

**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

**магістр**

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Розробка заходів зниження втрат в системі електропостачання  
ремонтного цеху підприємства**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕЕМ-61  
спеціальності 141  
електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_  
(підпис)                      Герман Д.О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)                      Бабюк С. М.  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_  
(підпис)                      Вакуленко О. О.  
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)                      (прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис)                      Тарасенко М. Г.  
(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2020

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

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М. Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 02 » вересня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Герману Дмитрію Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка заходів зниження втрат в системі електропостачання ремонтного цеху підприємства

Керівник роботи Бабюк Сергій Миколайович, к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «01» вересня 2020 року №4/7-545

2. Термін подання студентом завершеної роботи 10 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи Головна схема електричних з'єднань підприємства, графіки електричних навантажень підприємства, план розташування та технічні характеристики електрообладнання, паспортні дані та технічна документація на комутаційне обладнання.

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Електрично-принципова схема живлячої та розподільчої мереж 1л. ф – А1

2. План розташування силового електрообладнання 1л. ф – А1

3. План розміщення мережі електроосвітлення 1л. ф – А1

4. Схема електричного з'єднання обладнання КТП 1л. ф – А1

5. Схема заземлення трансформаторної підстанції 1л. ф – А1

### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Вакуленко О.О., старший викладач		

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2020 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	10.09.2020	
2	Аналітичний розділ	20.10.2020	
3	Проектно-конструкторський розділ	15.11.2020	
4	Розрахунково-дослідницький розділ	01.12.2020	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	10.12.2020	
6	Висновки	10.12.2020	
7	Оформлення пояснювальної записки	20.12.2020	
8	Оформлення графічної частини	20.12.2020	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Герман Д.О.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Бабюк С. М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Герман Д.О. Розробка заходів зниження втрат в системі електропостачання ремонтного цеху. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕм-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2020.

Стор.– 72; рис. - 4; табл. - 9; креслень - 5; джерел - 23; додатків -   .

У кваліфікаційній роботі магістра здійснено розробку заходів зниження втрат в системі електропостачання ремонтного цеху.

Проведено розрахунки електричного навантаження цеху, розрахунок та вибір пристроїв компенсації реактивної потужності, розрахунок та вибір кількості та потужності силових трансформаторів на підстанції, вибір високовольтної схеми електропостачання та розрахунок лінії електропередач. Для схеми електропостачання підприємства розраховані струми короткого замикання. Здійснено перевірку проводів та кабелів на термічну та електродинамічну стійкість. Вибрані комутаційні апарати – вимикачі та роз'єднувачі.

Для забезпечення безпечних умов праці на підприємстві проведено розрахунок і проведено розробку контуру заземлення. Також проаналізовані та обрані основні заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Перелік ключових слів: ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, КОМПЕНСАЦІЯ, РОЗПОДІЛЬЧИЙ ПРИСТРІЙ, СПОЖИВАЧІ, ТРАНСФОРМАТОР, БЕЗПЕКА, ЗАЗЕМЛЕННЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Техніко-технологічний аналіз та характеристика основних видів виробничих процесів	8
1.2 Вимоги, що ставляться до систем електропостачання	10
1.3 Аналіз та вибір величини напруги для живлення струмоприймачів підприємства	12
1.4 Розробка заходів з енергозбереження для об'єкта, що проектується	13
1.5 Висновки до розділу 1	17
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Вибір та обґрунтування можливих варіантів технічної реалізації та методів розрахунків	18
2.2 Вибір електричних двигунів для технологічного обладнання	20
2.3 Розрахунок електричного навантаження на ділянці	21
2.4 Компенсація реактивної потужності (застосування ТКРП)	25
2.5 Вибір кількості та потужності силових трансформаторів на підстанції	26
2.6 Вибір та розрахунок високовольтної схеми електропостачання та лінії електропередачі	30
2.7 Висновки до розділу 2	34
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	35
3.1 Обчислення струмів при короткому замиканні на стороні високої (10 кВ) і низької (0,4 кВ) напруги	35
3.2 Обчислення та перевірка високовольтного обладнання	40
3.3 Обчислення та перевірка вимірювального трансформатора струму та напруги	42

3.4 Дослідження кабелю на термічну міцність	43
3.5 Вибір низьковольтної схеми розподілу електроенергії та розрахунок елементів захисту	44
3.6 Релейний захист, автоматика й облік електроенергії	51
3.7 Розрахунок газового захисту	53
3.8 Розрахунок та вибір освітлювальних установок	57
3.9 Висновки до розділу 3	61
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	62
4.1 Розрахунок і конструктивне виконання заземлюючих пристроїв	62
4.2 Загальне планування	63
4.3 Безпека на робочому місці	65
4.4 Промисловий пожежний захист	67
4.5 Висновки до розділу 4	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	71

## ВСТУП

**Актуальність проблеми дослідження.** Проблеми енергоефективності поряд зі збільшенням безпеки екологічного виробництва та підвищенням політики соціальності стають центральним об'єктом дослідження теперішньої теорії та практики керування промисловими підприємствами. Кількість впроваджених проєктів щодо підвищення енергоефективності у компаніях та підприємствах зростає кожного року ще більше і більше, розповсюджується в такі області, як проєктування, розробка енергоефективних будівельних споруд та компонентів виробничого сектора. Поширення таких проєктів є основним напрямком розвитку та діяльності для підприємств України різного типу діяльності.

В електроенергетичній системі генерована потужність передається через систему передачі високої напруги та доходить до споживачів низької напруги на стороні розподілу. У розподільній системі втрати дуже високі в порівнянні з системою передачі через високі коефіцієнти, високий струм і низька напруга. Відомий факт, що економічне спонукання розподільчих компаній полягає у мінімізації втрат у їхніх мережах. Загалом, це різниця у вартості, отримана між реальними та стандартними збитками.

Для вирішення проблеми мінімізації збитків досліджуються та застосовуються різні підходи. Однак вони відрізняються один від одного вибором інструменту мінімізації втрат, формулюванням проблеми, застосовуваними методами та отриманим рішенням.

У електроенергетиці тема зменшення втрат була, є і буде завжди актуальною.

### **Мета і завдання дослідження**

Метою кваліфікаційної роботи є розробка заходів зниження втрат в системі електропостачання ремонтного цеху підприємства.

У даній роботі, для досягнення мети, будуть розв'язуватись такі завдання:

- характеристика цеху підприємства, техніко-технологічна характеристика основних видів виробничих процесів, а саме вимоги до електричного обладнання та електропостачання в цілому;
- аналіз вибору роду струму та величини напруги для стабільної роботи обладнання;
- розрахунок та аналіз електричного навантаження, компенсації реактивної потужності та вибір кількості і потужності силових трансформаторів;
- розрахунок та аналіз струмів короткого замикання для подальшого вибору релейного захисту, автоматики та інших захисних пристроїв для високовольтної та низьковольтної схеми розподілу електроенергії;

**Об'єкт дослідження** – електричні мережі промислового підприємства.

**Предмет дослідження** - розробка заходів зниження втрат електричної енергії в мережі промислового підприємства.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Дістало подальший розвиток дослідження та розробка методів для зниження втрат електричної енергії у цехових мережах промислових підприємств.

**Практичне значення.** Впровадження розроблених заходів, дозволить знизити витрати електричної енергії і тим самим зменшити витрати підприємства на одиницю продукції.

**Апробація.** Основні положення та результати досліджень доповідались та обговорювались на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій", на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Структура роботи.**

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (23 найменування).

Загальний обсяг текстової частини – 72 сторінки.



## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Техніко-технологічний аналіз та характеристика основних видів виробничих процесів

У цеху підприємства в більшості випадків виконується малий і середній ремонт.

Цех в основному займається монтажем і має декілька напрямів:

- електромонтаж;
- монтаж і футерування печей;
- ремонт агрегатів;
- ремонт власного технологічного обладнання.

У цеху також займаються масовим виготовленням електричних шаф різного призначення та різних габаритів.

Для ремонту, монтажу та виготовлення продукції на дільниці використовується різноманітне обладнання. Технологічне обладнання поділяється на: основне та допоміжне.

До основного відносять обладнання, призначене для виконання технологічних операцій (різання заготовок, токарна обробка, штампування).

До допоміжного обладнання відносять крани, візки, конвеєри.

