

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**бакалавр**

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему:

**Розробка системи електропостачання**

**електрокотельні міського мікрорайону**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-41

спеціальності 141- Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ **Фенц Ю. О.**  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ **Оробчук Б. Я.**  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ **Коваль В. П.**  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ **Коваль В. П.**  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль, 2026

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«27» січня 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва спеціальності)

студенту ФЕНЦЮ Юрію Олеговичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи електропостачання  
електрокотельні міського мікрорайону

Керівник роботи: Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «31» грудня 2025 року № 4/7-1162

2. Термін подання студентом завершеної роботи: червень 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: Типова схема електропостачання електрокотельні, графіки навантаження та споживання, схеми електропостачання від зовнішньої мережі

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Генеральний план електрокотельні з картограмою навантажень

2. Схема електропостачання електрокотельні - ВН

3. Схема електропостачання електрокотельні - НН

4. План і розріз ВРП 110 кВ

5. Схема захисту трансформатора ГПП і цехового трансформатора

6. Загальні висновки до виконаної роботи

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи хорони праці	Гурик О. Я., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 12 січня 2026 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2025	
2	Аналітичний розділ	28.02.2025	
3	Розрахунковий розділ	31.03.2025	
4	Проектно-конструкторський розділ	30.04.2025	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2025	
6	Висновки	10.06.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2025	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2025	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Фенц Ю. О.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Оробчук Б. Я.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Фенц Юрій Олегович. Розробка системи електропостачання електростанції міського мікрорайону.

Стор.– 80; рис. - 7; табл. - 25; слайдів - 13; джерел - 29; додатків - 0.

Запропонована кваліфікаційна робота допомагає вирішити проблему отримання гарячої води за рахунок тепла, що виділяється електричним струмом при проходженні його безпосередньо через воду і в подальшому застосовується для опалювання і гарячого водопостачання житлових і виробничих приміщень нового мікрорайону міста Івано-Франківська.

В першому розділі роботи проведено технічний аналіз типів електричних котелень, аналіз функціонування та призначення електростанцій та використання модульних котлів для технологічних потреб.

В другому і третьому розділі роботи виконано розрахунок силової частини електричного обладнання електричної станції і електромереж, проведено вибір схем комутації, електричних апаратів і провідників, трансформаторів і трансформаторних підстанцій.

В останньому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності при роботі з технологічним та електротехнічним устаткуванням, виконано розрахунок захисного заземлення і грозозахисту обладнання електростанції та розглянуто чинники, що визначають результат ураження електрострумом.

Ключові слова: силова мережа, електрична станція, схема комутації, трансформатор, трансформаторна підстанція.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Технічний аналіз типів електричних котелень	10
1.2 Аналіз функціонування та призначення електрокотелень	13
1.3 Використання модульних котлів для технологічних потреб	16
1.4 Висновки до розділу 1	19
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	20
2.1 Особливості досліджуваного об'єкту і джерел електропостачання	20
2.2 Розрахунок електричного освітлення	21
2.3 Розрахунок електричних навантажень електрокотельні	33
2.4 Розрахунок центру електричних навантажень електрокотельні	37
2.5 Вибір електроустаткування електрокотельні і головної понижуючої підстанції	39
2.6 Розрахунок та вибір трансформаторів	40
2.7 Вибір типу розподільного пристрою напругою 6 кВ	43
2.8 Висновки до розділу 2	45
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	46
3.1 Вибір схеми електропостачання котельні	46
3.2 Вибір мережі живлення та розподільної мережі	47
3.3 Вибір схеми комутації на високій напрузі	49
3.4 Вибір обладнання на напругу вище 1000 В	51
3.5 Вибір та перевірка шин для розподільного пристрою	57
3.6 Перевірка кабелів на стійкість до струмів короткого замикання	58
3.7 Визначення струмів короткого замикання в мережах до 1000 В	59
3.8 Вибір електричного устаткування напругою до 1000 В	62
3.9 Умови вибору провідників напругою до 1000 В	65
3.10 Висновки до розділу 3	66
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	67
4.1 Розрахунок заземлення електрокотельні	67
4.2 Грозозахист електрокотельні	70
4.3 Чинники, що визначають результат ураження електрострумом	72
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	77

## ВСТУП

Особлива роль електроенергетики у розвитку народного господарства визначається в тому, що будь який виробничий процес чи будь який вид обслуговування населення пов'язаний з використанням електричної енергії. З відкриттям енергії пари пов'язана промислова революція вісімнадцятого століття, наступний технічний прогрес виробництва і зростання продуктивності праці. Енергетичною базою розвитку прогресивного суспільства на теперішньому етапі технічного прогресу виступає електрична енергія [1].

Електроенергетична база, яку має Прикарпаття, є достатня на сьогодні та на найближчу перспективу для задоволення потреб споживачів різних груп та категорій в електричній енергії. АТ "Прикарпаттяобленерго" має можливість щорічно передавати споживачам електричну енергію в обсягах 3–3,5 млрд. кВт год. Однак, на сьогодні наявні потужності не використовуються повною мірою через цілий ряд як об'єктивних так і суб'єктивних причин (табл. 1) [2].

Таблиця 1 - Надходження, споживання та втрати на транспортування електроенергії електромережами області в 2023-2025 рр.

Показники	Одиниці виміру	В т.ч. по роках:			
		2023	2024	2025	4 міс. 2026
Надходження ел. енергії в мережу	МВт·год.	1373,382	1325,563	1269,177	475,572
Споживання (корисний відпуск)	- " -	923,246	883,236	896,408	342,445
Втрати ел. енергії	- " -	450,136	439,844	367,045	133,127
- " -	%	32,78	33,18	28,92	27,99
- " - (планові)	- " -	18,56	19,26	20,59	20,43
- " - (нормативні)	- " -	20,65	23,31	21,52	20,9

Викликані з цих причин обмеження в електроспоживанні, що вводяться кожного року, а особливо під час війни в періоди осінньо-зимових максимумів навантажень в енергосистемі, привели до того, що споживання електричної енергії в області в цілому зменшилось з 2049 млн. кВт. год. у 2022 році до 1269,2 МВт·год. у 2026 році, тобто в 1,6 рази. За прогнозом на 2027 рік в області передбачається споживання в обсязі близько 1280 МВт·год. електричної енергії.

Враховуючи економічний стан в державі внаслідок війни в цілому і в паливно-енергетичній галузі зокрема, то великих надій на значне збільшення виробництва електроенергії на електростанціях в найближчими роками не очікується. Відповідно, одним із шляхів задоволення потреб споживачів енергії при такому рівні її виробництва на електростанціях є енергозбереження.

Основні заходи щодо енергозбереження в Україні передбачені проектом Національної енергетичної програми України до 2030 року [3]. В першу чергу цей проєкт передбачає зниження питомих витрат палива, енергії на одиницю продукції, проведення структурної перебудови народного господарства за рахунок зменшення долі енергоємних галузей виробництва і збільшення долі наукоємних, малоресурсних видів продукції в їх загальному обсязі, визначення найголовніших напрямків в розвитку економіки.

Для вирішення поставлених завдань особливу роль відведено машинобудівельній галузі для організації та розширення новітнього прогресивного устаткування для впровадження нових технологій, зменшення питомих витрат палива в процесі генерації електричної та теплової енергії, послідовно виводячи з роботи морально застаріле та фізично зношене енергетичне устаткування.

В цьому аспекту передбачено розширення застосувань автоматизації технологічних процесів, регулювання оптимальних режимів виробництва та передачі електричної і теплової енергії, моніторингу температурних режимів програмованого відпуску тепла. Також розроблено заходи щодо покращення обліку використання теплової і електричної енергії, природного побутового газу, економії моторного пального.

Передбачається також використання і нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії, зокрема вітрової, сонячної та геотермальної для виробництва електричної енергії та теплопостачання, регенерації енергії з теплових відходів і видалення її з оточуючого середовища при допомозі теплових насосів і бінарних енергоустановок, гідроенергії малих річок та хвиль морського припливу, отримання біогазу з шлаків та сільськогосподарських відходів, харчової промисловості і комунальних підприємств, енергії метану вугільних родовищ, некондиційного газу, природного газу низького тиску і т.п. [4].

Основними напрямками енергозбереження на Прикарпатті є економія електроенергії в електромережах за рахунок зменшення технологічних витрат при її транспортуванні від виробника до споживача, економії електричної та теплової енергії на промислових підприємствах, в сільському господарстві та побуті під час її використання для виробничих і побутових потреб, модернізації діючих та відновлення і реконструкцію малих гідроелектростанцій краю, які свого часу були закриті.

Узагальнюючи приведений вище матеріал, можна стверджувати, що питання впровадження автоматизації технологічних процесів в електроенергетичній галузі є надзвичайно важливими на даний час, а тема кваліфікаційної роботи *«Розробка системи електропостачання електростанції міського мікрорайону»* - актуальною.

*Об'єктом* дослідження є система електропостачання електричної котельні міського мікрорайону обласного центру.

*Метою* кваліфікаційної роботи є розробка надійної та ефективної системи електропостачання електричної котельні міського мікрорайону обласного центру для побутових та комерційних споживачів якісною електроенергією згідно встановлених стандартів.

Для того, що добитися поставленої в кваліфікаційній роботі мети, було вирішено такі завдання:

- розроблено генеральний електростанції з картограмою навантажень;
- розроблено схему електропостачання електростанції зі сторони високої напруги;
- розроблено схему електропостачання електростанції зі сторони низької напруги;
- розроблено план відкритого розподільного пристрою напругою 110 кВ;
- розроблено схему захисту трансформатора головної понижувальної підстанції і цехового трансформатора;
- розроблено схему релейного захисту високовольтного двигуна.

*Практична новизна* кваліфікаційної роботи полягає в запропонованому варіанті системи електропостачання електричної котельні міського мікрорайону обласного центру для побутових та комерційних споживачів якісною електроенергією згідно встановлених стандартів і яка відповідає вимогам енергетичної ефективності та функціональності, а також є простою у використанні та адаптивною до практичних умов.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Технічний аналіз типів електричних котелень

Електричне опалення житлових приміщень в останні роки отримує широке зацікавлення в нашій державі. Це перш за все пов'язано з появою новітніх технологій та більшою доступністю електричної енергії. Значну роль відіграє і відсутність підведених газових комунікацій в місцях, віддалених від енергетичних центрів. При цьому будівництво постійно набирає темпи і, як правило, саме в тих місцях, де газопостачання на даний час відсутнє [5].

Розрізняють декілька видів електричних теплових генеруючих агрегатів, зокрема значну популярність отримали електричні котли. Вони є дещо дешевшими за газові установки і не вимагають оформлення дозвільної документації (правда, це мова йде не про всі моделі). Такі електричні котли можна встановлювати на підлозі або кріпити на стіну і для них не вимагається обладнання димоходу та спеціального відокремленого приміщення. Такі котли є доволі компактними, оснащені електронними системами керування, що спрощує процес їх експлуатації.

Електричне опалення житлових будівель, в тому числі за допомогою котлів, абсолютно безпечне, оскільки там відсутнє відкрите полум'я. Крім того, при організації такого процесу обігріву не відбувається жодного забруднення оточуючого середовища. Ще однією перевагою вважається практично цілкова відсутність шумів, тільки іноді можуть бути відчуватися звуки ввімкнення і вимкнення системи. Варто також відзначити і наявні недоліки, зокрема, значну витрату електрики, до того на даний час в Україні електропостачання взагалі може відключатися аварійно і перериватися на тривалий час. Треба також відмітити, що коефіцієнт корисної дії електричних котлів не є дуже високим [6].

Електричні котельні можуть розділити на наступні типи:

- вбудовані у приміщення;
- прибудовані до будівлі;
- розташовані окремо;

- дахові котельні;
- розташовані у підвальних приміщеннях (при дотриманні спеціальних вимог).

В залежності від цільового призначення електричні котельні поділяють на такі категорії [7]:

- електроопалювальні котельні;
- електротехнологічні котельні.

Електроопалювальні котельні використовуються для нагрівання теплоносія для наступних потреб:

- здійснення опалення;
- здійснення вентиляції;
- здійснення гарячого водопостачання (побутового та технологічного).

Для водогрійних опалювальних електричних котелень в якості теплоносія використовують воду, суміші на основі етиленгліколю і ін.

Водогрійні електричні котельні (котли) працюють з наступними температурами нагрівання води:

- до температури 95°C;
- до температури 115°C;
- до 1 температури 30°C;
- до температури 150°C.

Тиск в системі може становити від 0,01 МПа до 1,0 МПа.

Для парових опалювальних котелень в більшості випадків використовується тільки вода. Парові електричні котельні працюють при температурі до 180°C та робочим тиском до 1,0 МПа.

Котельні можуть працювати в таких технологічних циклах [8]:

- з прямими витратами пару без повернення конденсату;
- з поверненням конденсату.

Електротехнологічні котельні використовуються для виробництва пару для технологічних потреб з такими основними характеристиками:

- робоча температура - до 180°C;
- робочий тиск коливається від 0,05 до 10 МПа;
- з прямими витратами пару або з частковим поверненням конденсату.

Пар зазвичай використовується стерильний, а електричні котельні застосовуються для таких потреб:

- для догрівання або нагрівання теплоносія у відкритих і незалежних системах тепlopостачання будівель (опалення, гаряче водopостачання, вентиляція, технологічні потреби);
- для автономного тепlopостачання будівель у режимі акумуляції тепла в баках акумуляторів для систем опалення, гарячого водopостачання, вентиляції та технологічних потреб;
- для отримання технологічного пару масою від 8 до 2500 кг на годину з робочою температурою до 180°C.

Електричні котельні, що використовуються для нагрівання (догрівання) теплоносія у відкритих і незалежних системах тепlopостачання забезпечують наступні операції:

- догрівання теплоносія на опалення, вентиляцію, гаряче водopостачання та технологію піл час невиконання температурного графіку в міських теплових мережах;
- автономну роботу котелень для опалення, вентиляції, гарячого водopостачання і технологічних потреб піл час аварій в тепломережах;
- забезпечення гарячого водopостачання піл час відключень тепломереж;
- опалення будівель у перехідний період до початку офіційного опалювального сезону (дитячі садочки, пологові будинки, лікарні, будинки пристарілих, спеціалізовані санаторії і ін.);
- теплове забезпечення об'єктів, що віддалені від центральних тепломереж;
- теплове забезпечення об'єктів періодичної дії;
- теплове постачання об'єктів з підвищеними екологічними та санітарними вимогами (наприклад, зони відпочинку);

- парове постачання об'єктів, що потребують швидкого отримання пари та широкого діапазону її споживання (технологічні процеси, приготування кормів, стерилізація, пральні відділення і ін.).

## **1.2 Аналіз функціонування та призначення електрокотелень**

Електричні котельні зазвичай призначені для наступних цілей:

- для догрівання або нагрівання теплоносія у відкритих і незалежних системах теплового постачання будівель (для потреб опалення, гарячого водопостачання, вентиляції і технологічних потреб);

- для автономного теплового постачання будівель у режимі акумуляції тепла в акумуляторних баках для систем опалення, гарячого водопостачання, вентиляції та технологічних потреб;

- для отримання технологічного пару вагою від 8 до 2500 кг на годину з робочою температурою до 180°C.

Електричні котельні, що використовуються для догрівання (нагрівання) теплового носія у відкритих та незалежних системах теплового постачання, дозволяють забезпечити наступні функції [9]:

- догрівання теплового носія на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання та технологію під час невиконання температурного графіку в міських теплових мережах;

- автономну роботу котелень для опалення, вентиляції, гаряче водопостачання і технологічних потреб під час аварій в тепломережах;

- забезпечення гарячого водопостачання під час планових відключень тепломереж;

- опалення будівель під час перехідного періоду до початку офіційного опалювального сезону (дитячі садочки, пологові будинки, лікувальні заклади і ін).

Для розміщення обладнання котельної, як правило, не потрібно будувати окремі будівлі - все обладнання можна розмістити в існуючих приміщеннях, підвалах або в приміщеннях діючих котелень.

Електричні котельні займають мінімальні площі, наприклад, котельня потужністю в межах 200 кВт (0,172 Гкал) можна розмістити на площі 6 м<sup>2</sup>, 400 кВт - 20÷28 м<sup>2</sup>, 1600 кВт - 40÷50 м<sup>2</sup>. Такі котельні дозволяють забезпечити обігрів приміщень площею 2000 м<sup>2</sup>, 4000 м<sup>2</sup>, 16000 м<sup>2</sup> відповідно.

Коефіцієнт корисної дії електричних котелень може досягати значення 0,99. Баки-акумулятори тепла (для акумулюючих котелень) наземного та підземного виконання в більшості випадків розміщують біля самої котельні. В якості баків-акумуляторів зазвичай використовують утеплені металеві цистерни ємністю 1, 2, 5, 16, 25, 50 м<sup>3</sup> з розрахунку від 16 до 25 м<sup>2</sup> на 100 кВт (або 160-250 л/1кВт) встановленої електричної потужності котлів.

Накопичення теплової енергії у вигляді гарячої води здійснюється за допомогою її нагрівання у електричних котлах у нічний час з 23.00 до 06.00 години, тобто протягом 7 годин, та подальшим її зберіганням у баках-накопичувачах.

У зв'язку з обмеженим часом використання дешевої електричної енергії за нічним тарифом для акумулювання теплової енергії у кількостях, що дозволяє забезпечити нормативне теплозабезпечення об'єкту протягом всієї доби, необхідно збільшити електричну потужність котельні на величину, що 3,45 рази (24 год./7 год.) перевищує встановлену потужність котельні під час її цілодобової роботи.

Наприклад, при розрахункових тепловтратах в межах 100 кВт (або 0,086 Гкал/год) електрична потужність теплової акумулюючої котельні буде становити:

$$24 \text{ год.} / 7 \text{ год.} = 3,45 \times 100 = 345 \text{ кВт,}$$

а величина заакумуляованої в нічний енергії буде рівною:

$$345 \times 7 \text{ год.} = 1715 \text{ кВт год.}$$

Протягом наступних 17 год. доби теплову енергію у виді гарячої води, заакумуляованої у баці-акумуляторі ємністю 25 тонн, можна буде витратити на теплове забезпечення об'єкту.

Обладнання автоматики електричних котелень забезпечує наступні функції:

- автоматичне регулювання температури теплоносія відповідно до заданого температурного графіку;
- автоматичне регулювання заданої температури води на виході із котла;
- автоматичне регулювання тиску в котельні і системі теплового постачання;
- захист котла від перегрівання та перевищення тиску;
- ввімкнення котлів за заданою часовою програмою;
- ввімкнення котлів тільки при ввімкненому циркуляційному насосі;
- автоматичне підживлення води в системі та підтримку рівня води в баку акумулятора (для акумулюючих котелень);
- звукову і світлову сигналізацію аварійного відключення котла, зупинки насоса і затоплення котельні;
- ввід резервного насоса під час зупинки робочого насоса;
- захист котла у випадку перекосу фаз, перевищення струму понад номінальний;
- захист електромережі і обладнання від корозії та магнітну обробку води.

