N \cdot \eta);$$

$$\Phi' = (6,3 \cdot 9,3 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 150) / (2 \cdot 0,47) = 15426,6 \text{ лм.}$$

Розрахункове кількість світильників в рядку:

$$n_{\text{св}} = \Phi' / \Phi$$

$$n_{\text{св}} = 15426,6 / 3200 = 4,8.$$

В кожному рядку ставимо по 5 світильників.

Розрахунок фактичного освітлення:

$$E_{\text{расч}} = (\Phi_{\text{л}} \cdot N \cdot n_{\text{св}} \cdot \eta) / (k \cdot z \cdot a \cdot b),$$

$$E_{\text{расч}} = (3200 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 0,45) / (1,5 \cdot 1,1 \cdot 6,3 \cdot 9,3) = 148,95 \text{ лк.}$$

Розраховуємо відносну похибку:

$$v = ((148,95 - 150) / 150) \cdot 100\% = -0,007\%;$$

Оцінка результату розрахунку повинна знаходитись в межах:

$$-10\% < v < +20\%,$$

тобто розрахунок задовольняє умовам. Отже приміщення освітлюється двома рядками світильників ПВЛМ 2x40 з люмінісцентними лампами.

										ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Розрахунок освітлення проектуемого цеху в інших приміщеннях проводиться аналогічно даному. Розрахункові дані приведені в графічній частині.

Основне освітлення цеху, який проектується, виконано за допомогою підвісних ламп розжарювання.

#### Розрахунок електроосвітлювальної мережі

Починаючи розрахунок мережі, необхідно скласти розрахункову схему, на якій вказується навантаження та довжина усіх ділянок до точок приєднання.

Переріз проводів освітлювальної мережі повинен задовольняти наступним вимогам:

1. Проводи повинні пропускати струм освітлювального навантаження не нагріваючись більше припущених температур – розрахунок за струмом навантаження.

2. Напруга на контактах ламп не повинна бути нижче визначеної величини - розрахунок за втратою напруги.

Як приклад розглянемо розрахунок електроосвітлювання мережі для групи світильників НСП 11-100-231 з світлодіодними лампами.

Розрахунковий струм ( $I_p$ ) визначаємо виходячи з встановленої потужності всіх світильників розглядаємої ділянки  $P_y = 7,2$  кВт та напруги мережі на цій ділянці, застосовується трьохфазна чотирьох-провідна лінія. Живлення освітлювальної мережі здійснюється від двох групових щитів освітлення ЩО та ЩОА.

$$I_p = 7,2 / 0,38 = 18,9 \text{ А.}$$

Обираємо марку проводу АВРГ 4х25.

Розрахунок за втратою напруги виконуємо для нормального режиму горіння ламп, оптимальної їх світловіддачі при гарантованому терміні служби.

Відповідно ПУЕ зниження напруги у найбільш віддалених ділянках для внутрішнього робочого освітлення не повинно перевищувати 25% номінального.

$$n\% = (P_p \cdot l) / (c \cdot S);$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



## 13. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 13.1. Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання.

При розміщенні трансформатора 1000 кВА на виробничому об'єкті «Хімфармзавод» у м. Києві необхідно враховувати умови для забезпечення надійної та безпечної експлуатації. Трансформатор повинен працювати в температурному діапазоні від  $-45^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ , при цьому в умовах сильного холоду може знадобитися обігрів, а в спеку – додаткове охолодження. Вологість повітря не повинна перевищувати 80% при  $25^{\circ}\text{C}$ , щоб уникнути конденсації, а захист корпусу повинен відповідати ступеню IP54 або вище, щоб запобігти потраплянню пилу та вологи. Вентиляція повинна бути організована так, щоб забезпечувати ефективне відведення тепла, особливо в закритих приміщеннях, де потрібна система витяжної вентиляції. Місце встановлення трансформатора має бути стійким до вібрацій, для чого використовується рівний бетонний фундамент з можливим застосуванням віброгасних матеріалів. Важливо забезпечити віддаленість від житлових будівель, вибухонебезпечних зон та хімічно активних речовин, а також передбачити блискавкозахист та надійне заземлення.