Основний виробничий процес у цеху відбувається за такими стадіями:

#### 1. Заготівельна.

Призначення спрямоване на виробництва первинних заготовок різноманітних деталей. У цій стадії методи виробництва досить різні. Скажімо, вирізування, штампування або кування з листового металу каркас електрошафи. Основне завдання технологічного процесу на даній стадії це підготовка цільних заготовок, які будуть більш схожі на готові деталі.

#### 2. Обробна.

На даній стадії виконується зовнішня обробка деталей методом механічного та термічного впливу.

Обладнання, яке використовується для виконання характерних операцій також є різноманітним. З верстатів, використовується металорізальний, обробку температурою проводять за допомогою печей і також використовується пристрій, у якому обробка проводиться, використовуючи хімічні сполуки.

За допомогою обробної стадії, деталі, отримані на заготівельний, підганяють до заданих розмірів, визначених технологічним процесом.

### 3. Складально-монтажна

На цій стадії, з зрізних готових деталей проводиться збірка цільового готового продукту.

На підприємствах використовують два основні типи складання та монтажу.

Стационарний - готовий продукт збирається на одному місці в одному приміщенні.

Рухливий - продукт набуває готового стану поступово. Монтаж проходить при переміщенні заготовки з одного приміщення в друге, з одного місця в інше.

Основні засоби роботи на даній стадії це конвеєри, кари верстати, стенди, які переміщують заготовку. Складальна стадія, взагалі, характеризується великою кількістю роботи, яка проводиться вручну.

Механізація та вдосконалення цієї стадії, на даний час, це основне завдання, яке б поліпшило робочий процес.

### 4. Регулювально-налагоджувальна стадія

Завершальна стадія, мета якої є вимір технічних параметрів виробу, спрямованих на відповідність виробу до основного прикладу. Готові вироби виступають на даній стадії предметом праці.

Вимірвальні стенди, контрольна апаратура та інші знаряддя, використовують для визначення характеристик продукту виступають знаряддям праці.

## 1.2 Вимоги, що ставляться до систем електропостачання

У цеху використовують різнофункціональне обладнання, це: токарні верстати, фрезерні верстати, заточувальні верстати, вентилятори, ножиці, крани, силові трансформатори та освітлювальні прилади. Усі споживачі складають загальне навантаження на ділянці.

Електроприводи виробничих механізмів займають найбільше місце серед електроприймачів промислових підприємств.

Режими й особливості роботи в основному визначаються характером основного виробництва, що зумовлює вибір для них типу і потужності електроприводів у великому діапазоні.

Електроосвітлювальні установки, як правило, є однофазними приймачами. Лампи можуть споживати потужність від десятків ват до декількох кіловат і живляться від напруги 220В. Світильники, які використовуються для місцевого освітлення живляться від напруги 12, 36 і 42 В і підключаються до мережі не на пряму, а через понижуючі однофазні трансформатори.

Якщо раптове відключення освітлення може загрожувати безпеці людей, встановлюють прилади для аварійного освітлення, які отримують живлення від незалежного джерела.

Для більш точного розрахунку електричного навантаження на ділянці, електроспоживачі, за графіками навантаження, можна поділити на три категорії:

### 1. Тривале навантаження.

Відноситься до електричних машин, навантаження яких не змінюється у часі або змінюється але не впливово. Температура при такому режимі не досягає максимального значення під час тривалої роботи споживача.

Таке навантаження характерне для насосів, компресорів, вентиляторів та інших подібних споживачів.

### 2. Короткочасне навантаження.

Відноситься до електричних машин, в яких чергується пуск і стоп. Під час роботи електричної машини період дуже малий за часом, тому її температура не досягає максимального значення, а під час зупинки, період якої дуже довгий, електрична машина охолоджується до номінальної температури (температури навколишнього середовища).

Такий принцип роботи характерний для металорізальних верстатів, гідравлічних затворів і взагалі до допоміжних агрегатів.

### 3. повторно-короткочасне навантаження.

Відноситься до споживачів, у яких період пуску і стопу однаковий. Ці періоди чергуються без зупинки.

Для повторно-короткочасного режиму характерна: тривалість включення та тривалість циклу. Принцип схожий на короткочасне навантаження, оскільки за час роботи температура не підвищується до максимальної, а за час зупинки встигає охолонути.

Щодо відношення до надійності живлення, та забезпечення безперебійного споживання, електричні апарати можна поділити на такі категорії:

#### 1 категорія.

Приймачі, для яких переривання постачання енергії може загрожувати життю людей або суттєвим матеріальним впливам внаслідок погіршення умов роботи заводу, масового браку виробництва або тривалого зриву виробничого процесу.

Електричні приймачі першої категорії в нормальних режимах обов'язково повинні отримувати живлення електроенергією від 2-х джерел. Ці джерела повинні бути, по-перше, незалежними і по-друге взаємно резервними. Перерив у живленні дозволяється на термін автоматичного відновлення, якщо споживання втрачене на одному з джерел.

Забезпечення живлення спеціальної групи електричних приймачів першої категорії повинно забезпечуватися також і від третього джерела, яке також має бути незалежним

Місцева електростанція, інша дільниця та подібні об'єкти можуть служити в якості 3-го джерела живлення для електричних приймачів і споживачів 1-ї категорії.

2 категорія.

Приймачі, живлення яких в нормальних режимах повинно відбуватися двома незалежними джерелами.

Перерва у постачанні даних споживачів при відключенні живлення допустима на час, який залежить від вимикача для ввімкнення резервної лінії або від дій червоно чи оперативної групи.

3 категорія

Споживачі, які не відносяться до категорій, названих вище, наприклад, споживачі, розташовані у допоміжних цехах, які не сильно визначають технологічний процес основного виробництва.

Для електричних споживачів даної категорії електроенергія подається від одного джерела живлення, без резервної лінії. Головною умовою для такої системи служить те, щоб простій, під час якого виконується заміна або ремонт пошкодженої ділянки не перевищував 24 години.

В даній роботі на цеху підприємства переважають споживачі, які можна віднести до 2 категорію. Такі споживачі повинні мати одне основне джерело та одне незалежне резервне. На дільниці використовується КТП з двома трансформаторами і перемикач з основного на резервне живлення здійснюється за допомогою автоматичного секційного вимикача.

### **1.3 Аналіз та вибір величини напруги для живлення струмоприймачів підприємства**

На дільниці найдоцільніше застосувати трифазну систему змінного струму 380/220 В частотою 50 Гц.

Оскільки маємо можливість одночасно та сумісно жити освітлювальні прилади та електродвигуни без застосування перетворювачів. Застосовуючи

систему 380/220 В отримаємо менші втрати електроенергії ніж при застосуванні системи 220/127 В. Інші нижчі системи напруги не дадуть жодних вигідних економічних рішень з точки зору техніко-економічних показників.

На дільниці є верстати, які працюють на змінному струмі але якщо присутні споживачі, які працюють на постійному струмі, то для таких споживачів встановлюється перетворювач напруги.

Низьковольтні пристрої, які використовуються як допоміжні працюють від напруги 12, 24, 36, 127 В змінного струму. Живлення отримують через понижуючі трансформатори у яких напруга на первинній обвиті 220 або 380 В. Тому спочатку аналізується та обирається основна напруга живлення та рід струму. При дотриманні правил техніки безпеки всі зазначені основні напруги цілком допустимі.

Для силового обладнання постійного струму напруга може вибиратися тільки з двох величин: 220 і 440 В; напруга 110 В використовується тільки в електричних схемах керування через неекономічність.

Трансформаторна підстанція дільниці отримує живлення від високовольтної кабельної лінії електропередач 10 кВ змінного струму частотою 50 Гц і через понижуючий трансформатор перетворює в напругу 0,4 кВ змінного струму тієї ж частоти. Електрообладнання цеху отримує живлення через шинопровід і кабельний канал.

#### **1.4 Розробка заходів з енергозбереження для об'єкта, що проектується**

Однією з особливостей роботи електричних систем є те, що для активної так і для реактивної енергії та потужності існує баланс. При транспортуванні і перетворенні електричної енергії завжди супроводжується витратами. Деяка частина витрачається на транспортування по ЛЕП і на перетворення у трансформаторі. Для того, щоб більше розуміти ці фізичні явища, що відбуваються в електричній мережі, вживаються ще такі терміни: «витрати

електричної енергії в електричних мережах на її транспортування», «транспортні витрати електроенергії».