Використання щитів двотарифного обліку електричної енергії дозволяє суттєво знизити затрати на опалення за рахунок різниці у ціні електричної енергії за рахунок нічного часу із 23.00<sup>о</sup> до 7.00 години і денного часу - з 07.00 до 23.00 години.

Можливе використання комбінованих котлів, які працюють на електричній енергії, твердому паливі і рідкому паливі, газі, що суттєво підвищує надійність теплового постачання.

Номенклатурний ряд потужностей котлів зарубіжного виробництва доволі широкий, але їхня вартість може бути в 5-10 разів вищою за вітчизняні.

Електричні котельні можуть бути укомплектовані водогрійними котлами наступної потужності:

на напругу 0,4 кВ - 3, 4, 5, 9, 12, 15, 18, 24, 30, 45, 57, 60, 90, 100, 105, 115, 120, 144, 201, 250, 400, 1000 кВт;

- на напругу 6(10) кВ - 1; 1,6; 2,5; 4; 6,0; 10 МВт;

- або паровими котлами від 8 кг пару на 1 год. до 1 тони (напруга 0,4 кВ або продуктивність 2,5 т пари на годину на напрузі 6 (10) кВ).

Теплова продуктивність електричних котелень не обмежується ніякими параметрами, окрім дозволеної споживачу електричної потужності.

Споживана потужність водогрійних електричних котелень зазвичай регулюється в автоматичному режимі або вручну, а парових котлів – тільки в автоматичному режимі. Для підвищення надійності теплового постачання в більшості випадків рекомендують встановлювати не менше двох котлів, один із яких має бути резервним.

Електрична котельня практично завжди готова до роботи, а під час робочого режиму не вимагається постійної присутності обслуговуючого та технічного персоналу.

Відхилення від заданого режиму роботи, що вимагає втручання фахівця, фіксується на шафі керування котельні з наступним викликом обслуговуючого персоналу за допомогою звукової сигналізації або каналу GSM.

Експлуатацію електричних котелень, як правило, здійснюють тільки у відповідності з ПТЕЕС («Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів») [10].

### **1.3 Використання модульних котлів для технологічних потреб**

Модульні електричні котли здебільшого використовуються для здійснення опалення промислових, громадських та житлових приміщень, а також для забезпечення гарячою водою до температури 95°C (120°C) технологічних процесів в промисловості, комунальному, а також сільському господарстві [11].

Модульні електричні котельні компонуються з утеплених транспортбельних блоків модулів, які складаються з електродних (ТЕНових) індукційних котлів, електричного щита з апаратурою і приладами керування, контролю, автоматики та сигналізації, насосів з системою трубопроводів і арматурою.

Повна комплектність модульного електричного котла включає в себе:

- циркуляційний насос;

- мембранний розширювальний бак;
- замково-регулююча і вимірювальна апаратура;
- група безпеки для системи опалювання.

Усе вище перераховане обладнання модульного електричного котла монтується на електричній котельні (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Типова комплектація і потужність модульних котелень

Тип котельної	К-ть котлів	Потужність котлів, кВт	Загальна потужність, кВт	Об'єм при-міщення, що обігривається, м <sup>3</sup>	Теплове виробництво, Гкал/год.	Габаритні розміри (LS×H), мм
МЕК-200/0,4	2	100	200	6 660	0,172	за проектом
МЕК-320/0,4	2	160	320	10 656	0,275	за проектом
МЕК-500/0,4	2	250	500	16 650	0,430	за проектом
МЕК-800/0,4	2	400	800	26 640	0,688	за проектом
МЕК-1000/0,4	4	250	1000	33 300	0,860	за проектом
МЕК-1600/0,4	4	400	1600	53 280	1,376	за проектом
МЕК-2000/0,4	5	400	2000	66 600	1,720	за проектом
МЕК-2400/0,4	6	400	2400	79 920	2,064	за проектом
МЕК-3000/0,4	6	500	3000	99 900	2,579	за проектом

Вказана потужність 3000 кВт не є максимальною, можливе виготовлення котельної більшої потужності. Комплектність кожної електричної котельні розробляється за технічним завданням замовника відповідно до необхідної потужності.

Можливий автоматичний режим функціонування без постійного обслуговуючого персоналу, коли конструкція електричної котельної забезпечує повний захист і безпеку.

До складу електричної котельні в залежності від призначення і вимог замовника може входити:

- блок котлів;
- блок мережевих насосів;
- блок підживлювальних насосів;

- блок автоматичного регулювання тиску та температури теплоносія;
- ввідний розподільний щит напругою 0,4 кВ.

*Автоматизовані модульні електричні котельні.* Усе устаткування таких електричних котелень монтується в транспортабельному будівельному модулі, конструкція якого передбачає можливість переміщення котельної установки до місця функціонування на стадії цілковитої заводської готовності до експлуатації.

Приміщення автоматизованої модульної електричної котельні поділяється на три відділення:

- відділення електричного силового устаткування з технічними отворами в підлозі для підведення силових кабелів на ввідний розподільний щит силової установки (марку, переріз та довжину кабелю живлення розраховує проєктна організація), можливе верхній ввід силових кабелів;
- відділення котельні, де розміщуються електродні котли, відгороджено суцільною сітчастою стіною з боку щитової установки і сітчастою стіною з дверним отвором зі сторони відділення допоміжного устаткування;
- відділення допоміжного устаткування, де встановлено наступне обладнання: мережеві і підживлювальні насоси, установка автоматичного дозування, теплові обмінники, шафа автоматичного керування і сигналізації.

У обох торцевих стінах модуля передбачено встановлення дверей.

У комплекті постачання для гарячого водопостачання передбачено використання бака-акумулятора хімічно очищеної води в ізольованому стані, який монтується безпосередньо біля модуля, його об'єм визначається проєктом.

Управління роботою і контроль котлових агрегатів здійснюється за допомогою комплексу устаткування автоматичного управління з використанням програмованих логічних контролерів, які можуть автоматично підтримувати в заданих межах температуру мережевої води, гарячого водопостачання, а також

ввімкнення продування котлових агрегатів, автоматичного ввімкнення резерву насосних груп.

Електрична котельня не вимагає постійної присутності технічного персоналу, присутня можливість дистанційного керування і контролю з комп'ютеризованого робочого місця диспетчера.

Обсяг робіт на місці монтажу включає в себе наступні операції:

- проведення установки модуля в проектне положення;
- виконання підключення силових кабелів напругою 0,4 кВ;
- проведення підключення води підживлення;
- процес відведення продувальної води в каналізацію;
- процес підключення трубопроводів теплової мережі;
- виконання підключення на контур заземлення;
- виконання налагоджувальних робіт;
- виконання установки та підключення бака-акумулятора.

#### **1.4 Висновки до розділу 1**

1. Проведено технічний аналіз типів електричних котелень, які дешевшими за газові установки і не вимагають оформлення дозвільної документації. Такі котли є доволі компактними, оснащені електронними системами керування, що спрощує процес їх експлуатації

2. Виконано аналіз функціонування та призначення електричних котелень, які практично завжди готові до роботи, а під час робочого режиму не вимагають постійної присутності обслуговуючого та технічного персоналу.

3. Розглянуто використання модульних котлів для технологічних потреб в промисловості і побутовому секторі, які можуть функціонувати в автоматичному режимі без постійного обслуговуючого персоналу, а конструкція самої електричної котельної забезпечує повний захист і безпеку.

## 2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Особливості досліджуваного об'єкту і джерел електропостачання

Передбачається, що електрична котельня буде складовою загальної системи технічного водопостачання. Її призначення - отримання гарячої води за рахунок тепла, що виділяється електричним струмом під час його проходження безпосередньо через воду і в подальшому використовувати для опалювання і гарячого водопостачання опалювальних систем житлових і виробничих приміщень (як закритих і відкритих) нового мікрорайону міста Івано-Франківська, який розбудовується відповідно до генерального плану забудови міста в районі торговельно-розважального центру та міської лікарні.

Згідно правил улаштування електроустановок [12] електрокотельня є споживачем першої категорії і на ній планується встановити два силові трансформатори потужністю 40 МВт, живлення яких буде здійснюватися з ВРП-110 кВ міських електромереж повітряною лінією 110 кВ від різних джерел живлення.

Основним устаткуванням електрокотельні є електродний водонагрівний котел типу КЕВ-10000/6-3Ц (6 штук) з наступними параметрами:

- $P_{ном} = 10000$  кВт,  $U_{ном} = 6$  кВ,  $J_{ном} = 920$  А;
- межі регулювання потужності -100-50%  $P_{ном}$ ;
- температура води на виході з котла – 150 °С;
- номінальна витрата води через водонагрівний котел - 107 м<sup>3</sup>/год;
- розрахунковий тиск води - 1,0 МПа (10,0 кгс/см<sup>2</sup>);
- виробництво тепла - 8,6 ГКал/год;
- насос мережний 1 ступені - 2 шт.: тип СЕ-800-100-11, тип електродвигуна ДАЗО4-400ХК-4У3,  $Q = 800$  м<sup>3</sup>;  $H = 1,0$  МПа;  $P_{ном} = 315$  кВт;  $n = 1500$  об/хв.;  $U_{ном} = 6$  кВ;
- насос мережний 2 ступені - 2 шт.: тип СЕ-800-55-11, тип електродвигуна ДАВ-400-4У3,  $Q = 800$  м<sup>3</sup>;  $H = 0,55$  МПа;  $P_{ном} = 400$  кВт;  $n = 1500$  об/хв.;  $U_{ном} = 6$  кВ.

Допоміжне устаткування:

- конденсатний насос - 2 шт.:  $P_{ном} = 5,5$  кВт;  $n = 2850$  об/хв;  $U_{ном} = 0,4$  кВ;
- насос акумуляторних баків - 2 шт.:  $P_{ном} = 15$  кВт;  $n = 1450$  об/хв;  $U_{ном} = 0,4$  кВ;
- дренажний насос - 2 шт.:  $P_{ном} = 7,45$  кВт;  $n = 2900$  об/хв;  $U_{ном} = 0,4$  кВ;
- насос охолодження підшипників - 2 шт.:  $P_{ном} = 11$  кВт;  $n = 1450$  об/хв;  $U_{ном} = 0,4$  кВ.

## 2.2 Розрахунок електричного освітлення

### *Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку*

Правильне електричне освітлення допомагає підвищити продуктивність праці, зберегти зір. При проектуванні електричного освітлення потрібно брати до уваги і економію електроенергії. Рациональне штучне освітлення повинно забезпечувати достатню, рівномірну, без тіней, освітленість робочої поверхні, відсутність сліпучої дії джерел світла і постійність освітленості в часі [13].

Характеристика необхідної освітленості залежить від величини точності роботи, від розмірів оброблюваних деталей, від освітленості фону та контрасту між деталлю та фоном.

Метод коефіцієнта використання світлового потоку використовують при розрахунку загального освітлення у випадку симетричного розташування світильників. За цим методом спочатку проводять розрахунок світлового потоку однієї лампи за необхідною освітленістю, яку беруть з довідкових даних, і за параметрами приміщення. Потім за отриманим світловим потоком вибирають або потужність лампи, або коректують їх число [14].

Розрахунок за цим методом проведемо для вибору параметрів освітлення в електричному котельному відділенні. Оскільки висота приміщення відділення насосів досить велика (за планом 7 метрів) і температура усередині приміщення постійна, то для загального освітлення скористаємося світильниками з лампами типу ДРЛ.

Вибираємо тип світильника РСП08, його дані з приведені в [14]. Даний вид світильників рекомендований для виконання загального освітлення усередині та зовні приміщень в сухому і вологому середовищах.

Тип пускорегулюючої апаратури:	1Н250І37-100ХЛ2
Тип лампи:	ДРЛ 250
Тип патрона:	Е4 ЦКБ-03 ТУ 16-675.121-85
Захисний кут:	15 град
ККД з дифузійним відбивачем:	75 %
Коефіцієнт потужності не нижче:	$\cos \varphi = 0.53$
$P_{\lambda} = 250 \text{ Вт}; \quad \Phi_{\lambda} = 11000 \text{ Лм [14].}$	

Визначимо розрахункову висоту підвісу (рис. 2.1), якщо:

$h_h = 6,6 \text{ м}$  - висота світильників над підлогою;

$h_c = 0,4 \text{ м}$  - висота нависання світильників;

$h_p = 0,8 \text{ м}$  - висота робочої поверхні;

$H = 7,0 \text{ м}$  - загальна висота будівлі.

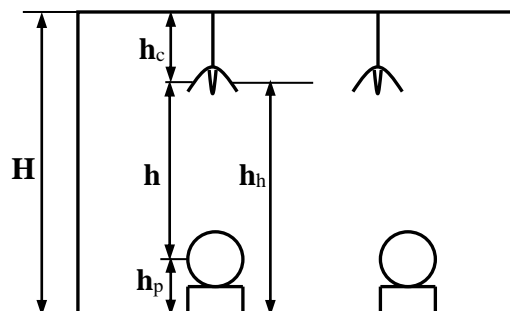


Рисунок 2.1 - Висота підвісу світильників

Тоді розрахункова висоту можна визначити за формулою:

$$h = H - h_c - h_p$$

$$7 - 0.4 - 0.8 = 5.8 \text{ м}$$

Оскільки висота світильників над підлогою перевищує 5 метрів, то обслуговування світильників необхідно проводити із спеціально обладнаного майданчика на кран-балці.

За приведеними в [14] даними оптимальні співвідношення відстані між світильниками і висотою їх підвісу можна визначити оптимальну відстань між світильниками при відомій висоті підвісу.

$$\frac{L}{h} = 1.5 \quad \Rightarrow \quad L = 1.5 \times h \quad \Rightarrow \quad L = 1.5 \times 5.8 = 8.7 \text{ м.}$$

Тепер, знаючи відстань між світильниками, знайдемо кількість рядів і світильників в рядах.

$A = 17$  м – ширина електрокотельного відділення.

$B = 62$  м – довжина електрокотельного відділення.

Кількість рядів  $n_1 = \frac{A}{L} = \frac{17}{8.7} = 1.95$  рядів або  $n_1 = 2$  ряди.

Кількість світильників у ряді  $n_2 = \frac{B}{L} = \frac{62}{8.7} = 7.13$  або  $n_2 = 7$  штук.

Тоді загальна кількість світильників  $N = n_1 \times n_2 \Rightarrow N = 2 \times 7 = 14$  штук.

Визначимо світловий потік лампи за формулою:

$$F_l = \frac{E \times S \times Z \times K_3}{N \times K_B},$$

де  $E = 100$  лк - освітленість для машинного залу з постійним черговим персоналом і з трубопроводами усередині приміщення;

$S = A \times B = 17 \times 62 = 1054 \text{ м}^2$  - площа залу;

$Z = 1,15$  – коефіцієнт мінімальної освітленості;

$K_3 = 1,5$  – коефіцієнт запасу.

Для визначення коефіцієнта використання знайдемо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \times B}{h \cdot (A + B)} = \frac{17 \times 62}{h \cdot (17 + 62)} = 2.3.$$

За довідковими даними знайдемо коефіцієнт світлового потоку, який змінюється залежно від забарвлення стін і стелі, індексу приміщення і типу світильника [14]. Для коефіцієнтів  $P_n = 50\%$ ,  $P_c = 30\%$ ,  $P_p = 10\%$   $K_B = 0.76$ .

Підставляємо всі дані у формулу для визначення необхідного світлового потоку однієї лампи:

$$F_{\text{л}} = \frac{E \times S \times Z \times K_3}{N \times K_{\text{И}}} = \frac{100 \cdot 1054 \cdot 1.15 \cdot 1.5}{14 \cdot 0.76} = 17087.88 \text{ лм.}$$

Оскільки отриманий світловий потік дасть тільки лампа більшої потужності, то необхідно або збільшити потужність лампи (відповідно і світловий потік, що створюється однією лампою), або збільшити число світильників. Вибираємо другий варіант, оскільки збільшення числа світильників дає більш рівномірний світловий потік і менший показник засліпленості, тобто  $P_{\text{л}} = 250$  Вт,  $\Phi_{\text{л}} = 11000$  лм. Перерахуємо тепер кількість світильників, виходячи зі світлового потоку однієї лампи:

$$N = \frac{100 \cdot 1054 \cdot 1.15 \cdot 1.5}{11000 \cdot 0.76} = 21.8 \text{ штук.}$$

Приймаємо, що  $N = 22$  штуки.

Світильники рівномірно розподіляємо по освітлюваній поверхні:

$$N_1 = 2 \text{ ряди, } L_1 = \frac{A}{N_1} = \frac{17}{2} = 8.5 \text{ м} - \text{відстань між рядами;}$$

$$N_2 = \frac{N}{N_1} = \frac{22}{2} = 11 \text{ штук (світильників в ряду), } L_2 = \frac{B}{N_2} = \frac{62}{11} = 5.6 \text{ м.}$$

$$\text{Відстань від стіни до першого ряду: } \frac{L_1}{2} = \frac{8.5}{2} = 4.25 \text{ м.}$$

$$\text{Відстань до першого світильника в рядах } \frac{L_2}{2} = \frac{5.6}{2} = 2.8 \text{ м.}$$

Таким чином, визначимо остаточну кількість світильників:

$$N_{\text{заг}} = N_1 \cdot N_2 = 2 \cdot 11 = 22 \text{ штук.}$$

Проведемо розрахунок установленої потужності:

$$P_{\text{маи}} = \frac{N_{\text{заг}} \cdot P_{\text{л}}}{1000} = \frac{22 \cdot 250}{1000} = 5.5 \text{ кВт}$$

Оскільки використовуються світильники з лампами типу ДРЛ, то окрім потужності ламп, необхідно враховувати втрати потужності в дроселі. Це досягається введенням коефіцієнта 1,3:

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{маи}} \cdot 1.3 = 5.5 \cdot 1.3 = 7.15 \text{ кВт.}$$

### Світлотехнічний розрахунок

Для перевірки правильності вибору світильників, ламп і місця їх установки в приміщенні можна використати точковий метод, при якому розташуємо світильники на плані за розрахованими вище даними (рис. 2.2).