Обслуговування трансформатора повинно виконуватись персоналом, який має відповідну кваліфікацію. Співробітники повинні мати групу з електробезпеки: не нижче IV для відповідальних осіб і не нижче III для обслуговуючого персоналу, а також профільну електротехнічну освіту (середню професійну або вищу). Необхідний мінімальний річний досвід роботи з електротехнічним обладнанням високої напруги, регулярне проходження атестації за правилами експлуатації електроустановок та охорони праці.

Крім того, співробітники хімфармзаводу зобов'язані мати допуск до робіт з електроустановками напругою до і вище 1000 В.

					ДП 2025 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Тищенко О.І.				Охорона праці	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Сірик А.О.							
Реценз.	Іващенко Н.В.							
Н. Контр.								
Затверд.	Балюта С.М.							
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		





ізолюючі властивості значно знижуються, тому в таких приміщеннях краще використовувати ізолюючі підставки замість килимів.

Діелектричні калоші використовуються як додаткові засоби захисту від електричного струму в закритих електроустановках з напругою до 1000 В, а також у відкритих установках у суху погоду, коли виконуються роботи із застосуванням основних електрозахисних засобів.

Крім того, калоші застосовуються для захисту від напруги кроку в електроустановках різних типів і напруг, включаючи відкриті розподільні пристрої (ВРП) та повітряні лінії електропередачі.

Діелектричні калоші одягаються поверх звичайного взуття, яке має бути чистим і сухим.

Ізолювальні підставки є платформами з дерева або пластику з діелектричним покриттям, які ізолюють працівника від землі, виключаючи ризик ураження струмом.

Застосовують їх у приміщеннях з підвищеною небезпекою та при особливо небезпечних умовах ураження струмом. Підставка є дерев'яним ґратчастим настилом розміром не менше 50x50 см без металевих деталей, укріпленим на конусоподібних фарфорових або пластмасових ізоляторах, що виготовляються спеціально для підставок.

Підставки застосовують при операціях із запобіжниками, пусковими пристроями електродвигунів, приводами роз'єднувачів та вимикачів у закритих електроустановках будь-якої напруги, якщо при цьому не користуються діелектричними рукавичками. У сирих та запилених приміщеннях вони замінюють діелектричні килими.

Ізолювальні накладки, виконані з гуми (для установок з напругою до 1000 В), призначені для запобігання випадковому контакту з струмопровідними частинами, коли неможливо встановити захисні екрани, наприклад, для ізоляції нерухомих контактів роз'єднувача, що знаходяться під напругою. В установках до 1000 В накладки також використовуються для запобігання неправильному включенню рубильників.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						





частини, розміщення килимків та підставок у робочій зоні, а також використання калош для виконання різних операцій. Обов'язково моделюються ситуації, що вимагають швидкої та безпечної реакції, наприклад, випадки непередбаченого торкання струмопровідних частин або необхідність термінового відключення електроустановки.

Після закінчення навчання проводиться перевірка знань, яка може включати теоретичний іспит та практичне тестування. Тим, хто успішно пройшов перевірку, видається посвідчення про допуск до роботи з електроустановками напругою до 1000 В, в якому вказується група з електробезпеки. Мінімальна допустима група для роботи з такими установками III, а для відповідальних за електроустановку - IV.

Інструктажі на робочому місці необхідно проводити регулярно, не рідше одного разу на шість місяців. Вони включають повторення інформації щодо безпечної експлуатації електроустановок, вивчення нових правил чи оновлень у нормативній базі, а також аналіз подій, якщо такі мали місце. Перед початком кожної зміни проводиться цільовий інструктаж, який акцентує увагу на специфіці поточних робіт, застосовуваних засобах захисту та можливих ризиках.

Крім того, навчання має супроводжуватися регулярними тренуваннями з діями в аварійних ситуаціях, такими як порятунок постраждалого від електроструму, надання першої допомоги та евакуація з небезпечної зони. Такі тренування дозволяють персоналу швидко та ефективно діяти у надзвичайних обставинах.

Кожен етап навчання, інструктажу та перевірки знань має фіксуватись у відповідних журналах.