На скільки великі ці втрати будуть залежить від самої кількості переданої енергії, типом кабелів і трансформаторів, рівнями напруги, наявністю пристроїв КРП – тобто технічним станом електричної системи і рівнем експлуатації. Методи зниження втрат, в основному, класифікуються на економічних критеріях.

Безвтратні заходи потребують для своєї реалізації значних експлуатаційних витрат. Залежність між витратами на розрахунок і експлуатаційні витрати на безвтратні заходи і кількість енергії, яка була зекономлена за їх рахунок електроенергії часто однакові. Але ці класифікації не враховують деяких обставин: по-перше – впливання режимів роботи окремих агрегатів на втрати електроенергії у мережі і по-друге – роль організацій (проектні, науково-дослідні, будівельні) у розробці і реалізації заходів по зниженню втрат електроенергії.

Електрична енергія завжди була і буде однією з найголовніших та найважливіших продуктів у кожній країні по всьому світу. На даний час головною метою і завданням кожного підприємства служить економія електроенергії, оскільки енергія, як і інші ресурси може бути виснажена.

На даний час на виробництвах використовується велика кількість методів, для зниження втрат при розподілі електроенергії та при споживанні.

Взагалі, методи можна поділити на 2 групи: керування мережею та керування споживачами. На дільниці доцільніше використовувати методи, зв'язані з керуванням споживачами, а саме:

1) розвиток споживачів:

- раціональне розміщення споживачів;
- використання споживачів-регуляторів.

2) режими роботи споживачів, які в свою чергу поділяються на прямі і непрямі.

Прямі:

- автономне керування споживачами або дистанційне керування;
- більш раціональне завантаження електрообладнання;
- використання автоматику при керуванні споживачами.

Непрямі:

- покращення енергетичних ознак електрообладнання;
- покращення технологічних процесів;
- покращення систем, які використовуються для обліку.

Проаналізувавши сучасні джерела, щодо економії електроенергії, виділив такі напрями, за допомогою яких на виробництвах можливо економити електроенергію:

- економія енергії за рахунок електроприводу;
- економія електроенергії під час експлуатації електричного обладнання.

В останній час почали користуватись методом реконфігурації мережі

У первинній системі низької напруги розподілу присутні два вимикачі: це секційний вимикач та перемикач. Реконфігурації мережі - це одночасна робота обох вимикачів у фідері, що не порушує робочу структуру.

Основними перевагами є:

- 1) швидке відновлення роботи при несправності фідера;
- 2) планування відключень;
- 3) менше перевантаження мережі, покращення якості напруги
- 4) мінімізація втрат.

Основною дією управління, що бере участь у реконфігурації, є операція перемикання. Процес реконфігурації можна обробити за допомогою класифікації алгоритмів за двома типами:

- 5) Обмін розгалуженнями - алгоритм повинен відкривати і закривати пари перемикачів і управляти системою у здійсненій радіальній конфігурації.
- 6) Циклічне вирізання - алгоритм повинен відкрити перемикачі, щоб досягти реальної радіальної конфігурації для повністю з'єднаної системи.



Головний метод для зменшення споживаної електроенергії відбувається за допомогою зниження втрат у системі постачання, а саме у трансформаторі та лініях електропередач.

Безсумнівно, одним із головних методів є технологічний процес, який треба вдосконалювати та модернізувати, тобто використовувати методи, для більш раціонального живлення двигунів верстатів.

Знизити втрати у трансформаторі можна шляхом раціонального вибору потужності трансформаторів, їх числа на ділянці та оптимального режиму роботи.

Зниження втрат у лініях можна досягти шляхом регулювання величини сили струму, яка протікає у лінії. Задачею служить зменшення протікаючого струму. Вирішенням цієї задачі може бути збільшення напруги у системі та застосування працюючих паралельних і резервних ліній.

Як відомо, в години максимуму у енергосистемі споживання електроенергії збільшується. Тому особливим значенням служить зниження саме електричного навантаження у ці години максимуму.

Зменшення втрат шляхом економії електроенергії в електроприводі реалізовується такими процесами:

- кількістю енергії, яка споживається;
- енергоуправлінням процесу енергоспоживання.

Ці процеси не основні і являють собою тільки частину від загальних методів.

Ще один з напрямків економії електроенергії – це застосування засобів КРП.

Значна економія електроенергії у системі електропостачання відбувається як раз за рахунок методів компенсації, а саме:

- використання конденсаторних батарей;
- використання синхронних двигунів;
- використання синхронних компенсаторів.

Застосування таких пристроїв значно підвищить ККД у системі та підвищить якість електроенергії.

Освітлення, точніше, витрати на освітлення звернули на себе особливу увагу, оскільки кількість енергії, яка витрачається на освітлення діляниць та підприємства в цілому зростає з кожним разом. При розрахунку навантаження близько 15-20 відсотків втрат приходиться на освітлювальні установки.

Збільшення споживання енергії відбувається за рахунок того, що світильники, які встановлюються, мають дуже малий ККД, а також за рахунок нераціонального розміщення світильників.

### **1.5 Висновки до розділу 1**

У цеху підприємства виконується ремонт електрообладнання та виготовлення продукції (електрошаф) з використанням різноманітного електрообладнання та верстатів.

У даному розділі були розглянуті основні виробничі процеси, технологічне обладнання, вимоги до електрообладнання. Проаналізовані групи споживачів електроенергії.

За графіком навантаження споживачі були віднесені до групи з тривалим навантаженням та мають другу категорію за надійністю живлення.

Був обраний рід струму, величина напруги у цеху. Виконавши аналіз системи, прийшли до висновку, що найдоцільніше застосувати трифазну систему змінного струму 380/220 В частотою 50 Гц.

Були обрані електричні двигуни для технологічного обладнання. При проектуванні електрообладнання технологічна та механічна частини виробничого механізму, як правило, відомі, тому при виборі системи електропривода варто дотримувалися вимог на проектування та ПУЕ.

Проаналізувавши спеціальну електротехнічну літературу, були обрані найдоцільніші методи, які можуть використовуватися для економії електроенергії на об'єкті, що проектується.

## 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вибір та обґрунтування можливих варіантів технічної реалізації та методів розрахунків

Як я акцентував раніше, можна виділити велику кількість методів, за допомогою яких можна зменшити втрати електроенергії, тому хочу поділити їх на 2 групи: організаційні методи та технічні методи.

До організаційних методів відносяться заходи, за допомогою яких зменшення втрат відбувається за рахунок раціоналізації роботи схем електромережі і режимів роботи обладнання, а саме:

- раціональне розміщення КТП;
- автономне керування споживачами або дистанційне керування;
- більш раціональне завантаження електрообладнання;
- використання автоматику при керуванні споживачами;
- покращення систем, які використовуються для обліку.

До технічних методів відносяться заходи, щодо зниження витрат електроенергії, яка розтрачується на фізичні процеси електричної мережі та на елементи електричних машин. Технічні методи складаються з:

- раціоналізації та вдосконалення технологічного процесу споживання електроенергії електродвигунами;
- зменшенням втрат електроенергії в трансформаторах;
- зменшенням втрат в лініях живлення;
- економії електроенергії методами компенсації реактивної потужності;
- реконфігурації мережі;
- використанням споживачів-регуляторів.

Більш детальний опис організаційних методів, спрямованих на забезпечення нормованих показників якості електричної енергії

Основними пунктами оптимального вибору місця розташування трансформаторної підстанції підприємства є:

- розміщення електричних навантажень на плані підприємства;
- особливості споруди (дільниці);
- схеми й способи прокладання електричних кабелів;
- величина електричних навантажень.

Основний критерій вибору місця розміщення трансформатора - це мінімум сумарних витрат на мережу, складовою частиною якої є ця трансформаторна підстанція.

Для зменшення несподіваних відключень, треба використовувати автономні системи енергопостачання. Аналіз світових тенденцій розвитку вказаних систем показує, що найбільш сучасними є СЕП автономного споживача із використанням відновлюваних джерел енергії. Причому для того, щоб не відволікати споживачів від основної діяльності, апаратура повинна працювати в автоматичному режимі.

Почерговий пуск і стоп однотипних агрегатів у режимі максимуму навантаження. Для зниження максимуму навантаження енергосистеми треба організувати й підтримувати спільний режим роботи потужних агрегатів, (наприклад дугові печі), при якому періоди розплаву в печах не збігаються в часі, що дасть змогу знизити потужність підприємств і вирівняти графіки навантаження мереж.