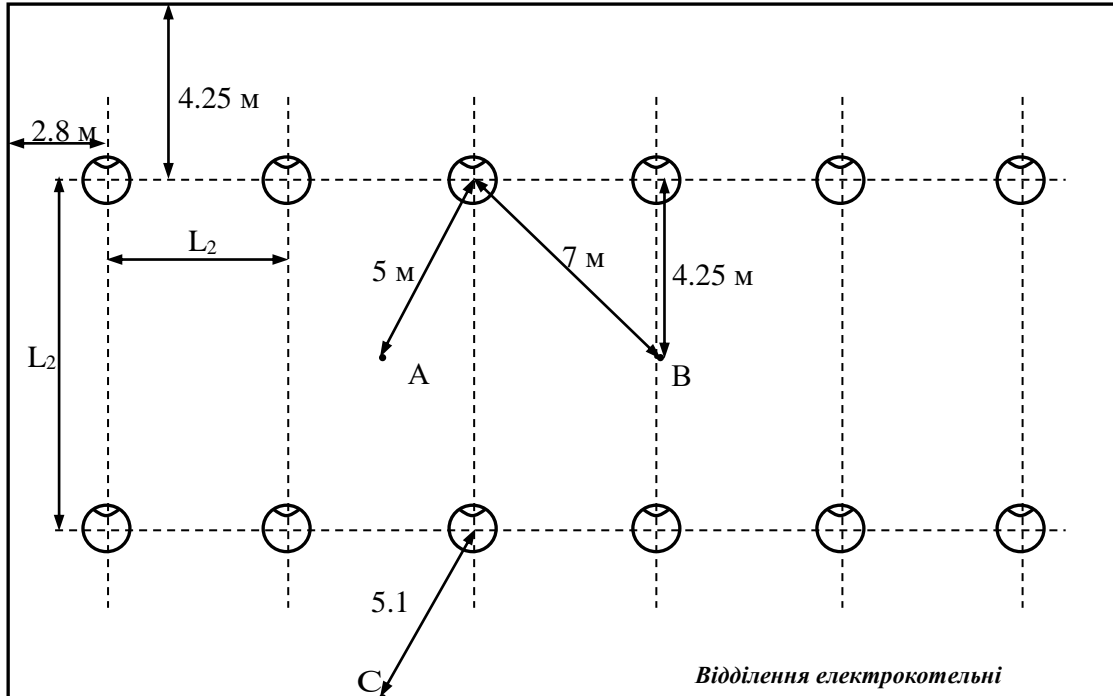


Рисунок 2.2 - План розташування світильників

Точка А. За планом розташування світильників визначимо відстань до розрахункової крапки:  $d_a = 5$  м,  $h = 5.8$  м. По кривим просторових ізолюкс для світильників типу РСП08, знаючи вказану вище відстань і висоту підвісу, визначимо умовну освітленість:  $E_{a1} = 3$  лк [14].

Оскільки точку А освітлюють 4 світильники, що знаходяться на однаковій від неї відстані, то  $\sum E = E_{a,1} \cdot 4 = 3 \cdot 4 = 12$  лк.

Приймаємо  $\mu = 1,3$  як для світильника з переважно прямим світлом:

$$E_{a,факт} = \frac{\mu \cdot \Phi_{л}}{1000} \cdot \sum E = \frac{1.3 \cdot 11000}{1000} \cdot 12 = 171.6 \text{ лк.}$$

З розрахунку видно, що освітленість в точці А прийнятна.

Дані розрахунку освітленості в інших точках проводимо аналогічно, а результати фіксуємо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Розрахунок освітленості в контрольних точках

Контрольна точка	Розрахункова висота $h$ , м	Відстань від точки до світильника, м	Освітленість, $e$ , умовн. од.	Кількість світильників, шт.	$E_{факт}$ , лк
<b>A</b>	5.8	$d_1=5$	3	4	171.6
					$\Sigma_{A}=171.6$
<b>B</b>	5.8	$d_1=4.25$	5	2	143
	5.8	$d_2=7$	1	4	57,2
					$\Sigma_{B}=200.2$
<b>C</b>	5.8	$d_8=5,1$	2.9	2	82,94
					$\Sigma_{C}=80,8$

З трьох перевірених точок найгірші показники освітленості в отримали точці С. Перевіримо її на можливе відхилення від норми.  $E = 100$  лк – нормована освітленість для машинного залу з постійним черговим персоналом і з трубопроводами усередині приміщення. Відхилення освітленості в точці С:

$$\Delta E_C = \left( 1 - \frac{E_C}{E_{НОРМ}} \right) \cdot 100 = \left( 1 - \frac{82.94}{100} \right) \cdot 100 = 17.06\% .$$

Порівняємо значення освітленості в точці С з нормованим значенням. Допустиме відхилення становить 20%. Отже, освітленість в точці С занижена на 17,06%, що є допустимим.

*Визначення коефіцієнта нерівномірності освітленості.* Коефіцієнт нерівномірності визначається за найбільшими і найменшими освітленими перевіреними точками приміщення:

$$\beta = \frac{\Sigma_{C.min}}{\Sigma_{B.max}} = \frac{82.94}{200.2} = 0.41 ,$$

$$\beta_{доп} = 0,3.$$

Отже, освітлення приміщення відповідає вимогам [14], оскільки  $\beta > \beta_{доп}$ .

*Розрахунок електроосвітлення методом питомої потужності.* Цей метод застосовують для розрахунку загального рівномірного освітлення. Відно-

шення сумарної потужності ламп, встановлених в приміщенні, до площі приміщення визначає питому потужність освітлення:

$$P_0 = \frac{P}{s} \left[ \frac{Вт}{м^2} \right].$$

Попередньо обчислені значення питомої потужності можна використовувати для знаходження необхідної потужності ламп без детального світлотехнічного розрахунку:

$$P = P_0 \cdot s, \text{ Вт.}$$

Тоді потужність однієї лампи:

$$P_{л} = \frac{P_0 \cdot s \cdot k}{n},$$

де  $n$  – число ламп;  $k$  – коефіцієнт запасу.

За допомогою цього методу виконаємо розрахунок освітлення в інших приміщеннях. Дані для розрахунку, зокрема норми освітленості в приміщеннях, беремо з [15].

Для наочності сказаного проведемо вибір освітлення в майстерні і визначимо освітленість у вентиляційній камері за довідковими даними при установці світильників з лампами розжарювання:  $E_{НОРМ} = 75$  лк.

Виберемо тип світильника НСП11У200  $P_{л.в} = 200$  Вт. Площа приміщення за планом цеху рівна:  $A_m = 5$  м,  $B_m = 6$  м. Тоді  $S_m = A_m \cdot B_m = 5 \cdot 6 = 30$  м<sup>2</sup>.

За таблицями визначимо освітленість для даного приміщення. При висоті приміщення 3 метри  $w = 28.1 \frac{Вт}{м^2}$ .

Визначимо установлену потужність:  $P_{УСТ.В} = w \cdot S_B = 28.1 \cdot 30 = 843$  Вт.

Визначимо кількість світильників:  $\Pi_B = \frac{P_{УСТ.В}}{P_{л.в}} = \frac{843}{200} = 4,22$  штук. Оста-

точно вибираємо  $\Pi_B = 4$  світильники.

Встановлена потужність:  $P_{УСТ.В} = \frac{\Pi_B \cdot P_{л.в}}{1000} = \frac{4 \cdot 200}{1000} = 0.8$  кВт.

Число світильників і сумарну установлену потужність в решті приміщень знаходимо аналогічно і дані розрахунку заносимо в підсумкову табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Світильники і встановлена потужність в електрокотельні

	Електро-котельне відділення	Майстерня	Пульт управління	Коридор	Склад	КТП	РП 6 кВ	РП 0.4 кВ
Тип світильника	РПС 08	НСП 11 У 200	ЛБ-40,65	ЛБ-40,65	НСП 11 У 200	НСП 11 У 200	ЛБ-40,65	ЛБ-40,65
Кількість світильників	22	4	8	5	4	18	24	18
Встановлена потужність, кВт	7.15	0.8	0.32	0.2	0.8	3.6	0.96	0.72

Оскільки повна потужність ламп розжарювання дорівнює їх активній потужності  $P$ , то визначимо сумарну потужність ламп розжарювання:

$$S_{ЛН} = 0.8 + 0.8 + 3.6 = 5.2 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Визначимо потужності ламп ДРЛ і люмінесцентних ламп.

$$S_{ДРЛ} = \frac{P_{ДРЛ}}{\cos \varphi_{ДРЛ}} = \frac{7.15}{0.53} = 13.5 \text{ кВ}\cdot\text{А}; \quad S_{ЛЮМ} = \frac{2.2}{0.92} = 2.4 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Тоді повна потужність на освітлення буде:

$$S_{\Sigma ОСВ} = S_{ЛЮМ} + S_{ЛН} + S_{ДРЛ} = 2.4 + 5.2 + 13.5 = 21.1 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Враховуючи коефіцієнт попиту на освітлення, який в середньому рівний 0.95:

$$S_{РОЗР} = 0.95 \cdot S_{\Sigma ОСВ} = 0.95 \cdot 21.1 = 20.05 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Повна потужність аварійного освітлення:

$$P_{АВАР} = 2.2 + 0.4 + 0.8 + 0.6 + 0.4 + 1.2 + 2 + 1.6 = 9.2 \text{ кВт}.$$

Оскільки для аварійного освітлення рекомендовано використання ламп розжарювання [14], то встановимо додаткові світильники аварійного освітлення в приміщенні відділення електричної котельні, а в останніх аварійне освітлення забезпечуватимуть світильники з числа робочих, щоб у разі відмови робочого освітлення забезпечувалася освітленість 5% від нормованої. Сформуємо таблицю 2.3, в яку занесемо тип і кількість світильників аварійного освітлення.

Таблиця 2.3 - Тип і кількість світильників аварійного освітлення

Приміщення	Тип світильників	Число світильників	Установлена потужність, кВт	Струм в групі, А
Відділення електрокотельні	НСП11 У200	11	2.2	10
Майстерня	НСП11 У200	2	0.4	1.8
Пульт управління	НСП11 У200	4	0.8	3.6
Коридор	НСП11 У200	3	0.6	2.7
Склад	НСП11 У200	2	0.4	1.8
КТП	НСП11 У200	6	1.2	5.5
РП-6 кВ	НСП11 У200	10	2	9.1
РП-0.4 кВ	НСП11 У200	8	1.6	7.3

### *Електричний розрахунок освітлення*

Згідно [14] напругу для освітлювального обладнання в приміщеннях без підвищеної небезпеки і електричних приміщеннях незалежно від висоти установки і конструкції світильників вибираємо 380/220 В із заземленою нейтраллю, з живленням мережі освітлення від трансформаторів КТП 6/0,4 кВ.

Для розрахунку мережі електричного освітлення розділимо на групи наявні світильники таким чином, щоб одна група знаходилася в одному приміщенні для зручності обслуговування, і щоб струми в групах були приблизно рівномірні. Отримані дані занесемо в табл. 2.4.

Струми в групах визначаємо за формулою для двопровідної мережі освітлення з проводами фаза, нуль:

$$I_{GP} = \frac{S}{U},$$

де  $S$  – потужність групи;

$U = 220$  В – напруга мережі освітлення.

Принципова схема щита робочого освітлення наведена на рис. 2.3.

Таблиця 2.4 - Групи світильників робочого освітлення

№ групи	Приміщення	Тип світильників	Встановлена потужність, кВт	Струм в групі, А
1	Від. електрокот.	РПС 08	3.375	15.3
2	Від. електрокот.	РПС 08	3.375	15.3
3	Від. електрокот.	РПС 08	3.375	15.3
4	Від. електрокот.	РПС 08	3.375	15.3
5	Майстерня	НСП11у200	0.8	3.6
6	Пульт управління	ЛБ-40,65	0.32	1.5
7	Коридор	ЛБ-40,65	0.2	0.9
8	Склад	НСП11у200	0.8	3.6
9	КТП	НСП11у200	3.6	16.4
10	РП-6 кВ	ЛБ-40,65	0.96	4.4
11	РП-0.4 кВ	ЛБ-40,65	0.72	3.3

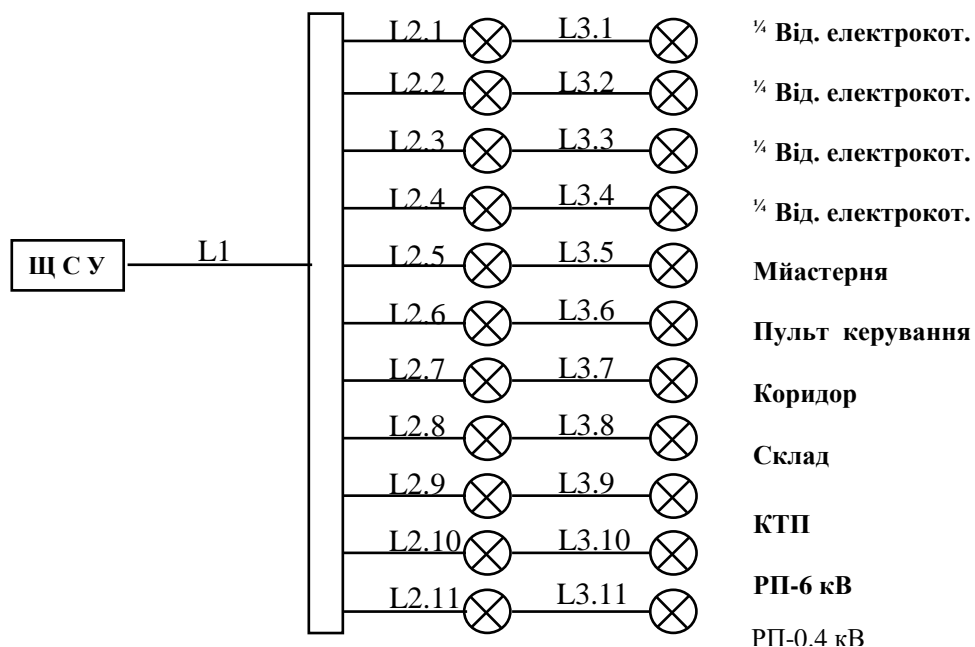


Рисунок 2.3 - Схема щита робочого освітлення

Сумарний струм освітлювального навантаження на щитку освітлення

можна знайти за формулою: 
$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\text{розр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi}} = \frac{20.05}{1.7321 \cdot 0.38} = 30.46 \text{ А.}$$

Виконаємо вибір та перевірку проводів освітлювальної мережі. Оскільки середовище електричної котельні не є вибухонебезпечним, то вибираємо для роботи дрiт i кабель марки АВВГ (А - алюмінієві жили, В – поліхлорвінілова ізоляція, В - поліхлорвінілова оболонка, Г - відсутність захисного покриття поверх броні або оболонки). Згідно вимог безпечної експлуатації електроустановування корпуси світильників i іншого обладнання, підключеного до глухозаземленої мережі напругою 380/220 В, необхідно заземлити. Тому для живлення світильників обираємо трижильний кабель. Спосіб прокладки проводів до світильників наступний:

- у електрокотельному відділенні: на несучому тросі;
- у інших приміщеннях: по стінах на скобах.

За тривало допустимим струмом вибираємо перетин дроту для всіх 11 груп i для живлення щитка освітлення (матеріал кабелю - алюміній):

$$\text{АВВГ} - (3 \times 16 + 1 \times 10), I_{\text{доп}} = 60 \text{ А.}$$

На групи за допустимою втратою напруги у найбільш віддалених світильників в групах згідно вимог ПУЕ втрата напруги в освітлювальних мережах не має перевищувати 2,5 % у місці приєднання найвіддаленішого світильника. Знайдемо втрату напруги на ділянці до щита освітлення:

$$\Delta U = \frac{M}{S \cdot C},$$

де  $S$  - перетин провідника на ділянці,

$C$  - коефіцієнт, що враховує напругу, систему живлення i матеріал проводів.

З [14] для чотирипровідної мережі з алюмінієвим дротом, перетин жили кабелю  $S = 16 \text{ мм}^2$ . Визначимо момент:

$$M = S_{\text{розр}} \cdot L_1,$$

де  $L_1$  – відстань від ЩСУ до щита освітлення за планом розташування устаткування рівна 25 м.

$$\text{Тоді момент } M = 20.05 \cdot 25 = 501.25 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$\text{і падіння напруги } \Delta U = \frac{501.25}{16 \cdot 46} = 0.68\% .$$

Отже, на ділянці від щита освітлення до останнього світильника в групі падіння напруги не буде перевищувати  $2,5 - 0,68 = 1,82\%$ .

Попередньо для прокладки приймаємо трипровідний дріт марки АВВГ. Перетин проводів мережі визначимо за формулою:

$$S = \frac{M}{C \times \Delta U\%}$$

де  $M$  – момент навантаження, кВт/ч.

$C$  – коефіцієнт, що враховує напругу, систему живлення і матеріал проводів.

З [14] для двопровідної мережі із заземляючим дротом з алюмінієвим дротом  $C = 7,7$ ;  $\Delta U\%$  - допустима втрата напруги,  $\Delta U\% = 1.85$ .

Знайдемо максимальний момент навантаження. Такий момент має перша, друга, третя і четверта групи із-за великої потужності і протяжності в порівнянні з іншими:

$$M = S_1 \cdot (L_{2,1} + \frac{L_{3,1}}{2}),$$

де  $L_{2,1} = 10$  м – відстань від щита освітлення до першого світильника в групі;

$L_{3,1} = 56$  м – відстань між першим і останнім світильником в групі.

$$\text{Тоді } M = 3.375 \cdot (10 + \frac{56}{4}) = 81 \text{ ВА} \cdot \text{м}.$$

Лампи розжарювання аварійного освітлення живляться від окремої мережі і в розрахунках їх потужності не враховуємо.

Перетин проводів мережі:  $S = \frac{M}{C \times \Delta U\%} = \frac{81}{7.7 \times 1.82} = 5.78 \text{ мм}^2$ . За довідником приймаємо перетин дроту  $S = 6 \text{ мм}^2$ ; АВВГ-(3\*6);  $I_{\text{доп}} = 32$  А.

### *Вибір щитів освітлення для робочої і аварійної систем*

Згідно [14] вибираємо щиток освітлення на 12 груп з такими характеристиками:

- на вводі автомат ВА 51-31:  $I_{\text{НОМ}} = 31.5$  А,  $I_{\text{ТЕПЛ}} = 36$  А,  $I_{\text{ЕЛ.МАГ}} = 441$  А.

- на відхідних лініях встановлюємо однополюсні автоматичні вимикачі ВА 16-26 на різні номінальні струми:

$I_{НОМ} = 6.3 \text{ А}$  (6 шт.) - 5, 6, 7, 8, 10, 11 групи;

$I_{НОМ} = 10 \text{ А}$  - резерв;

$I_{НОМ} = 16 \text{ А}$  (4 шт.) - 1, 2, 3, 4 групи;

$I_{НОМ} = 25 \text{ А}$  (1 шт.) - 9 група.

Невикористаний автомат залишаємо в резерві (номінал 10 А). Вибрані автомати оснащені тепловим розмикачем з вставкою  $1.1 \cdot I_{НОМ}$  і електромагнітним розмикачем, що спрацьовує при струмі  $10 \cdot I_{НОМ}$ .

### *Аварійне освітлення ЩОА-1*

Аварійне освітлення забезпечує у випадку аварії світильників робочого освітлення мінімальну освітленість, що необхідна для тимчасового продовження діяльності персоналу і забезпечення безпеки виходу людей з приміщення.

Щиток освітлення обираємо аналогічно до робочого щита: ОЦВ12–УХЛ4. Номінальні струми у ввідного і лінійних автоматів беремо меншими, відповідно до номінальних струмів в групах. Оскільки потужність аварійного освітлення становить 5-10 % від робочого, то для живлення самого щитка і світильників обираємо кабель і дроти меншого перетину: на щит - АВВГ (3\*6+1\*4), на групи - АВВГ (3\*2.5)

Перевірку на падіння напруги для електромережі аварійного освітлення не проводимо із-за невеликої потужності в групах. Дані з розрахунку освітлення в подальшому використаємо для визначення навантаження на 0,4 кВ.