### 13.3. Практичний розрахунок.

Розрахунок заземлюючого пристрою для нульової точки трансформатора потужністю 60 кВА і напругою 6000/380 кВ у чотирьохпровідній трифазній мережі з глухозаземленою нейтраллю. Заземлювач виконати з сталевих труб діаметром 0.05 м, довжиною 2,5 м, з розміром сталевий з'єднувальної стрічки 40

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						





## 14. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. РОЗУМНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

Розумні трансформатори, також відомі як твердотільні трансформатори (Solid-state Smart transformers), є значним кроком уперед у порівнянні з традиційними трансформаторами. Розумні трансформатори є традиційними трансформаторами, оснащеними передовими функціями виявлення, моніторингу та управління. Ці інновації дозволяють їм працювати більш ефективно та незалежно. На відміну від своїх звичайних аналогів, розумні трансформатори можуть змінювати свою вихідну потужність у режимі реального часу, динамічно реагуючи на умови навколишнього середовища та потреби в енергії, що постійно змінюються.

Вони не тільки регулюють напругу, але й підключаються один до одного через мережу Інтернет, забезпечуючи більш складне керування, підтримку автоматизації та віддалений доступ.

Розумні трансформатори використовуються в різних секторах: від альтернативної генерації енергії до електропромисловості та електромереж. Їх універсальність дозволяє здійснювати плавні переходи зі змінного струму на постійний і з постійного струму на змінний, відповідаючи вимогам сучасних енергетичних систем.

Розумні трансформатори мають низку ключових особливостей, які роблять їх важливим елементом сучасної енергосистеми. Завдяки передовим датчикам вони забезпечують моніторинг у реальному часі, надаючи дані про напругу, струм, температуру та навантаження, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в мережі. Ці пристрої здатні адаптивно керувати навантаженням, динамічно коригуючи свою роботу для оптимізації розподілу енергії та скорочення втрат. Постійне відстеження продуктивності трансформатора дозволяє своєчасно виявляти та діагностувати несправності,

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розроб.		Тищенко О.І.			Спеціальна частина. Розумні трансформатори	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Мащенко О.А.						
Реценз.		Іващенко Н.В.						
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		





## 14.1. Компоненти та схеми розумних трансформаторів

Розумні трансформатори складаються з кількох ключових компонентів, які забезпечують їх функціональність та продуктивність. Основою пристрою є активна частина, що включає обмотки та магнітопровід, як у традиційних моделях, що забезпечує перетворення напруги. Для моніторингу та контролю ключових параметрів, таких як температура, рівень навантаження, стан ізоляції та струм, використовуються інтегровані датчики. Ці датчики передають дані в систему керування як реального часу.

Цифрова система управління, що складається з програмного забезпечення та контролерів, обробляє інформацію, що надходить, і автоматично регулює параметри трансформатора для забезпечення оптимальної роботи. Додатково трансформатор оснащений інтерфейсом віддаленого моніторингу та управління, що дозволяє операторам стежити за станом пристрою, налаштовувати його параметри та отримувати звіти про продуктивність.

Вибір відповідної схеми твердотільного трансформатора залежить від конкретних вимог програми, включаючи рівень напруги, потужність, вимоги до ізоляції та економічні міркування.

Є декілька схем розумних трансформаторів, кожна з яких пропонує різні підходи до перетворення енергії та управління електричними мережами. Однією з ключових особливостей таких схем є використання ступінчастих перетворень, які дозволяють ефективно перетворювати та регулювати напругу на різних рівнях залежно від потреб системи. Менше число ступеневих перетворень призводить до підвищення ефективності та надійності.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