Для зменшення витрат електроенергії, найбільш ефективним методом може стати використання автоматизованих систем та лічильників обліку електроенергії. Такі лічильники дозволяють розв'язувати одразу велику кількість задач, а саме: знімати показання на відстані, виявляти втрати, а також миттєво обмежувати або взагалі відключати споживача від електроенергії. Лічильники може запам'ятовувати дані про кількість споживаної енергії у своїй «пам'яті» і також зберігають їх на спеціальному сервері. Такі технології мають захистити від втручання і сигналізують про несанкціоновані втручання.

Технічні методи, як сказано вище, розглядають фізичні процеси, які впливають на якість електроенергії. Тому для вирішення завдання треба вдатися до розрахунків

## 2.2 Вибір електричних двигунів для технологічного обладнання

При проектуванні електрообладнання технологічна та механічна частини виробничого механізму, як правило, відомі.

При виборі системи електропривода варто дотримуватися вимог на проектування та ПУЕ. Вибір двигуна для приведення в рух будь-якого механізму пов'язаний із забезпеченням ряду вимог, основними з яких є наступні: номінальна напруга двигуна повинна відповідати напрузі мережі; створюваний момент повинен забезпечувати динамічні і статичні режими без допустимого перевищення температури; перевантажувальна здатність двигуна повинна забезпечувати роботу електроприводу при короткочасних пікових навантаженнях; швидкість, яку регулюють у двигуні повинна відповідати вимогам технологічного процесу та ін.

Така електрична машина, як двигун, буде надійно і тривало працювати, тільки тоді, коли його розрахунок був виконаний коректно, а також правильно обраний, враховуючи теплові та динамічні режими. Також двигун не повинен забруднювати навколишнє середовище.

Для вибору системи електроприводу необхідно чітко уявляти собі технологічні вимоги до приводу того механізму, для якого він вибирається.

Встановлення таких вимог полегшує вибір оптимальної системи електроприводу, тобто такою, що найбільш простий і дешевий з усіх систем, що забезпечують бажані експлуатаційні показники механізму. Вибір електродвигуна визначається навантаженням, номінальною швидкістю руху, необхідним діапазоном регулювання швидкості приводу, жорсткістю механічних характеристик, числом вмикань за годину і т.д.

Асинхронні електродвигуни (АД) мають значні переваги за своїми властивостями, характеристикам і експлуатаційним даними перед двигунами інших типів. Конструкція двигуна найпростіша, надійна і економічна.

Більше поширення мають АД з короткозамкненим ротором, так як вони дешевші і простіші у виготовленні й експлуатації, мають достатню жорсткість механічної характеристики. Обрані двигуни приведені у таблиці 1.

Таблиця 2.1 - Вибір електродвигунів

№ з\п	Найменування обладнання	Тип двигуна	Потужність, кВт
1	Поперечно-стругальні верстати	4A180S4 У3	20
2	Токарно-револьверні верстати	4A180S2 У3	19
3	Одношпиндельні автомати токарні	4A160S4 У3	15
4	Вентилятори промислові	4A225M6 У3	34
5	Вібраційні ножиці	4A160M6 У3	12
6	Горизонтально-фрезерні верстати	4A160M2 У3	15
7	Наждакові верстати	4A132M4 У3	10
8	Заточувальні верстати	4A180M6 У3	15
9	Мостовий кран	4A200L6 У3	25

### 2.3 Розрахунок електричного навантаження на дільниці

Початкова стадія при проектуванні починається з розрахунку електричного навантаження усіх споживачів, які експлуатуються на дільниці підприємства. Від правильності розрахунку навантаження, найголовніше, будуть залежати втрати електроенергії у цеху, а також капітальні і експлуатаційні втрати.

Тому розрахунок навантаження є дуже важливим етапом при проектуванні і неточні розрахунки можуть призвести до зниження техніко-економічних даних на дільниці і на підприємстві взагалі.

При проектуванні системи електропостачання, будемо користуватися трьома видами навантаження, а саме:

P - активна потужність;

Q - реактивна потужність;

I - струм.

А при розрахунку системи електропостачання, використовуємо такі навантаження:

- середнє значення навантаження при максимально завантаженій зміні для того, щоб визначити кількість споживаної енергії і розрахункового навантаження;

- максимальнє значення активної і реактивної енергії за півгодинний період для правильного розрахунку та вибору розподільних елементів за нагрівом;

- для коректного вибору захисної апаратури, струму уставки і коливань напруги визначається піковий струм.

Ведеться розрахунок середнього навантаження при максимально завантаженій зміні.

Найбільш підходящий метод розрахунку - це метод «упорядкованих діаграм».

Для більш точного і правильного розрахунку треба знати кількість електроспоживачів і схему їх розташування у цеху.

За таблицею знаходиться коефіцієнт використання для схожих споживачів, які попередньо треба об'єднати у групи.

Знаходиться номінальна потужність для споживачів, які працюють у повторно-короткочасному режимі, маючи тривалість їх вмикання по паспорту, кВт:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{TB_{\text{пасп}}}, \quad 1$$

$$P_{\text{ном}} = 40 \cdot \sqrt{0,4} = 25.$$

Розрахунок активної потужності для кожної групи споживачів, попередньо поділених за технологічним принципом, кВт:

$$P_1 = (P_{\text{ном1}} \cdot n_1), \quad 2$$

$$P_1 = 5 \cdot 20 = 100.$$

Розрахунок реактивної потужності для кожної групи споживачів, кВАр:

$$Q_1 = P_1 \cdot \text{tg} \varphi_1 \quad (3)$$

$$Q_1 = 100 \cdot 1,33 = 133.$$

Розрахунок активної потужності при середньозмінному періоді, кВт:

$$P_{зм} = P_1 \cdot K_B,$$

$$P_{зм} = 100 \cdot 0,14 = 14. \quad (4)$$

Розрахунок реактивної потужності при середньозмінному періоді, кВАр:

$$Q_{зм} = Q_1 \cdot K_B,$$

$$Q_{зм} = 133 \cdot 0,14 = 18,6. \quad (5)$$

Максимальне навантаження.

Дане навантаження у цеху розраховується через добуток середньозмінного навантаження «Рзм» на коефіцієнт максимуму «к<sub>м</sub>», кВт:

$$P_{макс} = P_{зм} \cdot k_M. \quad (6)$$

Коефіцієнт максимуму :

$$k_M = f(n_{ef}). \quad (7)$$

Розрахунок допоміжної величини:

$$m = P_{ном.макс} / P_{ном.мін},$$

$$m = 34/10 = 3,4. \quad (8)$$

У випадку  $m > 3$ , відбувається розрахунок середнього коефіцієнта дільниці:

$$k_{вс} = P_{зм} / \sum P_{вст}, \quad (9)$$

$$k_{вс} = 167,2/1005 = 0,17.$$

За даною формулою ведеться розрахунок ефективного числа споживачів:

$$n_{ef} = 2 \cdot \sum P_{вст} / P_{ном.макс}, \quad (10)$$

$$n_{ef} = 2 \cdot 1005 / 34 = 59.$$

У даному випадку приймаємо  $n_{ef} = n_{дійсне} = 59$ .