## **2.3 Розрахунок електричних навантажень електростанції**

За базовий метод розрахунку електричних навантажень промислових підприємств використовують метод коефіцієнта максимуму. Цей метод застосовують в тих випадках, коли відомі номінальні параметри всіх електроспоживачів підприємства, їх розміщення на плані цехів та на території. Він дозволяє за номінальною потужністю електроспоживачів та з врахуванням їх числа і характеристик визначити розрахункове навантаження будь якого вузла схеми електропостачання. Характеристики електрообладнання приведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристики електрообладнання котельні

Найменування вузлів живлення і груп електроприймачів	К-ть електро-приймачів	$K_B$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{\text{ном}}$ , кВт
<b><u>РП -0,4 кВ</u></b>					
<b>ЩСУ-1</b>					
Насос аккумуляторных баків	1	0,65	0,8	0,75	15
Конденсатний насос	1	0,65	0,8	0,75	5,5
Насос охолодження підшипників	1	0,65	0,8	0,75	11
Дренажний насос	1	0,65	0,8	0,75	7,45
Кран-балка					
Двигун ходу балки	1	0,1	0,5	1,73	18
Двигун ходу візка	1	0,1	0,5	1,73	5,5
Двигун підйому / спуску	1	0,1	0,5	1,73	30
Робоче освітлення	1	0,85	0,95	0,7	14,55
<b>ЩСУ-2</b>					
Насос аккумуляторних баків	1	0,65	0,8	0,75	15
Конденсатний насос	1	0,65	0,8	0,75	5,5
Насос охолодження підшипників	1	0,65	0,8	0,75	11
Дренажний насос	1	0,65	0,8	0,75	7,45
Аварійне освітлення	1	0,85	0,95	0,7	6,6
<b>РП-10 кВ</b>					
Мережевий насос 1 рівня	2	0,9	0,89	0,51	315
Мережевий насос 2 рівні	2	0,9	0,89	0,51	400
Електрокотел	6	0,8	0,95	0,33	10000

Розрахунок навантаження групи електроприймачів приєднаних до ЩСУ-1:

I. Визначаємо середні навантаження в найбільш завантажену зміну:

1. Насос аккумуляторних баків:

$$P_{CM1} = P_{H1} \cdot n \cdot K_B = 15 \cdot 1 \cdot 0,65 = 9,75 \text{ кВт},$$

де  $P_H$  – номінальна потужність, приведена до 100 %, кВт;

$n$  – кількість електроприймачів;  $K_B$  – коефіцієнт використання.

$$Q_{CM1} = P_{CM1} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 9,75 \cdot 0,75 = 7,31 \text{ кВАр}$$

2. Конденсатний насос:

$$P_{CM2} = P_{H2} \cdot n \cdot K_B = 5,5 \cdot 1 \cdot 0,65 = 3,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM2} = P_{CM2} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 3,6 \cdot 0,75 = 2,7 \text{ кВАр}.$$

3. Насос охолодження підшипників:

$$P_{CM3} = P_{H3} \cdot n \cdot K_B = 11 \cdot 1 \cdot 0,65 = 7,15 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM3} = P_{CM3} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 7,15 \cdot 0,75 = 5,36 \text{ кВАр}.$$

4. Дренажний насос:

$$P_{CM4} = P_{H4} \cdot n \cdot K_B = 7,45 \cdot 1 \cdot 0,65 = 4,84 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM4} = P_{CM4} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 4,84 \cdot 0,75 = 3,63 \text{ кВАр}.$$

5. Кран-балка:

а) двигун ходу кран-балки (ПВ = 40%)

$$P_{Cma} = P_{Ha} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ} = 40\%}{\text{ПВ} = 100\%}} \cdot K_B \cdot n = 18 \cdot \sqrt{0,4} \cdot 0,1 \cdot 1 = 1,134 \text{ кВт};$$

б) двигун ходу візка (ПВ = 40%)

$$P_{CMб} = P_{Hб} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ} = 40\%}{\text{ПВ} = 100\%}} \cdot K_B \cdot n = 5,5 \cdot \sqrt{0,4} \cdot 0,1 \cdot 1 = 0,347 \text{ кВт};$$

в) двигун підйому/спуску (ПВ = 60%)

$$P_{CMв} = P_{Hв} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ} = 60\%}{\text{ПВ} = 100\%}} \cdot K_B \cdot n = 30 \cdot \sqrt{0,6} \cdot 0,1 \cdot 1 = 2,34 \text{ кВт}.$$

Сумарна потужність кран-балки:

$$P_{CM5} = P_{Cma} + P_{CMб} + P_{CMв} = 1,134 + 0,347 + 2,34 = 3,821 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM5} = P_{CM5} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 3,821 \cdot 1,73 = 6,6 \text{ кВАр}.$$

6. Робоче освітлення:

$$P_{CM6} = P_{H6} \cdot n \cdot K_B = 14,55 \cdot 1 \cdot 0,85 = 12,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM4} = P_{CM4} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 12,4 \cdot 0,7 = 8,68 \text{ кВАр}.$$

II. Визначаємо сумарні навантаження:

$$\Sigma P_H = P_{H1} + P_{H2} + P_{H3} + P_{H4} + P_{H5} + P_{H6} =$$

$$15 + 5,5 + 11 + 7,45 + (18 + 5,5 + 30) + 14,55 = 107 \text{ кВт};$$

$$\Sigma P_{CM} = P_{CM1} + P_{CM2} + P_{CM3} + P_{CM4} + P_{CM5} + P_{CM6} =$$

$$= 9,75 + 3,6 + 7,15 + 4,84 + 3,821 + 12,4 = 41,56 \text{ кВт};$$

$$\Sigma Q_{CM} = Q_{CM1} + Q_{CM2} + Q_{CM3} + Q_{CM4} + Q_{CM5} + Q_{CM6} =$$

$$7,31 + 2,7 + 5,36 + 3,63 + 6,6 + 8,68 = 51,3 \text{ кВАр}.$$

III. Коефіцієнт використання знаходимо наступним чином:

$$K_B = \frac{\Sigma P_{CM}}{\Sigma P_H} = \frac{41.56}{107} = 0,38$$

IV. Відношення потужностей в групі будуть становити:

$$m = \frac{P_{H \max}}{P_{H \min}} = \frac{30}{5.5} = 5.46$$

V. Знаходимо ефективне число електроприймачів. При  $m < 3$  приймаємо фактичне число електроприймачів, при  $m > 3$  і  $K_B > 0,2$  - ефективне число електроприймачів визначаємо за наступною формулою:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_{\text{ном}}}{P_{\text{ном max}}} = \frac{2 \cdot 107}{30} = 6.87 \approx 7.13$$

VI. Вибираємо  $K_M$  – табличне значення, що залежить від значення  $K_B$  і ефективного числа електроприймачів  $n_e$ . В даному випадку  $K_B = 0,38$  і  $n_e = 7,13$ , то  $K_M = 1,58$  [14].

VII. Визначаємо розрахункове максимальне навантаження

$$P_M = K_M \cdot P_{CM} = 1,58 \cdot 41,56 = 65,66 \text{ кВт.}$$

При  $n_e > 10$  максимальне реактивне навантаження приймаємо рівним середньозмінному навантаженню, а при  $n_e < 10$  - на 10% вище середньозмінного.

$$Q_M = 1,1 \cdot Q_{CM} = 1,1 \cdot 51,3 = 56,43 \text{ кВАр.}$$

VIII. Визначаємо повну потужність ЩСУ-1:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{65.66^2 + 56.43^2} = 86.6 \text{ кВА}$$

IX. Визначаємо максимальний розрахунковий струм ЩСУ-1:

$$I_{\max} = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{86.6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 131.7 \text{ А}$$

*Навантаження 6 кВ.*

I. Мережевий насос 1 рівня:

$$P_{см} = P_M = P_n \cdot n \cdot K_B = 315 \cdot 2 \cdot 0,9 = 567 \text{ кВт};$$

$$Q_{см} = Q_M = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 567 \cdot 0,51 = 289,2 \text{ кВАр.}$$

II. Мережевий насос 2 рівня:

$$P_{см} = P_M = P_n \cdot n \cdot K_B = 400 \cdot 2 \cdot 0,9 = 720 \text{ кВт};$$

$$Q_{см} = Q_M = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 720 \cdot 0,51 = 367,2 \text{ кВАр.}$$

III. Електрокотел:

$$P_{см} = P_M = P_n \cdot n \cdot K_B = 10000 \cdot 6 \cdot 0,8 = 48000 \text{ кВт.}$$

$$Q_{см} = Q_M = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 48000 \cdot 0,33 = 15840 \text{ кВАр.}$$

Розрахунок навантажень на ЩСУ-2 аналогічний і результати розрахунків навантажень приведені в табл. 2.5.

## **2.4 Розрахунок центру електричних навантажень електростанції**

*Побудова картограми навантажень.* Для визначення місця розташування головної понижуючої підстанції при проектуванні систем електропостачання на генеральний план електричної котельні нанесемо картограму навантажень, яка на генеральному плані позначена колами, де площа кола у вибраному масштабі рівна розрахунковому навантаженню електричної котельні:

$$P_i = \pi \cdot r^2 \cdot m.$$

З цього виразу знаходимо радіус кола:

$$r = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}},$$

де  $P_i$  – потужність електростанції;

$$m = 15 \frac{\text{кВт}}{\text{см}^2} \text{ – масштаб для визначення радіусу кола.}$$

В табл. 2.6 приведено параметри навантажень електричної котельні.

Таблиця 2.6 – Параметри навантаження електростанції

Найменування	Навантаження, кВт	
	6 кВ	0,4 кВ
Електростанція	49392,59	105,59

За приведеною вище формулою знайдемо радіус кола та визначимо кут сектора навантаження напругою 0,4 кВ для електростанції:

$$\alpha = \frac{P_{M04}}{P_{\Sigma}} = \frac{105.59}{49392.59} \cdot 360 = 0.77^{\circ}$$

*Визначення центру електричних навантажень* Головна понижуюча підстанція є однією з базових ланок системи електропостачання. Тому оптимальне розміщення підстанцій на території електричної котельні є принциповим при побудові ефективних систем електропостачання. Найкращою точкою розміщення головної понижуючої підстанції є точка центру електричних навантажень. Розміщення джерела або розподільного пункту живлення найближче до центру електричних навантажень відображає наступні цілі:

- процес мінімізації сумарної довжини внутрішньої групової мережі;
- процес забезпечення по можливості ближчих один до одного рівнів напруги у споживачів;
- процес мінімізації втрат електроенергії або сумарних приведених річних витрат.

Розрахунок центру електричних навантажень виконано за навантаженням електростанції, а дані навантаження і координати представлені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 - Потужності і координати навантаження для визначення центру електричних навантажень

Назва електроприймача	Потужність, кВт	Координати	
		X	Y
Електростанція	49963,57	190	80

Для визначення координат навантаження довільним чином виконують креслення координатних прямих на генеральному плані електростанції.

Координати ЦЕН можна визначити за формулами:

$$X_{ц} = \frac{\sum P_i \cdot X_i}{\sum P_i} \quad Y_{ц} = \frac{\sum P_i \cdot Y_i}{\sum P_i}$$

Розрахована точка вийшла в центрі приміщення електрокотельні. Переносимо місце розташування головної понижуючої підстанції в точку зручну згідно технологічних міркувань. Економічно вигідніше зміщувати підстанцію у бік лінії живлення. Вкажемо на генеральному плані місцеположення понижуючої підстанції.

## 2.5 Вибір електроустаткування електрокотельні і головної понижуючої підстанції

*Вибір компенсуючого пристрою на напругу 0,4 кВ.* Для зменшення втрат в електричних мережах необхідно отримати мінімум споживання реактивної потужності, оскільки при передачі реактивної енергії, необхідної для створення електромагнітних полів трансформаторів і двигунів, відбувається збільшення повної, переданої до споживача, потужності. Для компенсації реактивної потужності на практиці застосовують батареї конденсаторів або спеціальні компенсуючі пристрої [16]. Оскільки проєктована комплектна трансформаторна підстанція знаходиться в одній будівлі з РП 6 кВ і живлення трансформаторів здійснюється від неї, то і відстань, на яку необхідно передавати потужність, що йде на приймачі 0,4 кВ, невелика - тому будуть малі і втрати потужності, обумовлені передачею зайвої реактивної енергії. У зв'язку з перерахованими чинниками можна відмовитися від компенсації реактивної потужності в мережі 0,4 кВ і провести її на шинах розподільного пристрою 6 кВ.

*Вибір компенсуючого пристрою на 6 кВ.* Енергозберігаючою організацією рекомендується в години максимуму навантаження значення  $\tan\phi$  тримати рівним 0,31 [17]. Визначимо оптимальну потужність, яка передається з мережі в години максимуму споживання активної потужності:

$$Q_{E6} = P_{M.ц} \cdot \operatorname{tg}\phi = 49287 \cdot 0.31 = 158990.3 \text{ кВАр.}$$

Реактивну потужність, яку необхідно компенсувати на одній секції шин 6 кВ визначимо як:

$$Q_6 = \frac{Q_{\dot{E}.\dot{O}6} - Q_{L6}}{2} = \frac{16496.4 - 15890.3}{2} = 8551.25 \text{ кВАр.}$$

В якості компенсуючого пристрою вибираємо комплектні конденсаторні установки - по одній на кожену секцію КУ6-II з БРВ-1 з  $Q_{KV6} = 500$  кВАр.

Визначимо тепер дійсне значення  $\tan \varphi$ :

$$\tan \varphi_{E.ДІЙСНЕ} = \frac{\frac{Q_{M.Ц6} - Q_{KV6}}{2}}{\frac{P_{M.Ц6}}{2}} = \frac{8248.2 - 500}{24643.5} = 0.31$$

Отже, значення тангенса відповідає заданому рівню конденсаторної установки необхідної потужності (500 кВАр).

## 2.6 Розрахунок та вибір трансформаторів

Значення номінальної потужності для понижувальних трансформаторів вибирають згідно умов нормальної роботи при відключенні одного з них [18]. Для вибору потужності цехової трансформаторної підстанції необхідно мати значення середньої розрахункової потужності в максимально завантажену зміну:  $P_{cm} = 72,51$  кВт;  $Q_{cm} = 74,18$  кВАр.

У зв'язку з переважанням споживачів I категорії приймаємо значення коефіцієнта завантаження 0,65. До установки приймаємо трансформатори з номінальною потужністю  $S_{HT} = 100$  кВА. Визначаємо мінімально необхідне число цехових трансформаторів [19]:

$$N_{MIN} = P_{CM} / (K_3 \cdot S_{HT}) + \Delta N = 72,15 / (0,65 \cdot 100) + 0,76 = 1,87 \approx 2$$

Оптимальне число трансформаторів буде становити:

$$N_{OП} = N_{MIN} + m = 2 + 0 = 2 \quad (m = 0 - \text{визначено}).$$

Найбільша реактивна потужність, яку доцільно передавати через 2 трансформатори, буде рівною:

$$Q_{MT} = \sqrt{(N_{OП} \cdot K_3 \cdot S_{HT})^2 - P_{CM}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,65 \cdot 100)^2 - 72,51^2} = 107,9 \text{ кВАр.}$$

Потужність компенсуючих установок становить:

$$Q_{KV} = Q_{CM} - Q_{MT} = 74,18 - 107,9 = - 33,72 \text{ кВАр.}$$

Отже, установки компенсуючих пристроїв не вимагається.

### *Перевірка трансформатора на завантаження*

У нормальному режимі необхідне значення коефіцієнта завантаження  $K_3 \leq 0,6$ :

$$K_3 = \frac{S_{CM}^1}{2 \cdot S_{НОМ.ТР}} = \frac{86.6}{2 \cdot 100} = 0,43$$

У аварійному режимі необхідне значення коефіцієнта завантаження  $K_3 \leq 1,2$ .

$$K_{3.АВ} = \frac{S_{CM}^1}{S_{НОМ.ТР}} = \frac{86.6}{100} = 0,87$$

Коефіцієнт завантаження як в нормальному, так і в аварійному режимі відповідає нормі.

Вибираємо трансформатори типу ТМ-100/6/0,4 [19]. В табл. 2.8 і 2.9 приведені технічні параметри трансформаторів та комплектної трансформаторної підстанції.

Таблиця 2.8 - Технічні параметри трансформаторів

Тип трансформатора	S, кВА	Номинальна напруга, кВ		Втрати, кВт		I <sub>xx</sub> , %	U <sub>кз</sub> , %
		ВН	НН	P <sub>xx</sub>	P <sub>кз</sub>		
ТМ	100	6	0,4	0,33	1,97	2,6	4,5

Таблиця 2.9 – Комплектна трансформаторна підстанція

Вид КТП	S <sub>ном</sub> , кВА	U <sub>н</sub> , кВ	Тип силового трансформатора	Тип комутаційних апаратів на 6 кВ	Тип комутаційних апаратів на 0,4 кВ	
					На ввіді з секціонуванням	На лініях
КТП-100	100	6/0,4	ТМ	ПКТ - 6	Р - 30	А - 3700

Для вибору потужності підстанції необхідно знати середню потужність, що буде передаватися:

$$P_{CM} = 49365,33 \text{ кВт}; \quad Q_{CM} = 16553,61 \text{ кВАр.}$$

Повна середня потужність за зміну:

$$S_{CM} = \sqrt{P_{CM}^2 + Q_{CM}^2} = \sqrt{49365,33^2 + 16553,61^2} = 52066,86 \text{ кВА}$$

Втрати в трансформаторі приблизно можна визначити за формулами:

$$\Delta P_T = 0,025 \cdot S_{CM} = 0,025 \cdot 52066,86 = 1301,76 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,105 \cdot S_{CM} = 0,105 \cdot 52066,86 = 5467,02 \text{ кВАр.}$$

Повна середня потужність за зміну з урахуванням втрат:

$$\begin{aligned} S^1_{CM} &= \sqrt{(P_{CM} + \Delta P_T)^2 + (Q_{CM} + \Delta Q_T)^2} = \\ &= \sqrt{(49365,33 + 1301,67)^2 + (16553,61 + 5467,02)^2} = 55245,39 \text{ кВА} \end{aligned}$$

Розрахункова потужність трансформатора двотрансформаторної підстанції буде становити:

$$S_{mp} = \frac{S^1_{CM}}{2 \cdot K_3} = \frac{55245,39}{2 \cdot 0,7} = 39460,99 \text{ кВА}$$

Вибираємо два варіанти з трансформаторами різної потужності.

1) Трансформатори типу ТДТН-40000/110/6,6.