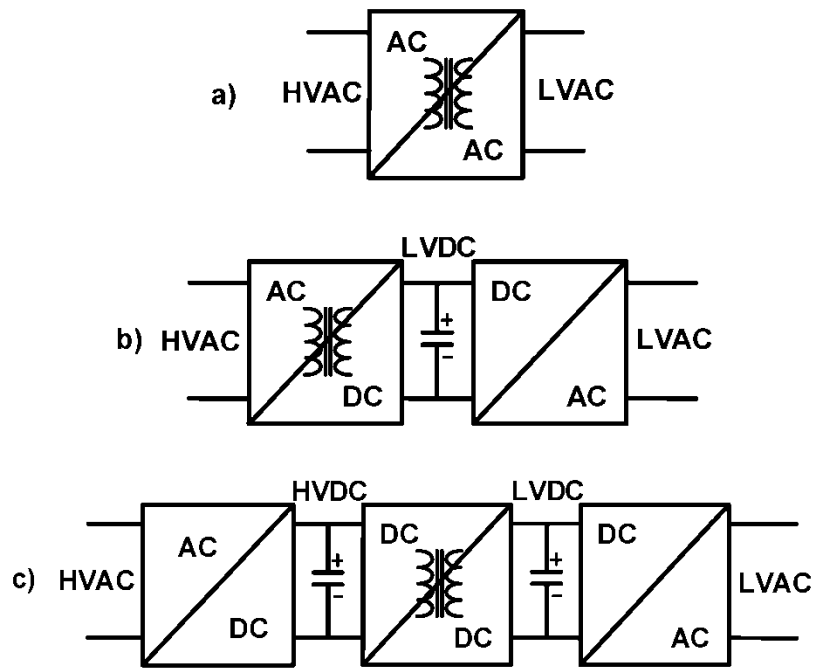


Рисунок 14.1. Схеми твердотільного трансформатора (SST):  
 (а) одноступеневий, (б) двоступеневий та (с) триступеневий.

Схема, що показана на рис. 14.1 (а) та рис. 14.2 має одноступеневу конструкцію та є найпростішою серед схем розумних трансформаторів. У цій схемі високовольтний змінний струм (HVAC) перетворюється безпосередньо на низьковольтний змінний струм (LVAC) за допомогою одного перетворювача. Завдяки мінімальному числу ступенів така схема має простоту реалізації, що знижує загальні витрати та спрощує процес управління. Однак відсутність проміжних етапів обмежує її можливості адаптації до умов мережі, що змінюються. Це може призвести до меншої стабільності та збільшення втрат під час передачі енергії на великі відстані або в умовах нестабільних навантажень.









#### 14.4. Порівняння розумних трансформаторів з традиційними аналогами

Таблиця 14.1

Порівняння розумних трансформаторів з традиційними

Характеристика	Розумні трансформатори	Традиційні трансформатори
Функції моніторингу	Моніторинг у реальному часі, віддалений доступ	Немає, потрібен огляд
Прогнозування невдач	Можливість прогнозування на основі даних	Немає, профілактичні роботи проводяться за графіком.
Регулювання напруги	Автоматичне регулювання в залежності від навантаження	Потрібне ручне налаштування або додаткові пристрої
Підтримка поновлюваних джерел енергії	Інтегрований для роботи зі змінною потужністю	Обмежена підтримка, можуть виникнути збої
Кібербезпека	Необхідність захисту від кібератак	Не вимагає цифрового захисту
Ціна	Висока	Нижче в порівнянні з розумними трансформаторами
Вимоги до обслуговування	Самодіагностика, мінімальне обслуговування	Регулярні перевірки та профілактичне обслуговування

Недоліки традиційних трансформаторів, порівняно з розумними трансформаторами:

– громіздкі розміри та вага: традиційні трансформатори відомі своїми значними розмірами та вагою, що робить їх менш гнучкими в установках з обмеженим простором.

– вплив трансформаторного масла на навколишнє середовище: використання трансформаторного масла в трансформаторах викликає екологічні проблеми.

– насичення сердечника та гармоніки: насичення сердечника у трансформаторах викликає гармоніки, які викликають високі пускові струми. Це може вплинути на стабільність енергосистеми.

– провали напруги та спотворення форми вихідного сигналу: Небажані характеристики на вхідній стороні, такі як провали напруги, відображаються

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДП 2025 141

на формі вихідного сигналу. Це може вплинути на якість потужності, яка видається трансформатором.

– високі втрати при середньому робочому навантаженні: трансформатори зазвичай проектуються для максимальної ефективності при майже повному навантаженні, але в розподільчих мережах, де середнє робоче навантаження становить близько 30%, вони зазнають відносно високих втрат.

– недосконале регулювання напруги: здатність трансформаторів регулювати напругу обернено пропорційна їхньому номіналу. На рівні розподілу, де трансформатори зазвичай менші, регулювання напруги, як правило, менш ефективне.