$$P_{макс} = P_{зм} \cdot K_M, \quad (11)$$

$$P_{макс} = 167,2 \cdot 1,4 = 234,1.$$

Розраховується найбільше значення реактивної потужності, кВАр:

$$Q_{макс} = Q_{зм} = 210,9. \quad (12)$$



Розраховується найбільше значення повної потужності, кВА:

$$S_{\max} = \sqrt{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}, \quad (13)$$

$$S_{\max} = \sqrt{(234,1)^2 + (210,9)^2} = 315.$$

Розраховується потужність, яка використовується для освітлення, кВт:

$$P_{\text{осв}} = \delta \cdot k_3 \cdot k_n \cdot F_{\text{цех}} \cdot 10^{-3}, \quad (14)$$

$$P_{\text{осв}} = 16 \cdot 1,6 \cdot 0,95 \cdot 864 \cdot 10^{-3} = 21$$

Таблиця 2.2 – Дані розрахунків

№	Найменування електро-приймачів	Кіл.	Потужність при ТВ=100%	Сумарна потужність групи		cos φ	tg φ	k <sub>в</sub>	Середньо-змінна потужність групи	
				акт. Σ P <sub>ном</sub>	реакт. Σ Q <sub>ном</sub>				акт. P <sub>зм</sub>	реакт. Q <sub>зм</sub>
		шт.	кВт	кВт	кВАр	-	-	-	кВт	кВАр
1	Поперечно-стругальні верстати	5	20	100	133	0,6	1,33	0,14	14	18,6
2	Токарно-револьверні верстати	8	19	152	202,2	0,6	1,33	0,14	21,3	28,3
3	Одношпиндельні автомати токарні	5	15	75	87,8	0,65	1,17	0,22	16,5	19,3
4	Вентилятори промислові	9	34	306	358	0,65	1,17	0,22	67,3	78,8
5	Вібраційні ножиці	6	12	72	95,8	0,6	1,33	0,14	10,1	13,4
6	Горизонтально-фрезерні верстати	8	15	120	159,6	0,6	1,33	0,14	16,8	22,3
7	Наждакові верстати	4	10	40	53,2	0,6	1,33	0,14	5,6	7,5
8	Заточувальні верстати	6	15	90	119,7	0,6	1,33	0,14	12,6	16,8
9	Мостовий кран	2	25	50	99	0,45	1,98	0,06	3	5,9
	Разом по цеху	53		1005	1308,3				167,2	210,9

Висновок: цех підприємства має 53 електроприймачі, це: верстати універсального призначення, спеціалізовані верстати та верстати-автомати, які споживають потужність у 1005 кВт. На дільниці, максимальна реактивна потужність дорівнює 210,9 кВАр, максимальна повна потужність 315кВА. Потужність на освітлення становить 21 кВт.

#### 2.4 Компенсація реактивної потужності (застосування ТКРП)

Надмірне споживання реактивної потужності від системи приводить до значних втрат активної потужності на її передачу, втрат напруги, збільшення потужності трансформаторів та самих підстанцій. Таким чином необхідно генерувати реактивну потужність як можна ближче до споживача. Для цехової підстанції прийметься комплексна конденсаторна установка як найбільш розповсюджене джерело реактивної енергії. Але обладнання на компенсацію потребує витрат на придбання та експлуатацію.

Тому остаточне рішення про встановлення такого обладнання прийметься після техніко-економічного обґрунтування:

Знаходимо реактивну потужність яку потрібно скомпенсувати, кВАр:

$$Q_{\text{ку}} = P_{\text{макс}} \cdot (\text{tg}\varphi_{\text{макс}} - \text{tg}\varphi_{\text{е}}),$$

$$Q_{\text{ку}} = 234,1 \cdot (0,9 - 0,2) = 163,9.$$
(15)

$\text{tg}\varphi_{\text{е}}$  – це оптимальний кут, який відповідає величині  $Q_{\text{е}}$ :

$$\text{tg}\varphi_{\text{макс}} = Q_{\text{макс}} / P_{\text{макс}},$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{макс}} = 210,9 / 234,1 = 0,9.$$
(16)

По довіднику одну ККУ, щоб забезпечити:

$$Q_{\text{ку}} \geq Q_{\text{ку.ном}},$$

$$163,9 \geq 2 \cdot 75.$$
(17)

Виконуємо техніко-економічне обґрунтування застосування ККУ :

$$B_{\text{вк}} = \Delta P_{\text{к}} \cdot T \cdot B_0 \cdot Q_{\text{ку.ном}},$$

$$B_{\text{вк}} = 0,004 \cdot 2250 \cdot 2,19 \cdot 150 = 2956,5.$$
(18)

Амортизаційні відрахування, грн:

$$B_a = k \cdot \varphi / 100, \quad (19)$$

$$B_a = 18000 \cdot 7,5 / 100 = 1350.$$

Повні річні витрати, грн.:

$$B_{\text{кв}} = B_{\text{вкв}} + B_a + 0,15 \cdot k \quad (20)$$

$$B_{\text{кв}} = 2956,5 + 1350 + 0,15 \cdot 18000 = 7006,5.$$

Річна економія за рахунок зниження втрат активної енергії при зменшенні споживання реактивної потужності, грн:

$$E_{\text{ре}} = k_{\text{вв}} \cdot Q_{\text{квном}} \cdot T \cdot B_0 \quad (21)$$

$$E_{\text{ре}} = 0,13 \cdot 150 \cdot 2250 \cdot 2,19 = 96086,25,$$

$$E_{\text{ре}} \geq B_{\text{кв}},$$

$$96086,25 \geq 7006,5.$$

Висновок: Використання компенсувального обладнання 2хУК-0,38-75-УЗ доцільно, тому що річна економія перевищує повні річні витрати.

## 2.5 Вибір кількості та потужності силових трансформаторів на підстанції

При проектуванні було визначено, що споживачі на ділянці мають другу категорію надійності. Для цієї категорії встановлено, що треба застосовувати трансформаторну підстанцію з двома трансформаторами. Використання третього, якщо це не обґрунтовано за техніко-економічним розрахунком, не обов'язкове. Один трансформатор грає роль головного, а другий – резервного, тобто працювати вони повинні окремо.

Потужність трансформаторів обирається, враховуючи коефіцієнт завантаження. Цей коефіцієнт залежить від категорії споживачів, які розташовані на ділянці. Комплектні трансформаторні підстанції (КТП), основний об'єкт, де розташовуються трансформатори на ділянці. При порівнянні двох варіантів трансформаторів різної потужності, обирається той, який наближений до стандартних показників, такі як перевантаження, втрати

потужності і т.д.

Вибір трансформаторів для техніко-економічного розрахунку

З каталогу обираються два типи трансформаторів за повним навантаження на ділянці. КТП вибирається з двома і з одним трансформатором, так, щоб коефіцієнти завантаження були не більше 0,6.

З каталогу у таблицю заносяться паспортні дані обраних трансформаторів, а саме:

$\Delta P_{xx}$  - втрати холостого ходу;

$\Delta P_{кз}$  - втрати короткого замикання;

$I_{xx}\%$  - струм холостого ходу;

$U_{кз}\%$  - напруга короткого замикання;

Головним пунктом вибору трансформатора буде його економічність, тому у таблицю також заноситься їх повна вартість.

Розраховується повна потужність у цеху, кВА:

$$S_{розр} = \sqrt{(P_{зм} + P_{осв})^2 + (Q_{зм} - Q_{куном})^2} \quad (22)$$

$$S_{розр} = \sqrt{(167,2 + 21)^2 + (210,9 - 150)^2} = 197,8$$

З каталогу було обрано два типи комплектної трансформаторної підстанції, які відповідають категорії надійності.

1) КТП 2·ТМЗ -250/6-10-66;

2) КТП 2·ТМЗ -400/6-10-68.

Розраховується коефіцієнт завантаження, для кожного з трансформаторів:

$$k_з = S_{розр} / \sum S_{т.ном},$$

$$k_{з1} = 197,8 / 2 \cdot 250 = 0,4, \quad (23)$$

$$k_{з2} = 197,8 / 2 \cdot 400 = 0,25.$$

Розраховується втрати на холостий хід для кожного трансформатора, кВт:

$$\Delta' P_{xx} = \Delta P_{xx} + k_{ев} \cdot S_{тном} \cdot I_{xx} \% / 100\% , \quad (24)$$

$$\Delta' P_{xx1} = 1,05 + (0,13 \cdot 250 \cdot 2,3) / 100 = 0,75,$$

$$\Delta' P_{xx2} = 1,45 + (0,13 \cdot 400 \cdot 2,1) / 100 = 1,1.$$

Розрахунок втрат кожного трансформатора в режимі к.з. замикання, кВт:

$$\Delta' P_{кз} = \Delta P_{кз} + k_{\text{вв}} \cdot S_{\text{тнном}} \cdot U_{\text{к}} \% / 100\%,$$

$$\Delta' P_{кз1} = 3,7 + (0,13 \cdot 250 \cdot 4,5) / 100 = 1,5, \quad (25)$$

$$\Delta' P_{кз2} = 5,5 + (0,13 \cdot 400 \cdot 4,5) / 100 = 2,4.$$

Розраховуються повні втрати для кожного трансформатора, кВт:

$$\Delta' P_m = (\Delta' P_{xx} + k_3^2 \cdot \Delta' P_{кз}) \cdot n_m,$$

$$\Delta' P_{m1} = (0,75 + 0,4^2 \cdot 1,5) \cdot 2 = 1,9, \quad (26)$$

$$\Delta' P_{m2} = (1,1 + 0,25^2 \cdot 2,4) \cdot 2 = 2,5.$$

Кількість електроенергії споживають трансформатори за рік, кВт·год:

$$\Delta W_p = \Delta' P_m \cdot T,$$

$$\Delta W_{p1} = 1,9 \cdot 2250 = 4275, \quad (27)$$

$$\Delta W_{p2} = 2,5 \cdot 2250 = 5625.$$

Розраховуються вартість цих втрат електроенергії, грн:

$$B_{\text{в}} = \Delta W_p \cdot B_0,$$

$$B_{\text{в}1} = 4274 \cdot 2,19 = 9360, \quad (28)$$

$$B_{\text{в}2} = 5625 \cdot 2,19 = 12318.$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань, грн:

$$C_a = K \cdot \varphi / 100\%,$$

$$C_{a1} = 40000 \cdot 7,5\% / 100\% = 3000, \quad (29)$$

$$C_{a2} = 73000 \cdot 7,5\% / 100\% = 5475.$$

Повні річні витрати, грн:

$$B = B_{\text{в}} + C_a + 0,15 \cdot K, \quad (30)$$

$$B_1 = 9360 + 3000 + 0,15 \cdot 40000 = 18360$$

$$B_2 = 12318 + 5475 + 0,15 \cdot 73000 = 28743$$

У таблицю 3 заносяться усі, вище отримані результати.

Перевірка на перевантаження.

Максимальна потужність цеху, кВА:

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{(P_{\text{макс}} + P_{\text{осв}})^2 + (Q_{\text{макс}} - Q_{\text{ку.ном}})^2}, \quad (31)$$

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{(234,1 + 21)^2 + (210,9 - 150)^2} = 262,3.$$

Коефіцієнт перевантаження при максимальній потужності:

$$k_n = S_{\text{макс}} / \sum S_{\text{т.ном}} \leq 1,4$$

$$k_{n1} = 262,3 / 500 = 0,5 \leq 1,4 \quad (32)$$

$$k_{n2} = 262,3 / 800 = 0,3 \leq 1,4$$

Таблиця 2.3 – Дані розрахунків

№ з/п	Найменування	Позначення	Од. вимірювання	1 варіант	2 варіант
1	Розрахункова потужність	$S_{\text{розр}}$	кВА	197,8	197,8
2	Максимальна потужність	$S_{\text{макс}}$	кВА	262,3	262,3
3	Кількість трансформаторів	$n_T$	шт.	2·250	2·400
4	Коефіцієнт завантаження	$k_z$	в.о.	0,4	0,25
5	Коефіцієнт перевантаження аварійний	$k_{\text{п.ав}}$	в.о.	0,5	0,3
6	Повна вартість КТП	$K$	грн.	40000	73000
7	Втрати х.х.	$\Delta P_{\text{хх}}$	кВт	0,75	1,1
8	Втрати к.з.	$\Delta P_{\text{кз}}$	кВт	1,5	2,4
9	Струм х.х.	$I_{\text{хх}} \%$	%	2,3	2,1
10	Напруга к.з.	$U_{\text{кз}} \%$	%	4,5	4,5
11	Річне число годин роботи	$T$	год.	2250	2250
12	Норма амортизаційних відрахувань	$\varphi \%$	%	7,5	7,5
13	Повні приведені витрати трансформатора	$\Delta' P_m$	кВт	1,9	2,5
14	Втрати електроенергії за рік	$\Delta W_p$	кВт·год	4275	5625
15	Вартість втрат електроенергії за рік	$B_v$	грн.	9360	12318

16	Амортизаційні відрахування	Ca	грн.	3000	5475
17	Повні річні витрати	B	грн.	18360	28743

Висновок: У результаті техніко-економічного розрахунку приймається КТП першого варіанту 2хТМЗ -250/6-10-66, оскільки повні річні витрати цього варіанту менші ніж у другого.

## **2.6 Вибір та розрахунок високовольтної схеми електропостачання та лінії електропередачі**

При розрахунку схеми електропостачання цеху підприємства, вона повинна органічно зв'язана з технологічним процесом і відповідати йому за всіма пунктами. Схема електропостачання повинна бути універсальною та економічною, тобто якщо кількість або потужність окремих споживачів буде змінюватися, схема має тримати ту категорію надійності, на яку була розрахована, а також надавати безперебійне живлення новим споживачам без перебудови самої системи. При проектуванні системи електропостачання бажано передбачати модернізацію і введення в експлуатацію нового обладнання.

У даній роботі на дільниці в експлуатації знаходиться 53 споживача, з загальною потужністю 1005 кВт, що відноситься до великого виробництва. Для такої дільниці характерна внутрішньозаводська схема з дуже великою розгалуженістю мережі і тому кількість комутаційних приладів також велика. Загально прийнято, що схема внутрішнього розподілу у цехах будуються ступінчатої структури з кількістю ступеней, не перевищуючих 2 або 3, якщо більше, то для такої системи підвищується складність захисту мережі від замикань і сама комутація. Одноступінчаті схеми можна використовувати у тому випадку, коли підприємство має невелику загальну потужність. Розподільча схема має бути повністю зв'язана з технологічною схемою дільниці, споживачі повинні отримувати живлення поступово від різноманітних

технологічних ліній, від підстанції, трансформаторів розподільчих щитів та секцій шин в межах одної підстанції.

При проектуванні та розрахунку схеми внутрішнього електропостачання треба звертати особливу увагу на економічну частину, тобто при проектуванні треба правильно розташувати КТП та споживачі, щоб мінімізувати загальну довжину кабелю, кількість розподільчих пунктів і комутаційної апаратури всередині них. Є три типи схем, які використовують для розподілу:

1) Радіальна.

При використанні такої схеми споживач живиться від джерела напряму. Такі схеми проектуються одноступінчатими чи двоступінчатими та використовуються у малих і малопотужних підприємствах. Використовується схема для живлення окремих груп споживачів.

2) Магістральна.

При великій кількості споживачів, якщо використання радіальної схеми не вигідне, застосовують магістральну схему. Для даної схеми характерно те, що кількість кабелю та високовольтної апаратури зводиться до мінімуму. Мінімізація кількості апаратури є основним недоліком цієї системи, оскільки у такому випадку зменшується надійність електропостачання. В основному, магістральну схему використовують на малопотужних дільницях. У випадках, коли застосувати можна тільки магістральну схему, але це не вигідно підприємству, були розроблені модифікації:

- застосування подвійної магістралі, яка ділиться на окремі зарезервовані частини
- двопроменеві схеми, в яких застосовуються два окремих джерела і від яких живиться сама підстанція.

3) Змішана (радіально-магістральна).

Симбіоз двох попередніх схем, які на даний час використовуються на підприємствах, оскільки включають в себе переваги як радіальної, так і магістральної схеми. Застосування такої схеми підвищує техніко-економічні чинники на підприємстві.



Обирається схема в залежності від обраної території розміщення споживачів, режиму роботи споживачів, їх кількості та категорією надійності.

При розрахунку треба, щоб була обрана однакова напруга суміжних елементів. Таку напругу обирають при порівнянні двох або трьох варіантів

Для розрахунку потрібно знати категорію надійності, розрахункову потужність, довжину лінії. Приймаємо 2 варіанти напруг: 6 і 10 кВ.

Намічаються 2 – 3 варіанти напруги і розраховуються струми, А:

$$I_p = S_{розр} / \sqrt{3} \cdot U_{ном},$$

$$I_p = 197,8 / \sqrt{3} \cdot 6 = 19.$$
(33)

По розрахунковому струму намічаються ряд стандартних перерізів з виконанням умови:

$$I_{доп} \geq I_p,$$

$$60 \geq 19.$$
(34)

Коефіцієнт завантаження:

$$k_3 = I_p / I_{доп},$$

$$k_3 = 19 / 60 = 0,32.$$
(35)

Дійсні втрати електроенергії в лінії, кВт:

$$\Delta P_{\partial} = \Delta P_{ном} \cdot k_3^2 \cdot l,$$

$$\Delta P_{\partial} = 40 \cdot 0,32^2 \cdot 1,5 = 4,1.$$
(36)

Річні втрати електроенергії, кВт·год:

$$\Delta W_p = \Delta P_{\partial} \cdot T,$$

$$\Delta W_p = 4,1 \cdot 2250 = 9225.$$
(37)

Вартість втрат електроенергії, грн:

$$B_e = \Delta W_p \cdot B_0,$$

$$B_e = 9225 \cdot 2,19 = 20202.$$
(38)

Щорічні амортизаційні відрахування, грн:

$$C_a = K \cdot \varphi / 100,$$
(39)

$$K = k_0 \cdot l,$$

$$K = 44 \cdot 1,5 = 66.$$

$$C_a = 66 \cdot 3/100 = 1,98.$$

Повні річні витрати, грн:

$$B = B_B + C_a + 0,15 \cdot K,$$

$$B = 20202 + 1,3 + 0,15 \cdot 66 = 20209.$$

(40)

По інших варіантах розрахунки виконуються подібним методом. Результати розрахунків по кожному варіанту заносяться в таблицю. На основі аналізу результатів вибирається той варіант по напрузі та перерізу, який має мінімальні річні витрати.