Перевірка трансформатора на завантаження. У нормальному режимі потрібне значення коефіцієнта завантаження  $K_3 \leq 0,7$ :

$$K_3 = \frac{S^1_{CM}}{2 \cdot S_{НОМ.ТР}} = \frac{55245,39}{2 \cdot 40000} = 0,69$$

У аварійному режимі необхідне значення коефіцієнта завантаження  $K_3 \leq 1,4$ :

$$K_{3,AB} = \frac{S^1_{CM}}{S_{НОМ.ТР}} = \frac{55245,39}{40000} = 1,38$$

Коефіцієнт завантаження, як в нормальному, так і в аварійному режимі не перевищує норму.

2) Трансформатори типу ТДТН- 25000/110/6,6.

Перевірка трансформатора на завантаження. У нормальному режимі необхідне значення коефіцієнта завантаження  $K_3 \leq 0,7$ :

$$K_3 = \frac{S_{CM}^1}{2 \cdot S_{НОМ.ТР}} = \frac{55245.39}{2 \cdot 25000} = 1.1$$

У аварійному режимі необхідне значення коефіцієнта завантаження  $K_3 \leq 1,4$ :

$$K_{3.АВ} = \frac{S_{CM}^1}{S_{НОМ.ТР}} = \frac{55245.39}{25000} = 2.21$$

Коефіцієнт завантаження як в нормальному, так і в аварійному режимі перевищує допустимі значення.

До установки приймаємо трансформатор типу ТДТН–40000/110/6,6 [19], а його технічні дані приведені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 - Технічні параметри трансформатора ТДТН–40000/110/6,6

Тип трансформатора	S, кВА	Номинальна напруга, кВ		Втрати, кВт		I <sub>хх</sub> , %	U <sub>кз</sub> , %
		ВН	НН	P <sub>хх</sub>	P <sub>кз</sub>		
ТДТН	40000	110	6,6	54	220	0,55	22

## 2.7 Вибір типу розподільного пристрою напругою 6 кВ

Для живлення і управління високовольтними двигунами необхідна установка в електричній котельні розподільного пристрою напругою 6 кВ. Розподільні пристрої внутрішньої установки застосовуються зазвичай при напрузі до 20 кВ. Типовими для промислових підприємств є закриті розподільні пристрої вторинної напруги головної понижуючої підстанції, первинної напруги цехових підстанцій, генераторної напруги власних електростанцій.

Застосування закритих розподільних пристроїв може бути доцільним іноді і при вищій напрузі (у випадку важких умов навколишнього середовища, при малій відведеній для розподільних пристроїв площі і ін.).

Розподільні пристрої до 20 кВ комплектуються з комплектних комірок заводського виготовлення і отримали назву комплектних розподільних пристроїв. Існують два типи комірок таких пристроїв: комірки, всередині яких всі апарати встановлені стаціонарно (КСО), і комірки, в яких вимикач високої напруги встановлений на викотному візку.

Вибір комплектних комірок здійснюється за тими ж критеріями, що і вибір вимикачів та іншої комутаційної апаратури, а також за схемами первинних і вторинних з'єднань. Застосування комірок стаціонарного або типу викочування визначають за частотою включень вимикача та частотою оглядів і технічного обслуговування [20].

Для побудови закритих розподільних пристроїв і підстанцій використовують залізобетонні панелі і об'ємні блоки. У приміщенні комплектних розподільних пристроїв також можуть встановлювати і комірки секційних реакторів, а для лінійних реакторів при їх великій кількості передбачають окремий реакторний поверх.

При напрузі 20 кВ і вище поряд із стандартною апаратурою і неізолюваною ошиновкою почали застосовувати повністю закриту апаратуру, заповнену гексафтористою сіркою. Такі розподільні пристрої мають дуже малі габарити (об'єм в 10-50 раз є меншим) та відсутній доступ до дотику струмопровідних частин. Приміщення розподільних пристроїв не мають вікон, що гарантує захист від випадкових зовнішніх механічних дій і в них передбачено штучне освітлення, природна вентиляція і при потребі використовують електричне або повітряне опалювання.

Перевагами закритих розподільних пристроїв перед відкритими є захист апаратури від дії зовнішнього середовища, від пилу і бруду, великих коливань температури, сонячної радіації, а також значна зручність обслуговування, виключення можливості проникнення в розподільні пристрої сторонніх людей та велика компактність.

Для установки в РП-10 кВ корпусу, що розраховується, приймаємо комплектний розподільний пристрій з технічними паспортними даними, які приведено в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Технічні паспортні дані комплектного розподільного пристрою

№ пп	Параметри	Шафа виконання викочування КМ-1 з маломасляним вимикачем
1	2	3
1	Номінальна напруга	10 кВ
2	Номінальний струм (А):	
2.1	- збірних шин	2000
2.2	- шаф	630
3	Номінальний струм відключення	20 кА
4	Електродинамічна стійкість	80 кА
5	Тип вимикача	ВКЕ-10
6	Тип приводу до вимикача	Електромагнітний

## 2.8 Висновки до розділу 2

1. Виконано розрахунок електричного освітлення електростанції з використанням метод коефіцієнта світлового потоку.

2. Проведено розрахунок електричних навантажень електростанції з використанням методу коефіцієнта максимуму, який дозволяє за номінальною потужністю електроспоживачів та з врахуванням їх числа і характеристик визначити розрахункове навантаження будь якого вузла схеми електропостачання.

3. Виконано розрахунок центру електричних навантажень електростанції, який показав, що економічно вигідніше зміщувати розміщення підстанції у сторону лінії живлення.

4. Проведено вибір електроустаткування електростанції і головної понижуючої підстанції, зокрема запропоновано до встановлення конденсаторну установку потужністю 500 кВАр.

5. Виконано розрахунок та вибір трансформаторів, а також вибір типу розподільного пристрою напругою 6 кВ.

## 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Вибір схеми електропостачання котельні

Використовуючи проведені розрахунки електричних навантажень на електричній котельні до встановлення можна обрати два двообмоткові трансформатори ТДТН–220/6 потужністю 40 МВА. Щоб підтримувати необхідний рівень напруги на шинах 6,0 кВ трансформатори встановлюють з наявним регулюванням напруги під навантаженням. Надійність живлення проєктованої підстанції буде забезпечуватися живленням від двох незалежних джерел. На напругу 6 кВ вибираємо схему з однією секціонованою системою збірних шин.

Вибір режиму нейтралі. *Нейтраллю* представляє собою сукупність з'єднаних між собою нейтральних точок трансформаторів (генераторів) і провідників, що приєднані до пристрою заземлення напругу або через малий (або великий) опір.

Згідно ПУЕ мережі напругою 220 кВ виконують із глухозаземленою нейтраллю, яка приєднується до заземляючого пристрою напругу або через невеликий опір (наприклад, трансформатори струму) [12]. Електроустановки, що працюють в таких системах, володіють великими струмами замикання на землю, оскільки ушкоджена фаза є короткозамкнутою на землю через нейтраль.

Мережі напругою 6-10 кВ виконують на основі ізольованої нейтралі, мають малі струми замикання на землю. Ізольована нейтраль не приєднується до заземляючого пристрою або приєднується через компенсуючі апарати ємнісного струму в мережі, трансформатори напруги і інше устаткування, що має великий опір.

При виборі режиму роботи нейтралі в установках до 1000 В звертають увагу на економіку, надійність та електробезпеку. Для проєкту електростанції (електроустановка до 1000 В) обираємо з глухозаземленою нейтраллю, оскільки вона є доцільнішою при розгалуженій мережі.

Головною перевагою системи з глухозаземленою нейтраллю є те, що при дотику людини до провідника однієї фази під напругою, вона попадає під дію

тільки частини фазної напруги джерела. Отже, системи з глухозаземленою нейтраллю є безпечнішою в порівнянні із системою з ізольованою нейтраллю. До недоліків системи з глухозаземленою нейтраллю можна віднести високу вартість виконання у порівнянні із системою з ізольованою нейтраллю, а також обладнання з ізольованою нейтраллю є надійнішим - при короткому замиканні воно не вимагає негайного відімкнення [21].

### 3.2 Вибір мережі живлення та розподільної мережі

Вибір провідників напругою вище 1000 В. Вибір економічно обгрунтованого перетину провідників для напруги вище 1000 В здійснюють відповідно до [22] за економічною густиною струму і виконують перевірку за умовою нагрівання провідників під час тривалого режиму роботи.

В залежності від типу дроту і числа годин максимального використання навантаження економічну густина можна знайти за формулою [22]:

$$S_E = \frac{I_P}{j_E},$$

де  $I_P$  - величина розрахункового струму, А;

$j_E$  – значення економічної густини струму, А/мм<sup>2</sup>.

1) Вибір провідників для електричного котла (потужність 10000 кВт):

- величина номінального струму електродкотла:  $I_{НОМ} = 962$  А;

- кількість годин максимального використання навантаження -  $T_{МАХ} > 5000$  год/рік;

- значення економічної густини струму:  $j_E = 1,2$  А/мм<sup>2</sup>;

- величина економічно доцільного перетину кабелю:

$$S_E = \frac{I_P}{j_E} = \frac{962}{1,2} = 801,7 \text{ мм}^2.$$

Отже, вибираємо кабель марки ААГУ-6 кВ 3(3×150) з параметрами:

- допустиме значення струму кабелю -  $I_{ТР. ДОП.} = 3 \cdot 330 = 990$  А;

- перевірка за умовою нагрівання -  $I_{ТР. ДОП.} \geq I_{НОМ} \Rightarrow 990 \text{ А} > 962 \text{ А}$ .

2) Вибір провідників для високовольтних електричних двигунів (потужність 315 кВт):

- значення номінального струму двигуна -  $I_{НОМ} = 38 \text{ А}$ ;
- кількість годин використання максимального навантаження -  $T_{МАХ} > 5000 \text{ год/рік}$ ;
- значення економічної густини струму -  $j_E = 1,2 \text{ А/мм}^2$ ;
- величина економічно доцільного перетину кабелю

$$S_E = \frac{I_P}{j_E} = \frac{38}{1,2} = 31,7 \text{ мм}^2.$$

Отже, вибираємо кабель марки ААГУ-6 кВ (3×35) з параметрами:

- допустиме значення струму кабелю -  $I_{ТР. ДОП.} = 115 \text{ А}$ ;
- перевірка за умовою нагрівання -  $I_{ТР. ДОП.} \geq I_{НОМ} \Rightarrow 115 \text{ А} > 31,7 \text{ А}$ .

3) Вибір провідників до трансформаторів комплектної трансформаторної підстанції виконуємо за формулою:

$$I_{РОЗР} = \frac{S_{РОЗР}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{134}{\sqrt{3} \cdot 6} = 12,91 \text{ А} ,$$

де  $S_{РОЗР} = 134 \text{ кВА}$  – значення розрахункового навантаження;

- к-ть годин використання максимуму навантаження:  $T_{МАХ} > 5000 \text{ год/рік}$ ;
- значення економічної густини струму -  $j_E = 1,2 \text{ А/мм}^2$ ;
- величина економічно доцільного перетину кабелю

$$S_E = \frac{I_P}{j_E} = \frac{12,91}{1,2} = 10,76 \text{ мм}^2.$$

Отже, вибираємо кабель марки ААГУ – 6 кВ (3х10) з параметрами:

- значення допустимого струму кабелю -  $I_{ТР. ДОП.} = 65 \text{ А}$ ;
- перевірка за умовою нагрівання:  $I_{ТР. ДОП.} \geq I_{НОМ} \Rightarrow 65 \text{ А} > 12,91 \text{ А}$ .

4) Вибір провідників від району електромереж до трансформаторів електричної котельні:

$$I_{розр} = \frac{S_{розр}}{U_{НОМ} \sqrt{3}} = \frac{52100,46}{220 \cdot \sqrt{3}} = 136,9 \text{ А} ,$$

де  $S_{РОЗР} = 52100,46 \text{ кВА}$  – розрахункове навантаження підстанції;

- к-ть годин використання максимального навантаження -  
 $T_{MAX} > 5000$  год/рік;

- значення економічної густини струму:  $j_E = 1$  А/мм<sup>2</sup>;

- величина економічно доцільного перетину кабелю

$$S_E = \frac{I_P}{j_E} = \frac{136,9}{1} = 136,9 \text{ мм}^2.$$

Отже, вибираємо повітряну лінію з алюмінієвим дротом із сталевим сердечником марки АС-150:

- значення допустимого струму -  $I_{ТР. ДОП.} = 450$  А;

- перевірка за умовою нагрівання -  $I_{ТР. ДОП.} \geq I_{РОЗР} \Rightarrow 450 \text{ А} > 136,9 \text{ А}$ .

### 3.3 Вибір схеми комутації на високій напрузі

На рис. 3.1 приведена схема розподільного пристрою напругою 6 кВ станції з однією системою збірних шин. До збірних шин приєднано 2 генератори, 2 двообмоткові трансформатори і 4 лінії розподільної мережі. У кожному приєднанні встановлено вимикачі і роз'єднувачі для ізоляції на час їх ремонту від сусідніх частин розподільного пристрою, що можуть бути під напругою.

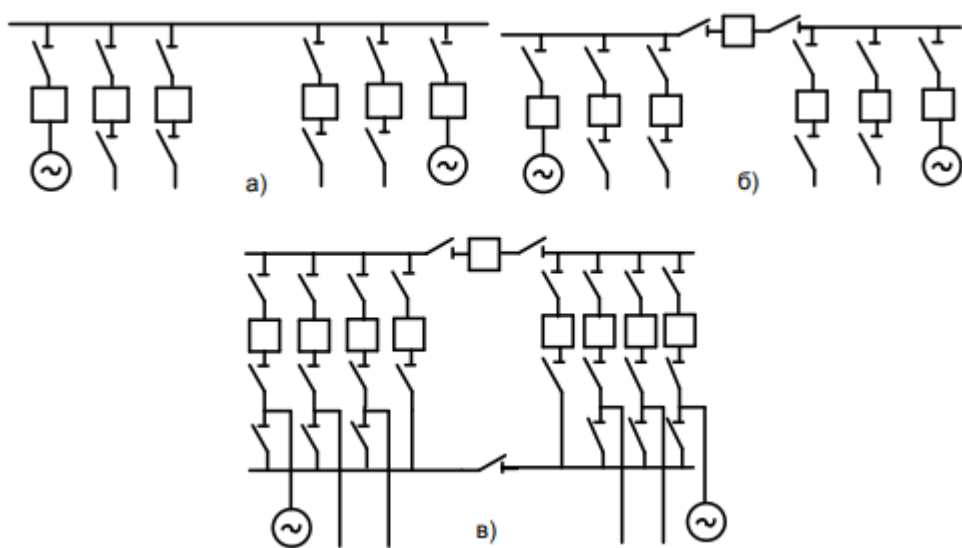


Рисунок 3.1 - Схема розподільного пристрою з однією системою збірних шин:

а) – несекціоновані шини; б) – секціоновані шини;

в) – секціоновані збірні шини з обхідним пристроєм

У приєднаннях ліній необхідно встановити шинний і лінійний роз'єднувачі. Шинний роз'єднувач використовується в замкнених мережах, так як при відключеному вимикачі лінія може бути під напругою мережі. У приєднаннях генераторів достатньо встановити шинний роз'єднувач, оскільки на час ремонту вимикача генератор знаходиться у незбудженому стані і не працює. У приєднаннях двообмоткових підвищуючих і понижуючих трансформаторів також достатньо шинних роз'єднувачів, оскільки зі сторони вищої або нижчої напруги є вимикачі і відповідні роз'єднувачі.

Перевагою розподільних пристроїв з однією системою збірних шин є значна простота і відносна невелика ціна, але область їх застосування обмежена з таких міркувань: проведення профілактичного ремонту збірних шин і шинних роз'єднувачів вимагає відключення всього пристрою; пошкодження в зоні збірних шин зумовлюють відключення розподільного пристрою; ремонт вимикачів вимагає відключення відповідних приєднань [23].

Щоб не було повного відключення розподільного пристрою при замиканні в зоні збірних шин і забезпечити проведення їх ремонту частинами, здійснюють секціонування збірних, тобто розділяють їх на секції-частини з встановленням в точках поділу нормально замкнених або нормально розімкнених секційних вимикачів (рис. 3.1, б). Секціонування здійснюють таким чином, щоб кожна секція мала джерело енергії (наприклад, генератор або трансформатор) і певне навантаження. Приєднання поділяють між секціями з таких міркувань, щоб примусове відімкнення однієї секції не викликало збій в роботі системи і електропостачання споживачів.

На станціях секційні вимикачі при нормальній роботі зазвичай є замкнутими, так як генератори працюють паралельно. У випадку короткого замикання в зоні збірних шин пошкоджена секція відключається автоматично, а інші секції працюють. Отже, секціонування через нормально замкнуті вимикачі дозволяє підвищити надійність розподільного пристрою та електроустановки. Але, якщо є замикання в секційному вимикачі, то відключаються дві суміжні секції - в пристроях з двома секціями може бути повне відключення, хоча така ситуація малоімовірна.

У розподільному пристрої низької напруги 6-10 кВ підстанцій секційні вимикачі є розімкненими для обмеження струму короткого замикання. Вимикачі комплектують пристроями автоматичного включення резервного живлення для їх замикання у випадку відключення трансформатора, тобто для підтримки режиму електропостачання споживачів.

Для забезпечення можливості почергового ремонту вимикачів та підтримки роботи відповідних кіл в розподільних пристроях 110-220 кВ передбачені обхідні вимикачі і обхідна система шин з відповідними роз'єднувачами в кожному приєднанні (рис. 3.1, в). При нормальній роботі обладнання обхідні роз'єднувачі і обхідні вимикачі знаходяться у відключеному стані.

### 3.4 Вибір обладнання на напругу вище 1000 В

Вибір високовольтних вимикачів. На вводі розподільного пристрою напругою 6 кВ і на кожній відхідній лінії встановлюємо комірку комплектного розподільного пристрою. Вибираємо по [24] комірку КМ-1, а її технічні дані приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні дані комірки комплектного розподільного пристрою

Тип комірки	$U_{НОМ}$ , кВ	$I_{НОМ}$ , А		Тип вимикача	Тип приводу
		шин	шаф		
КМ-1	6	1000	630	ВМПЕ-10	електро-магнітний ПЕ-11
		1600	1000		
		2000	2000		
		3200	3200		

Габарити шаф комірки:

- ширина – 750 мм,
- глибина - 2150 мм,
- висота - 1200 мм.

У комірці встановлюємо вимикач, трансформатори струму.

На відхідних лініях до асинхронних двигунів розподільного пристрою встановлюємо вимикач ВМПЕ-10-20/630У3, технічні дані якого приведені в табл. 3.2 [22].