Розумний трансформатор – це перетворення, яке пропонує унікальні переваги, порівняно із звичайним трансформатором. Деякі з цих переваг включають менші розміри і вагу завдяки високочастотному трансформатору, одиничний коефіцієнт потужності для збільшення доступної активної потужності, стійкість до стрибків або провалів напруги з використанням ланки постійного струму, здатність підтримувати вихідну потужність протягом декількох циклів і швидке виявлення і захист від несправностей. Висока керованість розумних трансформаторів за допомогою силової електроніки знаменує собою відхід обмежень, викликаних традиційними трансформаторами.

Розумні трансформатори можуть бути адаптовані для роботи в різних умовах: від малопотужних міських мереж до високовольтних промислових мереж потужністю в сотні МВА.

Далі наведено приклади застосування розумних трансформаторів різної потужності:

Розумні трансформатори малої потужності (до 500 кВА) можуть використовуватися в житлових районах для стабілізації напруги та оптимізації розподілу електроенергії. Вони контролюють навантаження на рівні домогосподарств та офісів, запобігаючи стрибкам напруги.

						ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			





керувати навантаженнями в режимі реального часу. В результаті енергія розподіляється рівномірно, що знижує потребу надмірної генерації.

Мінімізація витрат на позапланове обслуговування та ремонт розумних трансформаторів можлива за рахунок функцій діагностики та прогнозування зносу компонентів, що знижує витрати на обслуговування обладнання та, зрештою, вартість електроенергії. За рахунок оптимізації температурного режиму та управління навантаженням збільшується термін служби розумного трансформатора, що дозволяє рідше проводити заміну обладнання та економити на капітальних витратах.

Автоматизація багатьох процесів роботи розумного трансформатора знижує необхідність ручного управління та скорочує витрати на персонал.

Наявність системи раннього оповіщення про відхилення дозволяє заздалегідь виявляти проблеми та запобігати аварійним відключенням, що знижує витрати на простої та втрати енергії при аваріях.

#### **14.5. Оцінка окупності розумного трансформатора**

Допустимо, на підстанції, яка передає 10 000 кВт·год на добу, встановлено розумний трансформатор. Використання розумного трансформатора знижує втрати електроенергії на 1% (з 3% до 2%), що дозволяє заощаджувати 100 кВт·год. Якщо вартість одного кВт·год для побутових споживачів становить 3,6 грн. (без ПДВ), то економія становитиме 360 грн. на добу або 131 400 грн. на рік. Крім того, зниження витрат на технічне обслуговування та оптимізація навантаження дозволяють додатково знизити витрати, що ще більше знижує собівартість електроенергії.

Оскільки розумні трансформатори мають вищу вартість порівняно з традиційними, важливо провести розрахунок окупності з метою оцінки їхньої економічної доцільності.

Допустимо, вартість розумного трансформатора складає 500 000 грн., включаючи встановлення та налаштування.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ЛІТЕРАТУРА

1. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник. – Вінниця: Нова книга, 2011 р. – 656 сВ.
2. І. Мілих, Т.П. Павленко. Електропостачання промислових підприємств: теорія і практика. – Харків: Національний технічний університет "ХПІ", 2016. – 272 с.
3. В. А. Попов, А. І. Замулко, В. В. Ткаченко, М. М. Федосенко, О. С. Ярмолюк. Системи електропостачання. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 92 с.
4. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
5. І.Г. Журба. Проектування систем електропостачання промислових підприємств. – К.: Ліра-К, 2017. – 288 с.
6. Михайло Кондратенко. Релейний захист та автоматика електроенергетичних систем. – К.: «КНТЕУ», 2017. – 458 с.
7. В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко. Релейний захист та системна автоматика, Вінницький національний технічний університет, 2018.
8. Олександр Кулик. Релейний захист електричних мереж та систем автоматики. – К.: Наукова думка, 2018. – 386 с.
9. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.
10. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств, дсту-н б в.2.5-80:2015, Київ, Мінрегіон України, 2016

					ДП 2025 141			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Тищенко О.І.</i>			<i>Література</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Мащенко О.А.</i>						
<i>Реценз.</i>		<i>Іващенко Н.В.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						