Таблиця 2.4 – Дані розрахунків

№ з/п	U <sub>ном</sub> кВ	I <sub>p</sub> А	F <sub>каб</sub> мм <sup>2</sup>	I <sub>доп</sub> А	K <sub>0</sub> грн	K грн	k <sub>з</sub> в.о.	ΔP <sub>ном</sub> кВт	ΔP <sub>д</sub> кВт	ΔW <sub>p</sub> кВт·год.	B <sub>B</sub> грн.	C <sub>a</sub> грн.	B грн.
1	6	19	10	60	44	66	0,32	40	4,1	9225	20202	1,98	20209
2	6	19	16	80	46	69	0,24	45	2,6	5850	22776	2	22784
3	6	19	25	105	49	73	0,18	50	1,6	3600	14016	2,1	14024
4	6	19	35	125	53	74	0,15	51	1,2	2700	10512	2,2	10521
5	6	19	50	155	59	89	0,12	54	0,8	1800	7008	2,6	7018
6	6	19	70	165	66	99	0,11	59	0,71	2840	6219	2,9	5267
7	6	19	95	190	74	111	0,1	61	0,61	1372	5343	3,3	5356
8	10	11,4	16	75	47	71	0,15	36	0,81	1822	7095	2,13	7102
9	10	11,4	25	90	51	77	0,12	39	0,56	1260	4905	2,31	4913
10	10	11,4	35	115	56	84	0,09	42	0,34	765	2978	2,5	2987
11	10	11,4	50	140	62	92	0,08	44	0,28	630	2452	2,7	2463
12	10	11,4	70	165	70	105	0,07	50	0,25	562	2190	3,2	3262

Висновок: в результаті техніко-економічного розрахунку приймається переріз лінії живлення 50мм<sup>2</sup> на напругу 10 кВ, оскільки цей варіант дає мінімальні річні витрати.

## 2.7 Висновки до розділу 2

В даному розділі проведено розрахунки, та здійснено вибір асинхронних двигунів і їх потужність, дотримуючись теплових та електродинамічних умов, для кожного електричного обладнання. Виконаний розрахунок електричного навантаження у цеху підприємства.

При великому обсягу споживання реактивної потужності призводить до втрат активної потужності та втрат напруги, тому для зменшення споживання було розраховано та обрано з каталогу компенсуючий пристрій. На ділянці буде встановлено КТП з двома трансформаторами, оскільки споживачі мають другу категорію надійності, а потужність цих трансформаторів була розрахована таким чином, щоб відповідати вимогам споживачів та надійності.

У системі електропостачання, буде використовуватись змішаний (радіально-магістральний) тип схеми. На напругу 10 кВ, був розрахований та вибраний переріз лінії живлення.

### 3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Обчислення струмів при короткому замиканні на стороні високої (10 кВ) і низької (0,4 кВ) напруги

Для правильного вибору і перевірки надійності електричного, захисного обладнання, коректного вибору релейного захисту, розраховують струми короткого замикання на стороні ВН і НН. Обчислення буде відбуватися в іменованих одиницях використовуючи закон Ома. Опори будуть прирівнюватися до ступеня короткого замикання.

На рисунку 1 маємо 2 точки, в яких буде відбуватися розрахунок струмів, також миттєве значення цього струму і потужність замикання.

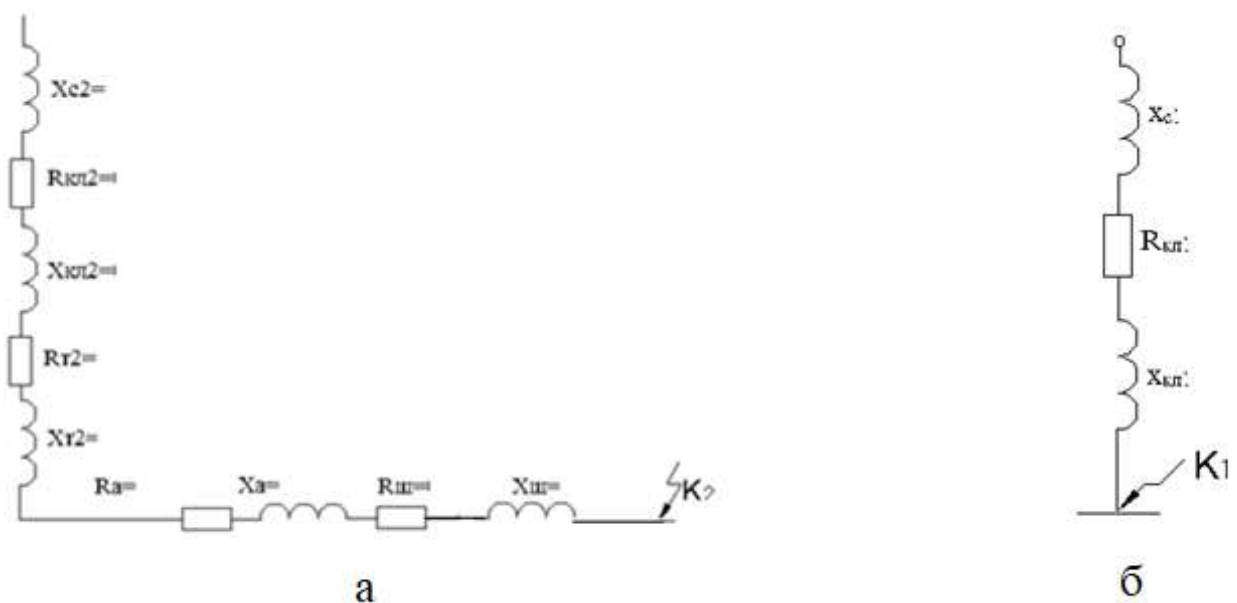


Рисунок 3.1- Схема струмів короткого замикання:

а - головна схема з'єднання;

б - схема заміщення.

Розроблена схема головних з'єднань з основними елементами. Відносно неї також розробляється схема заміщення, на якій залишаються тільки елементи з великим опором. Щоб при розрахунку компенсувати у більшу сторону похибку, напругу треба збільшити на 5%.

Якщо точка короткого замикання наближена до генератора, то вважається, що опір такої системи дорівнює нулю.

Розраховується загальний опір системи на ділянці, Ом:

$$\begin{aligned}x_c &= U_n^2 / S_{відкл}, \\x_c &= 10,5^2 / 227 = 0,48.\end{aligned}\tag{41}$$

Розраховується активний опір кабелю, Ом:

$$\begin{aligned}R &= 1000 \cdot l / \gamma \cdot F_K, \\R &= 1000 \cdot 1,5 / 32 \cdot 50 = 0,9.\end{aligned}\tag{42}$$

Розраховується індуктивний опір кабелю, Ом:

$$\begin{aligned}x_{K1} &= x_0 \cdot l, \\x_{K1} &= 0,08 \cdot 1,5 = 1,2.\end{aligned}\tag{43}$$

Розраховується результуючий опір до точки короткого замикання, Ом:

$$\begin{aligned}z_{рез} &= \sqrt{R_{рез}^2 + x_{рез}^2}, \\x_{рез} &= x_{c1} + x_{K1}, \\x_{рез} &= 0,48 + 1,2 = 1,68, \\z_{рез} &= \sqrt{0,9^2 + 1,68^2} = 1,9.\end{aligned}\tag{44}$$

Розраховується усталений струм короткого замикання, кА:

$$\begin{aligned}I_{кз}^{(3)} &= U_{н1} / \sqrt{3} \cdot z_{рез}, \\I_{кз}^{(3)} &= 10,5 / \sqrt{3} \cdot 1,9 = 3,1.\end{aligned}\tag{45}$$

Розраховується, для точки К1, ударний струм, кА:

$$\begin{aligned}i_y &= \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K1}^{(3)}, \\i_y &= \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 3,1 = 7,4.\end{aligned}\tag{46}$$

Розраховується для точки К1 потужність, яка виділяється при короткому замиканні, МВ · А:

$$S_{K1}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot I_{K1}^{(3)} \cdot U_{H1},\tag{47}$$

$$S_{K1}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 3,1 \cdot 10,5 = 56,4.$$

Заносимо отримані опори на схема заміщення (рисунок 1-б).