Таблиця 3.2 - Технічні дані вимикача ВМПЕ-10-20/630У3

Умова вибору	Паспортні дані	Розрахункові дані
$U_{НОМ} \geq U_P$	10 кВ	6 кВ
$I_{НОМ} \geq I_P$	630 А	38 А
$I_{ВІДКЛ.НОМ} \geq I_{\infty}$	20 кА	13,85 кА
$I_{ДИН} \geq I_{П.О.}$	20 кА	13,85 кА
$i_{ДИН} \geq i_U$	51 кА	34,89 кА
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq I_{\infty}^2 \cdot (t_3 + t_{ВІДКЛ})$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$13,85^2 \cdot (0,1 + 0,095) = 37,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

$U_P$  – робоча напруга, кВ;  $I_P$  – максимальний робочий струм, А;

$U_{НОМ}$  – номінальна напруга вимикача, кВ;

$I_{НОМ}$  – номінальний струм вимикача, А;

$I_{ВІДКЛ.НОМ}$  – номінальний струм відключення вимикача, кА;

$I_{ДИН}$  – максимальне діюче значення струму динамічної стійкості, кА;

$i_{ДИН}$  – максимальне ударне значення струму динамічної стійкості, кА;

$I_{ТЕР}$  – допустимий струм термічної стійкості, кА;

$t_{ТЕР}$  – час дії струм термічної стійкості, с;

$t_3$  – час спрацьовування захисту, с;

$t_{ВІДКЛ}$  – повний час відключення вимикача, с.

На відхідних лініях до трансформаторів ТМ-100/6 встановлюємо вимикач ВМПЕ-10-20/630У3, технічні дані якого приведені в табл. 3.3 [22].

Таблиця 3.3 - Технічні дані вимикача ВМПЕ-10-20/630У3

Умова вибору	Паспортні дані	Розрахункові дані
$U_{НОМ} \geq U_P$	10 кВ	6 кВ
$I_{НОМ} \geq I_P$	630 А	170,8 А
$I_{ВІДКЛ.НОМ} \geq I_{\infty}$	20 кА	9,1 кА
$I_{ДИН} \geq I_{П.О.}$	20 кА	9,1 кА
$i_{ДИН} \geq i_U$	52 кА	23,2 кА
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq I_{\infty}^2 \cdot (t_3 + t_{ВІДКЛ})$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$9,1^2 \cdot (0,1 + 0,095) = 16,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Для комірки трансформатора РП-110 кВ електричної котельні встановлюємо вимикач ВМТ-110Б-110/1250, технічні дані якого приведені в табл. 3.4 [22].

Таблиця 3.4 - Технічні дані вимикача ВМТ-110Б-110/1250

Умова вибору	Паспортні дані	Розрахункові дані
$U_{НОМ} \geq U_P$	110 кВ	110 кВ
$I_{НОМ} \geq I_P$	1250 А	135,5 А
$I_{ВІДКЛ.НОМ} \geq I_{\infty}$	25 кА	11,8 кА
$I_{ДИН} \geq I_{П.О.}$	25 кА	11,8 кА
$i_{ДИН} \geq i_Y$	65 кА	30 кА
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq I_{\infty}^2 \cdot (t_3 + t_{ВІДКЛ})$	$25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$11,8^2 \cdot (0,01 + 0,08) = 139,34 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вибір роз'єднувачів. Для РП-110 кВ електричної котельні вибираємо роз'єднувач РДЗ-110/2000, технічні дані якого приведені в табл. 3.5 [22].

Таблиця 3.5 - Технічні дані роз'єднувача РДЗ-110/2000

Умова вибору	Паспортні дані	Розрахункові дані
$U_{НОМ} \geq U_P$	110 кВ	110 кВ
$I_{НОМ} \geq I_P$	2000 А	135,5 А
$i_{ДИН} \geq i_Y$	100 кА	30 кА
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq I_{\infty}^2 \cdot (t_3 + t_{ВІДКЛ})$	$50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$11,8^2 \cdot (0,01 + 0,08) = 139,34 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

#### *Вибір вимірювальних трансформаторів струму*

1. На відхідних лініях розподільного пристрою напругою 6 кВ до асинхронних двигунів насосів ( $I_{НОМ.} = 38 \text{ А}$ ) по [24] вибираємо трансформатор струму ТЛК-10-У3-50/5-0,5/10Р із литою ізоляцією для комплектного розподільного пристрою (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 - Технічні дані трансформатора струму

Умова вибору	Паспортні дані	Розрахункові дані
$U_{НОМ} \geq U_P$	110 кВ	110 кВ
$I_{НОМ} \geq I_P$	300 А	135,5 А
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq I_{П.О}^2 \cdot (t_3 + t_{ВІДКЛ})$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$11,8^2 \cdot (0,01 + 0,08) =$ $= 139,34 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$U_{НОМ} \geq U_P$	110 кВ	110 кВ

Вторинне навантаження за класом точності 0,5 становить  $Z_{НАВ.ДОП} = 0,4 \text{ Ом}$ .  
Перевіряємо трансформатор струму за вторинним навантаженням (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Результати розрахунку навантаження трансформатора струму

Прилад	Тип	Навантаження		
		А	В	С
- ватметр	Д-335	0,5		0,5
- варметр	Д-335	0,5		0,5
- лічильник акт. енергії	І-680	2,5		2,5
- амперметр	Э-335	0,5	0,5	0,5
РАЗОМ:		4	0,5	4

Визначаємо опір приладів:

$$r_{П} = S / I_{НОМ}^2 = 4 / 5^2 = 0,16 \text{ Ом},$$

де  $S = 4 \text{ ВА}$  – повне максимальне навантаження, що споживається приладами;

$I_{НОМ}^2 = 5 \text{ А}$  – номінальний вторинний струм трансформатора струму.

Приймаємо опір контактів  $r_K = 0,1 \text{ Ом}$  [24].

Розраховуємо необхідний опір з'єднувальних алюмінієвих проводів, що з'єднують трансформатори струму і прилади:

$$r_{ПР} = z_{ДОП} - r_{П} - r_K = 0,4 - 0,16 - 0,1 = 0,14 \text{ Ом}.$$

Приймаємо довжину алюмінієвого дроту  $L = 5 \text{ м}$  [24].

Розраховуємо мінімально допустимий перетин дроту:

$$q = \frac{\rho \cdot L}{r_{ПР}} = \frac{0,0283 \cdot 5}{0,14} = 1,01 \text{ мм}^2$$

Приймаємо контрольний кабель АКПВГ з жилами перетином 4 мм<sup>2</sup> [18].

Розрахунковий опір дроту:

$$r_{np} = r_0 \cdot L = 7,81 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 0,039 \text{ Ом.}$$

Повний опір:

$$r_P = r_{II} + r_{III} + r_K = 0,16 + 0,039 + 0,1 = 0,299 \text{ Ом}$$

$$z_{доп} = 0,4 \text{ Ом} > 0,299 \text{ Ом} = r_P$$

2. На вводах трансформаторів ТМ-100/6 ( $I_P = 170,8 \text{ А}$ ) вибираємо трансформатор струму ТЛК-10-200/5-0,5/10Р, [19] (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 - Технічні дані трансформатора струму

Умова вибору	Паспортні дані	Розрахункові дані
$U_{НОМ} \geq U_P$	10 кВ	6 кВ
$I_{НОМ} \geq I_P$	200 А	170,8 А
$i_{ДИН} \geq i_Y$	25 кА	9,1 кА
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq I_{П.О}^2 \cdot (t_3 + t_{ВДКЛ})$	$4^2 \cdot 3 = 48 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$9,1^2 \cdot (0,1 + 0,095) = 16,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вторинне навантаження  $Z_{НАВ. ДОП} = 0,8 \text{ Ом}$ .

3. Для комірки трансформатора розподільного пристрою напругою 110 кВ електричної котельні ( $I_P = 135,5 \text{ А}$ ) вибираємо трансформатор марки ТФНД-110-3Т-300/5-0,5/Р, [19] (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 - Технічні дані трансформаторів струму

Умова вибору	Паспортні дані	Розрахункові дані
$U_{НОМ} \geq U_P$	110 кВ	110 кВ
$I_{НОМ} \geq I_P$	300 А	135,5 А
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq I_{П.О}^2 \cdot (t_3 + t_{ВДКЛ})$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$11,8^2 \cdot (0,01 + 0,08) = 139,34 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вторинне навантаження  $Z_{НАВ. ДОП} = 0,4 \text{ Ом}$ .

Вибір вимірювальних трансформаторів напруги. Трансформатори напруги вибираємо за номінальною напругою  $U_{НОМ}$  і за вторинним навантаженням  $S_{НОМ2}$ .

1. Розподільний пристрій 6 кВ. На шини 6 кВ вибираємо трансформатор напруги НТМИ–6–66УЗ – трансформатор трифазний, з природним масляним охолодженням (для кіл вимірювання), який характеризується наступними параметрами [19]:

$$U_{НОМ1} = 6 \text{ кВ}, \quad U_{НОМ2} = 100 \text{ В}, \quad U_{НОМ2ДОП} = 100 / \sqrt{3} \text{ В}, \quad S_{НОМ2} = 120 \text{ ВА}.$$

Результати розрахунку навантаження трансформаторів напруги приведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 - Результати розрахунку навантаження трансформаторів напруги

Прилад	Тип	$S_{КАТ}$ , ВА	К-ть кат.	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	К-ть прил.	$P_{ЗАГ}$ , Вт	$Q_{ЗАГ}$ , ВАр
Вольтметр	Е-335	2	1	1	0	2	4	0
Ватметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	0
Варметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	0
Лічильник акт. енергії	І-680	2 Вт	2	0,38	0,925	1	0,76	1,85
Лічильник реакт. енергії	І-680	2 Вт	2	0,38	0,925	1	0,76	1,85
Частотомір	Е-371	3	1	1	0	1	3	0
РАЗОМ:							14,52	3,7

$$\text{Повне вторинне навантаження ТН: } S_p = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{14,52^2 + 3,7^2} = 14,98 \text{ ВА}$$

$$S_{НОМ2} > S_p \Rightarrow 120 \text{ ВА} > 14,98 \text{ ВА}.$$

Перевірка інших трансформаторів напруги по вторинному навантаженню аналогічна. На термічну і динамічну стійкість трансформатори напруги не перевіряються, оскільки захищені запобіжником.

2. Розподільний пристрій 110 кВ. Для цього пристрою вибираємо трансформатор напруги НКФ –110-58У1, [19]:

$$U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}; \quad S_{НОМ2} = 400 \text{ ВА}.$$

Вибір обмежувачів перенапруги здійснюємо за номінальною напругою установки: для ВРП - 110 кВ вибираємо ОПН–110.У1, а для РП - 6 кВ вибираємо ОПН –6.У1, [19].

### 3.5 Вибір та перевірка шин для розподільного пристрою

Виконаємо вибір шин розподільного пристрою напругою 6 кВ електричної котельні, використовуючи такі дані:

$$I_{PO3} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{51616 \cdot 79}{\sqrt{3} \cdot 6} = 4967,9 \text{ А}; I_{П.О.} = 13,85 \text{ кА}; i_y = 34,89 \text{ кА};$$

$$B_K = I_{П.О.}^2 \cdot (t_3 + t_{ВІДКЛ}) = 13,85^2 \cdot (0,1 + 0,095) = 37,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Вибираємо шини за умовою нагрівання, зокрема до значення робочого струму близькі алюмінієві чотирикутні шини перетином 4(120×10) мм<sup>2</sup> з допустимим струмом  $I_{ДОП} = 5200 \text{ А}$ , [24]. Виконаємо перевірку шини на термічну стійкість, визначивши мінімальний допустимий перетин шин:

$$S_{MIN} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{37,4 \cdot 10^6}}{91} = 67,2 \text{ мм}^2,$$

де  $B_K$  – тепловий імпульс від струму короткого замикання, А<sup>2</sup>·с;

$C = 91$  – тепловий коефіцієнт для шин з алюмінію, [24].

Перетин шини:  $S = 480 \cdot 10 = 4800 \text{ мм}^2$ .  $S \geq S_{MIN} \Rightarrow 4800 \text{ мм}^2 > 67,2 \text{ мм}^2$ .

Отже, шини є термічно стійкими.

Виконаємо перевірку шини на електродинамічну стійкість.

Перетин шини наступний:  $h \times b = 480 \times 10 \text{ мм}^2$ ;  $h = 0,48 \text{ м}$ ;  $b = 0,04 \text{ м}$ .

Шини розміщені на ребро. Перевірку виконуємо за умовою:

$$\delta_{РОЗР} \leq \delta_{ДОП},$$

де  $\delta_{РОЗР}$  – величина максимальної механічної напруги в матеріалі шин в точці взаємодії моменту вигину;

$\delta_{ДОП} = 82,3 \text{ МПа}$  – значення допустимої максимальної напруги, [24].

Найбільше діюче зусилля на середню фазу становить:

$$F = 1,76 \cdot i_{уд}^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7},$$

де  $l = 750 \text{ мм}$  – величина відстані між ізоляторами однієї фази;

$a = 250 \text{ мм}$  – величина відстані між сусідніми фазами;

$i_{уд}$  – значення ударного струму в точці К-2.

$$F = 1,76 \cdot 34890^2 \cdot \frac{0,75}{0,25} \cdot 10^{-7} = 642,74 \text{ Н.}$$

Визначимо значення моменту опору динамічній дії:

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{0,04^2 \cdot 0,48}{6} = 1,28 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Визначимо значення максимальної механічної напруги в матеріалі шин в точці взаємодії моменту вигину:

$$\delta_M = \frac{F \cdot L^2}{10 \cdot W} = \frac{642,74 \cdot 0,75^2}{10 \cdot 1,28 \cdot 10^{-4}} = 28,8 \text{ МПа}, \quad \delta_{\text{Доп}} \geq \delta_M \Rightarrow 82,3 \text{ МПа} > 28,8 \text{ МПа.}$$

Отже бачимо, що шини витримують динамічну дію.

### **3.6 Перевірка кабелів на стійкість до струмів короткого замикання**

Кабель від розподільного пристрою 6 кВ до асинхронних двигунів.

Вибираємо кабель марки ААГУ - 6 кВ (3×95) та визначимо мінімальне допустиме січення жили кабелю за умовами термічної стійкості:

$$S_{\text{MIN}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{45,65 \cdot 10^6}}{95} = 71,1 \text{ мм}^2$$

де  $C = 95$  – коефіцієнт для кабелю з алюмінієвими жилами, [18].

$$S \geq S_{\text{MIN}} \Rightarrow 95 \text{ мм}^2 > 71,1 \text{ мм}^2.$$

Отже, кабель може витримати термічну дію струму.

Кабель від розподільного пристрою 6 кВ до комплектного розподільного пристрою. Вибираємо кабель марки ААГУ - 6 кВ (3×10) та визначимо мінімальне допустиме січення жили кабелю за умовами термічної стійкості:

$$S \geq S_{\text{MIN}}; \quad S_{\text{MIN}} = 71,1 \text{ мм}^2 \Rightarrow 10 \text{ мм}^2 < 71,1 \text{ мм}^2.$$

Бачимо, що кабель не витримує термічної дії струму, тому обираємо кабель більшого січення - ААГУ-6 кВ (3×95) з  $I_{\text{Доп}} = 215 \text{ А}$  ( $95 \text{ мм}^2 > 71,1 \text{ мм}^2$ ).

Отже, кабель може витримати термічну дію струму.

Кабель від розподільного пристрою 6 кВ до електричної котельні. Вибираємо кабель марки ААГУ - 6 кВ 3(3×150) та визначимо мінімальне допустиме сичення жили кабелю за умовами термічної стійкості:

$$S \geq S_{\text{MIN}}; S_{\text{MIN}} = 71.1 \text{ мм}^2 \Rightarrow 3 \times 150 \text{ мм}^2 > 71.1 \text{ мм}^2.$$

Отже, кабель може витримати термічну дію струму.

### 3.7 Визначення струмів короткого замикання в мережах до 1000 В

Для розрахунку струму трифазного короткого замикання в мережах напругою до 1 кВ виконаємо аналіз схеми заміщення підстанції (рис. 3.2).

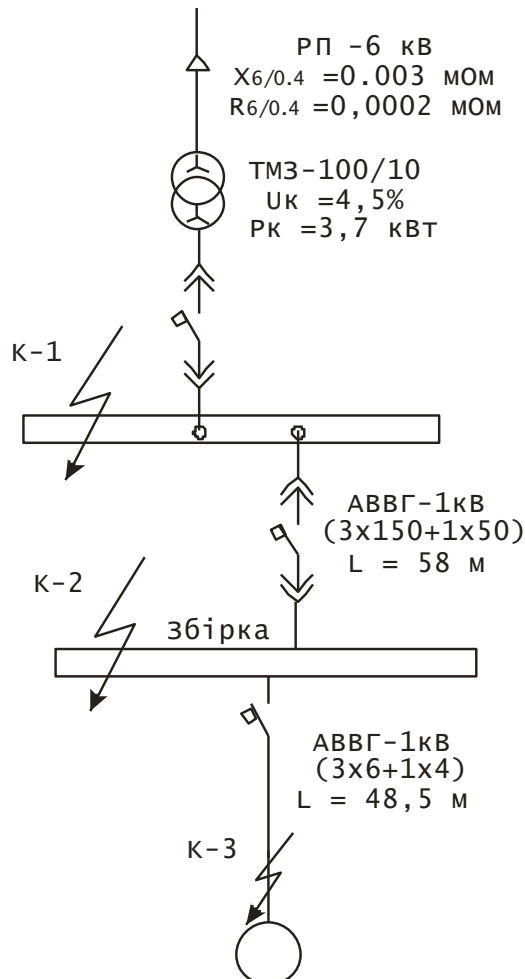


Рисунок 3.2 - Схема заміщення підстанції

Необхідно привести опори системи електричного постачання вищої напруги до напруги 0,4 кВ:

$$R_{6/0,4} = R_6 \cdot \frac{U_6^2}{S_6} \cdot K_T^2 = 0,035 \cdot \frac{6,3^2}{100} \cdot \left(\frac{0,4}{6}\right)^2 = 0,0002 \text{ мОм};$$

$$X_{6/0,4} = X_6 \cdot \frac{U_6^2}{S_6} \cdot K_T^2 = 0,674 \cdot \frac{6,3^2}{100} \cdot \left(\frac{0,4}{6}\right)^2 = 0,003 \text{ мОм}.$$

Дальше визначаємо значення опору цехового трансформатора:

$$R_T = \frac{\Delta P_k}{S_{НОМТР}} \cdot \frac{U^2_{НОМ}}{S_{НОМТР}} = \frac{1,97}{100} \cdot \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^6 = 31,5 \text{ мОм};$$

$$X_T = \sqrt{\left(\frac{U_k \%}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_k}{S_{НОМТР}}\right)^2} \cdot \frac{U^2_{НОМ}}{S_{НОМТР}} \cdot 10^6 = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{1,97}{100}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^6 = 20,8 \text{ мОм}.$$

Розраховуємо питомі опори жили кабелю марки АВВГ-1 кВ [22]:

$$R_{0\phi} = 0,22 \text{ Ом/км}; \quad X_{0\phi} = 0,06 \text{ Ом/км}.$$

Розраховуємо опір жили кабелю довжиною  $L_1 = 0,058$  км:

$$R_{1\phi} = R_{0\phi} \cdot L_1 = 0,22 \cdot 0,058 = 0,012 \text{ Ом};$$

$$X_{1\phi} = X_{0\phi} \cdot L_1 = 0,06 \cdot 0,058 = 0,0034 \text{ Ом}.$$

Розраховуємо питомі опори жили кабелю марки АВВГ-1 кВ:

$$R_{0\phi} = 5,55 \text{ Ом/км}; \quad X_{0\phi} = 0,09 \text{ Ом/км}.$$

Розраховуємо опір жили кабелю довжиною  $L_2 = 0,0458$  км:

$$R_{2\phi} = R_{0\phi} \cdot L_2 = 5,55 \cdot 0,0458 = 0,254 \text{ Ом}.$$

$$X_{2\phi} = X_{0\phi} \cdot L_2 = 0,09 \cdot 0,0458 = 0,0041 \text{ Ом};$$

### Коротке замикання в точці К-1

Кінцевий опір.

$$\text{Індуктивний опір: } X_{PE3} = X_{6/0,4} + X_T = 0,003 + 20,8 = 20,803 \text{ мОм};$$

Активний опір:  $R_{PE3} = R_{6/0,4} + R_T + R_{ДОБ} = 0,0002 + 31,5 + 15 = 46,5002 \text{ мОм}$ ,  
де  $R_{ДОБ} = 15 \text{ мОм}$  – перехідний опір контактів, [24].

Кінцевий повний опір:

$$Z_{PE3} = \sqrt{X_{PE3}^2 + R_{PE3}^2} = \sqrt{20,803^2 + 46,5002^2} = 50,9 \text{ мОм}.$$

Величина струму короткого замикання в точці К-1:

$$I_{K-1} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot Z_{PE3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 50.9} = 4.5 \text{ кА}.$$

Значення ударного струму короткого замикання:

$$i_{y K-1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K-1} = \sqrt{2} \cdot 1.05 \cdot 4.5 = 6.68 \text{ кА},$$

де  $K_y = 1.05$  – величина ударного коефіцієнта, [24].

### Коротке замикання в точці К-2

Кінцевий опір.

Індуктивний опір:  $X_{PE3} = X_{6/0.4} + X_T + X_{I\Phi} = 0.003 + 20.8 + 3.4 = 24.2 \text{ мОм};$

Активний опір:

$$R_{PE3} = R_{6/0.4} + R_T + R_{I\Phi} + R_{ДОБ} = 0.0002 + 31.5 + 12 + 15 + 20 = 78.5 \text{ мОм},$$

де  $R_{ДОБ} = 20 \text{ мОм}$  – перехідний опір контактів, [24].

Кінцевий повний опір:

$$Z_{PE3} = \sqrt{X_{PE3}^2 + R_{PE3}^2} = \sqrt{24.2^2 + 78.5^2} = 82.2 \text{ мОм}.$$

Величина струму короткого замикання в точці К-2:

$$I_{K-2} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot Z_{PE3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 82.2} = 2.8 \text{ кА}.$$

Значення ударного струму короткого замикання:

$$i_{y K-2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K-2} = \sqrt{2} \cdot 1.03 \cdot 2.8 = 4.1 \text{ кА},$$

де  $K_y = 1.03$  – величина ударного коефіцієнта, [24].

### Коротке замикання в точці К-3

Кінцевий опір.

Індуктивний опір:  $X_{PE3} = X_{6/0.4} + X_T + X_{I\Phi} + X_{2\Phi} = 0.003 + 20.8 + 3.4 + 4.1 = 28.3 \text{ мОм};$

Активний опір:  $R_{PE3} = R_{6/0.4} + R_T + R_{I\Phi} + R_{2\Phi} + R_{ДОБ} = 0.0002 + 31.5 + 12 + 254 + 15 + 20 + 25 + 30 = 387.5 \text{ мОм},$

де  $R_{ДОБ} = 25 \text{ мОм}$  і  $30 \text{ мОм}$  – перехідний опір контактів, [24].

Сумарний повний опір:

$$Z_{PE3} = \sqrt{X_{PE3}^2 + R_{PE3}^2} = \sqrt{28.3^2 + 387.5^2} = 388,5 \text{ мОм.}$$

Значення струму короткого замикання в точці К-3:

$$I_{K-3} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot Z_{PE3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 388.5} = 0,59 \text{ кА.}$$

Значення ударного струму короткого замикання:

$$i_{y \text{ К-3}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K-3} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,59 = 0,83 \text{ кА,}$$

де  $K_y = 1$  – величина ударного коефіцієнта, [24].

Результати виконаного розрахунку струмів трифазного короткого замикання приведені в табл. 3.11.

Таблиця 3.11 - Результати розрахунку струмів короткого замикання

Точка КЗ	$I_K^{(3)}$ , кА	$i_y$ , кА
К-1	4,5	6,68
К-2	2,8	4,1
К-3	0,59	0,83

### 3.8 Вибір електричного устаткування напругою до 1000 В

Вибір автоматичних вимикачів. Автоматичні вимикачі використовуються для автоматичного розмикання електричних кіл у випадку ненормальних режимів роботи, для нечастих оперативних перемикачів при нормальних режимах, а також з метою захисту електричних кіл при ненормованих зниженнях напруги. Найменше значення струму, що спричинює відключення автоматичного вимикача, прийнято називати струмом спрацьовування, а його на заданий струм спрацьовування називають уставкою струму спрацьовування.

Номінальний струм автоматичного вимикача вибирають за тривалим розрахунковим струмом:  $I_{ав} \geq I_{н.трив}$ .

Номінальний струм теплового розмикача вибирають за тривалим розрахунковим струмом лінії:  $I_{н.тр} \geq I_{н.трив}$

Для електродвигуна:  $I_{н.трив} = I_{ном}$ , де  $I_{ном}$  - номінальний струм двигуна.

Для групи електричних приймачів:  $I_{н.трив} = I_{розр}$ , де  $I_{розр}$  – величина максимального розрахункового струму.

Струм спрацьовування електромагнітного розмикача має становити не менше 125% від струму пускового або максимально короткочасного:  
 $I_{спр.емр} \geq 1,25 \cdot I_{кр}$ .

Для електродвигуна:  $I_{кр} = I_{пуск}$ , де  $I_{пуск}$  – величина номінального пускового струму двигуна.

Для групи електричних приймачів:  $I_{кр} = I_{пуск.макс} + (\sum I_{ном.розр} - I_{ном.макс})$ ,  
де  $I_{пуск.макс}$  – значення номінального пускового струму найпотужнішого електродвигуна в групі;

$I_{ном.макс}$  - значення номінального струму найпотужнішого електродвигуна в групі;

$\sum I_{ном.розр}$  – величина розрахункового максимального струму (беремо із таблиці навантажень).

Паспортні дані споживачів  $P_H$ ,  $I_H$ ,  $I_{ПУСК}$  використано з [19].

Насос акумуляторних баків:  $P_H = 11$  кВт;  $I_{НОМ} = 22$  А;  $I_{ПУСК} = 132$  А.

Згідно вище згаданих умов вибираємо струм автомата  $I_{ав} = 25$  А.

Вибираємо тип автоматичного вимикача [22]:  $BA51Г - 25 \frac{25}{10 \cdot I_{н.тр}}$ ,

для якого  $I_{н.тр} = 25$  А – величина номінального струму теплового розмикача;

$I_{спр.емр} = 10 \cdot I_H = 10 \cdot 25 = 250$  А – значення уставки спрацьовування електромагнітного розмикача;

$$I_{кр} = I_{пуск} = 132 \text{ А.}$$

Перевірка:

$$1) \quad I_{ав} \geq I_{н.трив} \quad \Rightarrow \quad 25 \text{ А} \geq 22 \text{ А};$$

$$2) \quad I_{н.тр} \geq I_{н.трив} \quad \Rightarrow \quad 25 \text{ А} \geq 22 \text{ А};$$

$$3) \quad I_{спр.емр} \geq 1,25 \cdot I_{кр} \Rightarrow 10 \cdot 25 \geq 1,25 \cdot 132 \Rightarrow 250 \text{ А} \geq 165 \text{ А.}$$

Дренажний насос:  $P_H = 7,45$  кВт;  $I_{НОМ} = 14,8$  А;  $I_{ПУСК} = 103,6$  А.

Вибираємо тип автоматичного вимикача [22]:  $BA51Г - 25 \frac{25}{10 \cdot I_{н.тр}}$ ,

для якого значення струму автомата становить  $I_{ав} = 16$  А;

$$I_{кр} = I_{пуск} = 103,6 \text{ А.}$$

Перевірка:

- 1)  $I_{ав} \geq I_{н.трив} \Rightarrow 16 \text{ А} \geq 14,8 \text{ А};$
- 2)  $I_{н.тр} \geq I_{н.трив} \Rightarrow 16 \text{ А} \geq 14,8 \text{ А};$
- 3)  $I_{спр.емр} \geq 1,25 \cdot I_{кр} \Rightarrow 10 \cdot 16 \geq 1,25 \cdot 103,6 \Rightarrow 160 \text{ А} \geq 129,5 \text{ А.}$

Вибір магнітних пускатів і теплових реле. Магнітний пускач використовується для запуску та зупинки асинхронних електричних двигунів і служить для захисту мінімальної напруги. Теплове реле здійснює захист електричного двигуна від струму перевантаження (перевищення 15...20 хвилин), в діапазоні 10...20% від величини номінального струму електричного двигуна.

Магнітний пускач вибирається за умовою:  $I_{Н.П} \geq I_{Н.ДВ}$ ,  
де  $I_{Н.П}$  – номінальний струм магнітного пускача, А;

$I_{Н.ДВ}$  – номінальний струм електродвигуна, А.

Вибір теплового реле здійснюють за наступними умовами:

- за номінальним струмом двигуна визначають струм спрацьовування реле:  
 $I_{СР.Т} \approx 1,1 \dots 1,2 \cdot I_{Н.ДВ};$

- за  $I_{СР.Т}$  вибирають теплове реле та вказують струми неспрацьовування  $I_{НЕСПР}$ .

Насос акумуляторних баків:  $P_H = 11$  кВт;  $I_{Н.ДВ} = 22$  А.

Згідно вище згаданих умов вибираємо пускач ПМЛ-2200,  $I_{Н.П} = 25$  А.

Перевірка:  $I_{Н.П} \geq I_{Н.ДВ} \Rightarrow 25 \text{ А} > 22 \text{ А};$

$$I_{СР.Т} = 1,1 \cdot 22 = 24,2 \text{ А.}$$

Дальше виконуємо вибір теплового реле РТЛ-102104,  $I_{НЕСПР} = 13.25$  А.

Дренажний насос:  $P_H = 7,45$  кВт;  $I_{H,ДВ} = 14,8$  А.

Виконуємо вибір пускача ПМЛ-2200,  $I_{H,П} = 25$  А.

Перевірка:  $I_{H,П} \geq I_{H,ДВ} \Rightarrow 25 \text{ А} > 14,8 \text{ А}$ ;

$$I_{СР.Т} = 1,1 \cdot 14,8 = 16,3 \text{ А.}$$

Виконуємо вибір теплового реле РТЛ-102104,  $I_{НЕСПР} = 13,25$  А.

### 3.9 Умови вибору провідників напругою до 1000 В

Під час вибору перетину провідників в електричних мережах необхідно брати до уваги як робочі так і можливі аварійні випадки режиму мереж. Перетин проводів і кабелів напругою до 1000 В можна визначити за умовою нагрівання в залежності від розрахункової величини тривалого допустимого струмового навантаження при 25 °С: Основним параметром робочого режиму ліній і інших елементів мережі є величина тривалого або розрахункового струмового навантаження.

Вибір перетину провідників за розрахунковим струмовим навантаженням полягає в дотриманні наступної умови:

$$I_{трив.доп} \geq K \cdot I_{розр},$$

де  $I_{трив.доп}$  - величина тривало допустимого струму провідника, А;

$I_{розр}$  – значення розрахункового або тривалого струмового навантаження провідника, А;

$K$  – значення коефіцієнта захисту (для вибухонебезпечного середовища беруть 1,25, а для нормального середовища - 1).

Після вибору перетину провідників виконують їх перевірку за умовою узгодження із апаратом захисту:

$$I_{трив.доп} \geq K_3 \cdot I_{зах},$$

де  $I_{зах}$  – величина струму захисту автоматичного вимикача, А;

$K_3$  – значення коефіцієнта захисту (для вибухонебезпечного середовища беруть 1,25, а для нормального середовища - 1).

Для насоса акумуляторних баків:  $P_H = 11$  кВт;  $I_{H,ДВ} = 22$  А. Оскільки середовище в приміщеннях електричної котельні є нормальним, то  $K = 1$ ,  $K_3 = 1$ .

Вибираємо кабель марки АВВГ - 1 кВ (4×10) з алюмінієвими жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, полівінілхлоридною оболонкою і без захисного покриття [18]:  $I_{трив.дон} = 45 \text{ А}$ .

$$\text{Перевірка: } I_{трив.дон} \geq K_0 \cdot I_{розр} \quad \Rightarrow \quad 45 \text{ А} > 1 \cdot 22 \text{ А};$$

$$I_{трив.дон} \geq K_3 \cdot I_{зах} \quad \Rightarrow \quad 45 \text{ А} > 1 \cdot 10 \text{ А}.$$

2. Для шини 0,4 кВ. Шини вибираємо за розрахунковим струмом і перевіряємо за умовою нагрівання. З таблиці навантажень вибираємо  $I_{розр} = 170,8 \text{ А}$ .

Вибираємо алюмінієві шини А (20×3) - одна полоса на фазу [18]:  $I_{дон} = 215 \text{ А}$ .

$$\text{Перевірка: } 215 \text{ А} > 1 \cdot 170,8 \text{ А}.$$

### 3.10 Висновок до розділу 3

1. Виконано вибір схеми електропостачання котельні - систему з глухо-заземленою нейтраллю, оскільки вона є доцільнішою при розгалуженій мережі.

2. Виконано вибір мережі живлення та розподільної мережі, схеми комутації на високій напрузі, обладнання на напругу вище 1000 В та здійснено перевірку кабелів на стійкість до струмів короткого замикання, яка показала шини витримують динамічну дію, а кабелі - термічну дію струму.

3. На основі аналізу складеної схеми заміщення підстанції проведено визначення струмів короткого замикання в мережах до 1000 В.

4. Здійснено вибір електричного устаткування напругою до 1000 В для забезпечення ненормальних режимів роботи, оперативних перемикачів при нормальних режимах та захисту електричних кіл при ненормованих зниженнях напруги.

5. Виконано перевірку умови вибору провідників напругою до 1000 В за величиною розрахункового струмового навантаження.

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Розрахунок заземлення електрокотельні

При обслуговуванні електрокотельні небезпеку представляють не тільки неізольовані струмопровідні частини, що знаходяться під напругою, але і ті конструктивні частини електроустановки, які нормально не знаходяться під напругою, але можуть опинитися під напругою при пошкодженні ізоляції (корпуси електродвигунів, пускачі, баки трансформаторів, кожухи шин проводів, металеві каркаси щитів і тому подібне).

*Захисне заземлення* - це навмисне з'єднання якої-небудь частини електроустановки із заземляючим пристроєм для забезпечення електробезпеки [25].

Окрім захисного заземлення, в електроустановках застосовується *робоче заземлення*, призначене для створення нормальних умов роботи апарату або електроустановки [25].

До робочого заземлення відноситься заземлення нейтралей трансформаторів, генераторів, дугогасильних котушок. Без робочого заземлення апарат не може виконати своїх функцій або порушується режим роботи електроустановки. Для виконання заземлень різних призначень і різної напруги в електроустановках, територіально наближених одна до іншої, рекомендується застосовувати один загальний заземляючий пристрій, що задовольняє вимогам до заземлення цих електроустановок.

Заземляючий пристрій складається із заземлювача і заземляючих провідників. В якості заземлювачів можна використовувати природні заземлювачі:

- прокладені в землі сталеві водопровідні труби;
- труби артезіанських свердловин;
- сталеву броню і свинцеві оболонки силових кабелів, прокладених в землі;
- металеві конструкції будівель і споруд, що мають надійний контакт із землею;
- різного роду трубопроводи, прокладені в землі.

Розрахунок заземляючих пристроїв електрокотельні зводиться до визначення кількості вертикальних електродів, які потрібно помістити в землю, щоб отримати необхідний опір заземляючого пристрою. Електроди розташовуємо в ряд.

Приведемо початкові дані для розрахунку заземлення. Згідно вимог правил улаштування електрообладнання (ПУЕ) опір заземляючого пристрою для сумісного використання в електроустановках напругою до і вище 1000 В не повинно перевищувати  $R_{зп} \leq 4 \text{ Ом}$  [12].

У приміщенні електрокотельні є природний заземлювач – трубопроводи гарячої і холодної води. Через відсутність даних про їх опір розтіканню струму приймемо, що необхідний опір штучного заземлювача повинен бути рівним потрібному згідно ПУЕ:

$$R_{шт} = R_{зп} = 4 \text{ Ом.}$$

У приміщенні, що розраховується, окрім устаткування на напругу 0.4 кВ є високовольтне устаткування, яке також підлягає заземленню. Тому визначимо опір заземляючого пристрою за формулою:

$$R_{зп} = \frac{U_{розр}}{I_{розр}},$$

де  $U_{розр} = 125 \text{ В}$  - розрахункова напруга на заземляючому пристрої;

$I_{розр} = 42 \text{ А}$  - найбільший струм через заземлення при замиканні на землю на стороні 6 кВ.

Тоді

$$R_{зп} = \frac{U_{розр}}{I_{розр}} = \frac{125}{42} = 2.98 \text{ Ом}$$

Коли в приміщенні знаходяться електроустановки різних рівнів напруги, то значення опору заземляючого пристрою приймається мінімальним із потрібних, тому  $R_{зп} = 2.98 \text{ Ом}$ .

Для ґрунту типу суглинок питомий опір розтікання струму складає:

$$\rho_{шт} = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м.}$$

Значення питомого опору ґрунту на протязі року не залишається постійним. Ґрунт влітку висихає, а взимку промерзає - це позначається на провідності. Врахування даного чинника проводиться введенням підвищуючих коефіцієнтів:

-  $K_{ПОВ.В} = 4.5$ : для вертикальних електродів при довжині 2-3 м і глибині залягання 0.5-0.8 м;

$K_{ПОВ.Г} = 1.8$ : для горизонтальних електродів при глибині залягання 0.8 м.

Значення коефіцієнтів приведені для другої кліматичної зони.

Визначимо питомі опори з урахуванням підвищуючих коефіцієнтів:

$$\rho_{РОЗР.Г} = \rho_{ПИТ} \cdot K_{ПОВ.Г} = 100 \cdot 1.8 = 180 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{РОЗР.В} = \rho_{ПИТ} \cdot K_{ПОВ.В} = 100 \cdot 4.5 = 450 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Для другої кліматичної зони глибина промерзання ґрунту складає 2.6 метра, а довжина намічених до використання заземлюючих електродів складає 5 м. Така довжина виключає вплив погоди на питомий опір для вертикальних електродів, тому  $\rho_{РОЗР.В} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Знайдемо опір одного вертикального електроду, виконаного з прутка діаметром 12 мм і завдовжки 5 м. Дані по електродах:

$$d_E = 0.012 \text{ м}; \quad l = 5 \text{ м}; \quad \text{глибина залягання } t = 0.7 + 2.5 = 3.2 \text{ м}.$$

$$R_{ОД.В.Е} = \frac{\rho_{РОЗР.В}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot l}{d_E}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l}\right) \right);$$

$$R_{ОД.В.Е} = \frac{100}{2 \cdot 3.14 \cdot 5} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot 5}{0.012}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 3.2 + 5}{4 \cdot 3.2 - 5}\right) \right) = 22.72 \text{ Ом}.$$

Знайдемо зразкове число вертикальних заземлювачів при заздалегідь прийнятому коефіцієнті використання  $K_{ВИК} = 0.6$ .

$$n = \frac{R_{ОД.В.Е}}{K_{ВИК} \cdot R_{ЗИ}} = \frac{22.72}{0.6 \cdot 2.98} = 12.71 \text{ штук}.$$

Попередньо приймаємо  $n = 13$  штук.

Знаходимо опір горизонтальних електродів, які являють собою сталеві смуги розміром 40×4 см. Коефіцієнт використання з'єднувальної смуги 40×5 см

при числі заземляючих електродів більше 10 і відношенню відстані між заземлювачами до їх довжини рівний 1:  $K_{ВИК.Г} = 0.62$ , [26].

$$R_{Г.Е} = \frac{1}{K_{ВИК.Г}} \cdot \frac{\rho_{РОЗР.Г}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot l^2}{b \cdot H}\right),$$

де  $l$  – довжина смуги,  $l = 5 \cdot n = 5 \cdot 13 = 65$  м;

$b = 0.04$  м – ширина смуги;

$H = 0.7$  м – глибина залягання в ґрунті.

$$R_{Г.Е} = \frac{1}{0.62} \cdot \frac{180}{2 \cdot 3.14 \cdot 65} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 65^2}{0.04 \cdot 0.7}\right) = 8.97 \text{ Ом.}$$

Тоді необхідний опір, який повинні давати вертикальні електроди:

$$R_{В.Е} = \frac{R_{Г.Е} \cdot R_{ЗП}}{R_{Г.Е} - R_{ЗП}} = \frac{8.97 \cdot 2.98}{8.97 - 2.98} = 4.46 \text{ Ом.}$$

За методичним керівництвом [27] визначимо реальний коефіцієнт використання вертикальних електродів при їх розташуванні вздовж довгої сторони будівлі в ряд та загальному числі близько 10 і відношенню відстані між електродами до їх довжини 1:  $K_{ВИК} = 0.56$ . Тоді уточнимо число вертикальних електродів:

$$n = \frac{R_{ОД.В.Е}}{K_{ВИК} \cdot R_{В.Е}} = \frac{22.72}{0.56 \cdot 4.46} = 9.59 \text{ штук.}$$

Приймаємо остаточно число електродів 10. Електроди рівномірно розміщуємо вздовж довгої сторони будівлі.

## 4.2 Грозозахист електростанції

При проектуванні будівель і споруд системи електропостачання необхідно враховувати і запобігати можливості їх поразки ударами блискавки. Особливо це відноситься до відкритих електроустановок. Вірогідність поразки блискавкою якої-небудь споруди, не обладнаного молниезащитой, оцінюють формулою:

$$n = n_c \cdot (a + 6 \cdot h) \cdot (b + 6 \cdot h),$$

де  $n$  - очікуване число поразок блискавкою, 1/рік;

$n_C$  - середнє число поразок блискавкою на одиниці земної поверхні за рік в даному районі, 1/(м<sup>2</sup>·рік);

$a$ ,  $b$  і  $h$  - відповідно довжина, ширина і висота будівлі, що розраховується. У нашому випадку  $a = 70$  м,  $b = 25$  м,  $h = 7$  м.

Для Тернопільської області тривалість грозової діяльності складає приблизно 20 годин. Тоді

$$n_C = 2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}.$$

Тоді очікуване число поразок будівлі блискавкою в рік складе:

$$n = n_C \cdot (a + 6 \cdot h) \cdot (b + 6 \cdot h) = 2 \cdot 10^{-6} \cdot (70 + 6 \cdot 7) \cdot (25 + 6 \cdot 7) = 0.015 .$$

Блискавки характеризуються великою руйнівною дією, що пояснюється великою амплітудою, крутизною наростання і інтегралом струму. З вірогідністю 5% амплітудне значення струму блискавки перевищує 200 кА, тому не дивлячись на невелику вірогідність попадання блискавки, необхідно надійно захистити проєктовану установку. Згідно [27] розрахуємо зону грозо-захисту одиночного стержньового громовідводу. Вона є конусом з висотою

$$h_0 = 0.82 \cdot H ,$$

де  $H = 45$  м - висота громовідводу,

$$h_0 = 0.82 \cdot H = 0.82 \cdot 45 = 36.9 \text{ м},$$

і радіусом на рівні землі:

$$r_0 = (1.1 - 0.002 \cdot H) \cdot H = (1.1 - 0.002 \cdot 45) \cdot 45 = 45.45 \text{ м}.$$

Відстань від центру громовідводу до найвіддаленішої від неї точки будівлі по генеральному плану складає 43 метри. Таким чином, будівля електрокотельні надійно захищена від попадань блискавок.

### 4.3 Чинники, що визначають результат ураження електрострумом

До чинників, що впливають на результат ураження електричним струмом, відносять: величина струму; величина напруги; час дії; рід і частота струму; шлях замикання; опір людини; навколишнє середовище; фактор уваги [28].

Величина струму. По величині струми підрозділяються наступним чином:

- не відчутні (0,6 – 1,6 мА);
- відчутні (3 мА);
- відпускаючі (6 мА);
- не відпускаючі (10-15 мА);
- задушливі (25-50 мА);
- фібриляційні (100-200 мА);
- теплові дії (5 А і вище).

Величина напруги і час дії. Згідно ГОСТ 12.1.038-82 «Гранично допустимі величини напруги і струмів. Електробезпека» фактори величини напруги і час дії електричного струму приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Фактори величини напруги і час дії електричного струму

Час дії, сек.	Тривалість	до 30	1	0,5	0,2	0,1
Величина струму, мА	1	6	50	100	250	500
Величина напруги, В	6	36	50	100	250	500

При короткочасній дії (0,1-0,5 с) струм порядку 100 мА не викликає фібриляції серця. Якщо збільшити тривалість дії до 1 с, то цей же струм може привести до смертельного результату. Із зменшенням тривалості дії значення допустимих для людини струмів істотно збільшується. При зміні часу дії від 1 до 0,1 с допустимий струм зростає в 16 разів.

Крім того, скорочення тривалості дії електричного струму зменшує небезпеку поразки людини виходячи з деяких особливостей роботи серця. Тривалість одного періоду кардіоциклу (рис. 4.1) складає 0,075-0,85с.

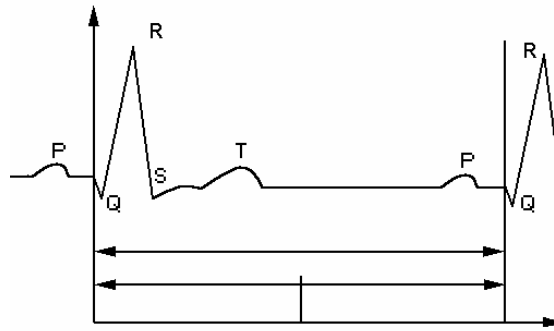


Рисунок 4.1 - Тривалість одного періоду кардіоциклу

У кожному кардіоциклі спостерігається період систоли, коли шлуночки серця скорочуються (пік QRS) і виштовхують кров в артеріальні судини.

Фаза *T* відповідає закінченню скорочення шлуночків і вони переходять в розслаблений стан. В період діостоли шлуночки наповнюються кров'ю. Фаза *P* відповідає скороченню передсердя. Встановлено, що серце найчутливіше до дії електричного струму під час фази *T* кардіоциклу. Для того, щоб виникла фібриляція серця, необхідне співпадання за часом дії струму з фазою *T*, тривалість якої 0,15 - 0,2 с. Із скороченням тривалості дії електричного струму вірогідність такого збігу стає меншою, а отже, зменшується небезпека фібриляції серця. У разі неспівпадання часу проходження струму через людину з фазою *T* струми, що значно перевищують порогові значення, не викличуть фібриляції серця.

Рід і частота струму. Постійний і змінний струми по різному впливають на організм головним чином при напрузі до 500 В. При такій напрузі ступінь ураження постійним струмом менший, ніж змінним тієї ж величини. Вважають, що напруга 120 В постійного струму за однакових умов еквівалентна по небезпеці напрузі 40 В змінного струму промислової частоти. При напрузі 500 В і вище за відмінностей в дії постійного і змінного струмів практично не спостерігаються.

Дослідження показали, що найсприятливішими для людини є струми промислової частоти (50 Гц). При збільшенні частоти значення невідпускаючого струму зростає. Із зменшенням частоти значення невідпускаючого струму теж зростає і при частоті, рівній нулю (постійний струм – больовий ефект), вони стають більшими приблизно в три рази.

Значення фібриляційного струму при частотах 50-100 Гц рівні, з підвищенням частоти до 200 Гц цей струм зростає приблизно в 2 рази, а при частоті 400 Гц зростає майже в 3,5 рази.

Шлях замикання струму. При дотику людини до струмопровідних частин шлях струму може бути різним. Всього існує 18 варіантів шляхів замикання струму через людину. Основні з них: *голова – ноги; рука – рука; права рука – ноги; ліва рука – ноги; нога – нога.*

Ступінь ураження в цих випадках залежить від того, які органи людини піддаються дії струму, і від величини струму, що проходить безпосередньо через серце. Так, при протіканні струму по шляху «*рука – рука*» через серце проходить 3,3% загального струму, по шляху «*ліва рука - ноги*» - 3,7%, «*права рука – ноги*» - 6,7%, «*нога – нога*» - 0,4%. Величина невідпускаючого струму по шляху «*рука – рука*» приблизно в два рази менша, ніж по шляху «*рука – ноги*».

Опір людини. Величина струму, що проходить через яку-небудь ділянку тіла людини, залежить від прикладеної напруги (напруга дотику) і електричного опору струму даною ділянкою тіла.

Між діючим струмом і напругою існує нелінійна залежність: із збільшенням напруги струм росте швидше. Це пояснюється головним чином нелінійністю електричного опору тіла людини. На ділянці між двома електродами електричний опір тіла людини в основному складається з опорів двох тонких зовнішніх шарів шкіри, що дотикаються до електродів, і внутрішнього опору решти частини тіла. Поганим провідником струму є зовнішній шар шкіри, що прилягає до електроду, і внутрішня тканина, що знаходиться під погано провідним шаром, як би утворюють обкладки конденсатора ємністю  $C$  і опором його ізоляції (рис. 4.2). Із збільшенням частоти струму опір тіла людини зменшується і при великих частотах практично стає рівним внутрішньому опору.

При напрузі на електродах 40-45 В в зовнішньому шарі шкіри виникають значні напруженості поля, які повністю або частково порушують напівпровідні властивості цього шару. При збільшенні напруги опір тіла зменшується і при

напрузі 100-200 В падає до значення внутрішнього опору тіла. Цей опір для практичних розрахунків може бути прийнятий рівним 1000 Ом.

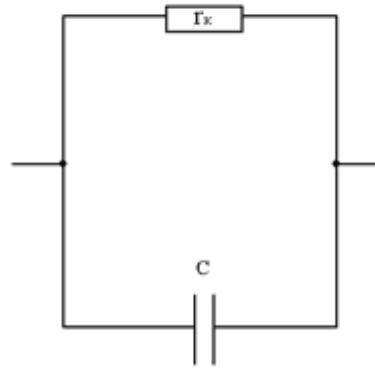


Рисунок 4.2 – Схема заміщення опору зовнішнього шару шкіри

*Навколишнє середовище.* Вологість і температура повітря, наявність заземлених металевих конструкцій і підлоги, струмопровідний пил і інші чинники навколишнього середовища роблять додатковий вплив на умову електробезпеки. У вологих приміщеннях з високою температурою або зовнішніх електроустановках складаються несприятливі умови, при яких забезпечується якнайкращий контакт з струмопровідними частинами. Наявність заземлених металевих конструкцій і підлоги створює підвищену небезпеку ураження внаслідок того, що людина практично постійно зв'язана з одним полюсом (землею) електроустановки. Струмопровідний пил також покращує умови для електричного контакту людини як з струмопровідними частинами, так і із землею.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було вирішено актуальну інженерно-технічну проблему, зокрема, розроблено проект системи електропостачання електрокотельні міського мікрорайону міста Івано-Франківськ.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи та проведених досліджень було отримано приведені нижче результати.

1. В результаті виконання поставленого завдання був проведений розрахунок електричного освітлення
2. Визначено визначено центр електричних навантажень електрокотельні.
3. Вибрано електроустаткування і головна понижуюча підстанція, трансформатори і КТП цеху, їх кількість та потужність, вибрано розподільну підстанцію
4. Виконано вибір схеми електропостачання - розраховані мережі живлення і розподільні мережі, схеми первинної комутації на напругу 110 кВ, апарати на напругу до 1000 В і вище 1000 В.
5. За результатами розрахунків виконано перевірку шин на термічну і електродинамічну стійкість, перевірку високовольтних кабелів на стійкість до струмів короткого замикання, розраховані струми трифазного короткого замикання в мережах напругою до 1000 В.
6. Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, які безпосередньо пов'язані з темою роботи.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні. // Техн. Електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67.
2. АТ «Прикарпаттяобленерго». Інноваційні проєкти. [https://oe.if.ua/uk/info\\_page/67b5dcd73e29ba36254a5f39#section-67b5dcd73e29ba36254a5f38](https://oe.if.ua/uk/info_page/67b5dcd73e29ba36254a5f39#section-67b5dcd73e29ba36254a5f38)
3. Закон № 1818-ІХ «Про енергетичну ефективність». Прийнятий Верховною Радою 21 жовтня 2021 року, надруковано в газеті «Голос України» 12.11.21 р.
4. Франчук І.А. Особливості державного регулювання енергетики в ринкових умовах [Текст] / І. А. Франчук // Вісник НАДУ при Президентіві України. – 2008. – № 4. С. 91-98
5. Мица Н.В. Сутність та проблеми енергозбереження в Україні [Електронний ресурс] / Н.В. Мица // Сталий розвиток економіки. – Режим доступу: [http://www.nbu.gov.ua/portal/soc\\_gum/sre/2011\\_4/40.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/sre/2011_4/40.pdf) (дата звернення: 25.04.2026)
6. Яворський, А., Жовтуля, Л., Цих, В., Рибіцький, І. (2024). Дослідження ефективності застосування систем електроопалення для навчальних аудиторій університету. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 331(1), 381-389. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-58>
7. Як правильно вибрати електричний котел. URL: <https://vencon.ua/articles/yak-vybraty-elektrychniy-kotel> (дата звернення: 25.04.2026)
8. Куделя, П. П. Енергетичний і ексергетичний аналіз типових систем опалення / П. П. Куделя, С. В. Дубовський // Енергетика: економіка, техно-логії, екологія : науковий журнал. – 2022. – № 2. – С. 25-34. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/54759> (дата звернення: 25.04.2026)
9. Переваги систем електричного опалення з нічним акумулюванням теплоти в умовах України / А.М. Андрющенко, В.Р. Нікульшин, А.Є. Денисова // Електротехніка і електромеханіка. - 2018. - № 2. - С. 24-30. - Бібліогр.: 10 назв. — укр. URL: <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/handle/123456789/149331>

10. «Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів». Наказ Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 р., № 258
11. Про енергетичну ефективність будівель [Електронний ресурс] : Закон України : [прийнято ВР України від 22.06.2017 № 2118-VIII] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2017. – № 33. – Ст. 359. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> (дата звернення: 28.02.2026)
12. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне / Міненерговугілля України. – 2017 р.
13. Енергоефективні світлодіодні освітлювальні системи: /З. Готра, В. Корна-га, В. Мартіросова, Г. Нікітський, І. Пастух, А. Рибалочка, В. Сорокін, В. Щиренко; ред.: В. Сорокін; НАН України, Ін-т фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова, Нац. ун-т «Львів. політехніка», НАМН України, Ін-т медицини праці. — Київ: Авіцена, 2016. — 334 с
14. Практикум з попередньої оцінки та розрахунку освітлення інженерних споруд, виробничих будівель : практикум / В. В. Смоляк, М. С. Лемешев, О. В. Березюк, В. П. Ковальський. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 81 с.
15. ГОСТ 13109-97. Електрична енергія. Сумісність технічних засобів. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. – Київ: Технічний комітет зі стандартизації в галузі електромагнітної сумісності технічних засобів. – 1999 р.
16. Оробчук Б., Микуляк В., Волос Р., Зниження втрат електроенергії в розподільних мережах при застосуванні накопичувачів енергії. Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф., (Тернопіль, 29-31 травня 2024) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2024.
17. Оробчук Б., Харевич В. Задачі компенсації реактивної потужності в міських розподільних електромережах. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 24–25 лист. 2021) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2021.

18. Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/уклад.: О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко / КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані (1 файл: 4,62 Мбайт).– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.– 183 с.
19. Розрахунок характеристик трансформаторів і електричних машин. Контрольні запитання, розрахункові завдання і методичні вказівки з дисципліни «Електричні машини» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад. В.В. Шевченко, О.Ю. Юр'єва, А.В. Єгоров ; за ред. В.І. Мілих – Харків : НТУ «ХП», 2019.– 32 с.
20. Орбчук Б., Терновий В. Підвищення надійності роботи силового обладнання підстанцій. Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2017 р.
21. Орбчук Б., Сирота С. Дослідження міжфазних замикань в мережі з резистивним заземленням нейтралі // Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2024.- С. 275-276
22. Бурбело, М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с.
23. Орбчук Б., Антонюк К. Вибір методів підвищення ефективності електропостачання на промислових підприємствах. VII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» – Тернопіль, ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2018 р.
24. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами: підручник / Ю.О. Карпов, С.Ш. Каців, В.В. Кухарчук, Ю.Г. Ведміцький; під ред. проф. Ю.О. Карпова – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 377 с.

25. Основи охорони праці: підручник для студентів вищих навчальних закладів // За ред. д.т.н., проф. М.П. Гандзюка - К.: Каравела, 2003. - 408 с.
26. Лут М.Т. Охорона праці в галузі. Методичні вказівки щодо виконання розділу у дипломних проектах студентів зі спеціальності 7.091901 «Енергетика сільськогосподарського виробництва». К.:НАУ,2000.-136 с.
27. Бондаренко О.В., Іоргачов Д.В.. Дослідження опорів заземлювальних пристроїв у неоднорідній землі // Методичне керівництво до лабораторної та навчально-дослідницької роботи студентів. – Одеса, 2003
28. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «Безпека в надзвичайних ситуаціях» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., – 156 с. Отримано з <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39196>
29. Оробчук Б.Я., Буняк О.А., Бабюк С.М., Сисак І.М., Вакуленко О.О. Методичні вказівки щодо виконання та оформлення дипломної роботи. Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017 р.