Тепер розрахунок короткого замикання буде відбуватися на стороні НН і для цього опори прирівнюються до напруги 0,4 кВ.

Значення опорів, які були розраховані на стороні ВН прирівнюються до напруги НН.

Розраховується опір системи, мОм:

$$\begin{aligned} x_{c2} &= x_{c1} \cdot (U_{H2}^2 / U_{H1}^2) \cdot 10^3, \\ x_{c2} &= 0,48 \cdot (0,4^2 / 10,5^2) \cdot 10^3 = 0,69. \end{aligned} \quad (48)$$

Розраховується активний опір кабелю на стороні НН, мОм:

$$\begin{aligned} R_{K2} &= R_{K1} \cdot (U_{H2}^2 / U_{H1}^2) \cdot 10^3, \\ R_{K2} &= 0,9 \cdot (0,4^2 / 10,5^2) \cdot 10^3 = 1,3. \end{aligned} \quad (49)$$

Розраховується реактивний опір кабелю на стороні НН, мОм:

$$\begin{aligned} x_{K2} &= x_{K1} \cdot (U_{H2}^2 / U_{H1}^2) \cdot 10^3, \\ x_{K2} &= 0,08 \cdot (0,4^2 / 10,5^2) \cdot 10^3 = 0,12. \end{aligned} \quad (50)$$

Розраховується опір для трансформатора:

$$\begin{aligned} R_T &= \Delta P_{кз} / S_{т.ном}, \\ R_T &= 1,5 / 250 = 0,006. \end{aligned} \quad (51)$$

Розраховується активний опір трансформатора, мОм:

$$\begin{aligned} R_T &= R_T \cdot (U_{H2}^2 / S_{т.ном}), \\ R_T &= 0,006 \cdot (400^2 / 250) = 3,84. \end{aligned} \quad (52)$$

Розраховується реактивний опір трансформатора, мОм:

$$\begin{aligned} x_T &= \sqrt{(U_K \% / 100\%)^2 - R_T^2} \cdot (U_{H2}^2 / S_{т.ном}), \\ x_T &= \sqrt{(4,5 / 100)^2 - 0,006^2} \cdot (400^2 / 250) = 28,8. \end{aligned} \quad (53)$$

Визначається струм на стороні низької напруги силового трансформатора, щоб визначити опорі автоматичного вимикача і шин, А:

$$I_{т.ном} = S_{т.ном} / (\sqrt{3} \cdot U_{т.ном})$$

$$I_{т.ном} = 250 / (\sqrt{3} \cdot 0,4) = 361$$
(54)

Для правильного вибору автоматичного вимикача, повинна дотримуватися умова Вибирається:

$$I_{т.ном} \leq I_{н.а},$$

$$361 \leq 400$$
(55)

Знаючи  $I_{н.а}$ , обраний з таблиці, знаходяться опори автоматичного вимикача:  $R_a=0,65$  мОм;  $x_a=0,17$  мОм.

З каталогу обирається стандартний переріз шини, знаючи  $I_{т.ном}$  за умови, що:

$$I_{шин} \geq I_{т.ном}$$

$$400 \geq 361$$

Зі стандартного перерізу шини визначається  $x_{0ш}=0,189$  Ом/км;  $R_{0ш}=0,125$  Ом/км.

Розраховується значення опору на кінці шини, мОм:

$$x_{ш} = x_{0ш} \cdot l_{ш},$$

$$R_{ш} = R_{0ш} \cdot l_{ш},$$

$$x_{ш} = 0,189 \cdot 10 = 1,89,$$

$$R_{ш} = 0,125 \cdot 10 = 1,25.$$
(56)

Розраховується активний загальний опір, мОм:

$$R_{рез} = R_{K2} + R_T + R_a + R_{ш}$$

$$R_{рез} = 1,3 + 3,84 + 0,65 + 1,25 = 6,9$$
(57)

Отримані значення опорів наносяться на схему заміщення.

Розраховується загальний реактивний опір, мОм:

$$x_{рез} = x_{c2} + x_{K2} + x_T + x_a + x_{ш}$$
(58)

$$x_{pez} = 0,69 + 0,12 + 28,8 + 0,17 + 1,89 = 31,7$$

Розраховується загальний повний опір, мОм:

$$z_{pez} = \sqrt{R_{pez}^2 + x_{pez}^2} \quad (59)$$

$$z_{pez} = \sqrt{6,9^2 + 31,7^2} = 32,4$$

Розраховується усталений струм трифазного короткого замикання, кА:

$$I_{K2}^{(3)} = U_{H2} / (\sqrt{3} \cdot z_{pez}) \quad (60)$$

$$I_{K2}^{(3)} = 400 / \sqrt{3} \cdot 32,4 = 7,1$$

Розраховується ударний струм у точці К2, кА:

$$i_{y.c} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K2}^{(3)}, \quad (61)$$

$$i_{y.c} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 7,1 = 17,1$$

Розраховується ударний струм, враховуючи вплив струму асинхронних двигунів, кА:

$$i_y = i_{y.c} + i_{y.дв}, \quad (62)$$

Повний струм, який знаходиться через середньо змінну потужність, кА:

$$\Sigma I_{дв} = P_{зм} / (\sqrt{3} \cdot U_{H2}),$$

$$\Sigma I_{дв} = 167,2 / \sqrt{3} \cdot 400 = 0,24,$$

$$i_{y.дв} = \sqrt{2} \cdot \Sigma I_{дв} \quad (63)$$

$$i_{y.дв} = \sqrt{2} \cdot 0,24 = 0,34,$$

$$i_y = 17,1 + 0,34 = 17,44.$$

Розраховується потужність короткого замикання у точці К2, МВ · А:

$$S_K^{(3)} = \sqrt{3} \cdot I_{K2}^{(3)} \cdot U_{H2},$$

$$S_K^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 7,1 \cdot 0,4 = 4,9. \quad (64)$$

Висновок: при короткому замиканні на стороні ВН 10 кВ (точка К1), усталений струм трифазного короткого замикання дорівнює 3,1 кА. У точці К1



ударний струм дорівнює 7,4 кА, при цьому виділяється потужність у розмірі 56,4 МВ · А; якщо точка к.з. знаходиться на шинах 0,4 кВ (точка K2), то струм усталеного трифазного к.з. дорівнює 7,1 кА, ударний струм дорівнює 17,1 кА, при цьому виділяється потужність у розмірі 4,9МВ · А.

### 3.2 Обчислення та перевірка високовольтного обладнання

Загальновідомо, що існує три режими, при яких працюють електричні машини, апарати, струмоведучі частини.

Це довготривалий режим, при якому надійність роботи обладнання буде залежати від номінального струму та напруги самого обладнання.

Режим перевантаження, при якому надійність роботи обладнання напряму залежить від запасу міцності агрегату.

І режим короткого замикання, в якому надійність залежить від правильного вибору параметрів динамічної і термічної стійкості.

Також електричне обладнання перевіряється на вплив температур зовнішнього середовища, вплив вологості, а також на місце встановлення (всередині або ззовні).

Перевірці, на попередньо зазначені критерії, підлягають:

- високовольтні вимикачі;
- вимірювальні трансформатори струму та напруги
- лінії та кабелі.

#### Обчислення та вибір високовольтних вимикачів

При напрузі більше 1 кВ, високовольтні вимикачі обчислюють та обирають за паспортними даними з заводу виробника, дивлячись на робочий струм, напругу, часу спрацювання. Потім обов'язково відбувається перевірка на термічну та динамічну стійкість. З каталогу обираються масляні вимикачі, оскільки на головній понижуючій підстанції, зазвичай використовуються саме масляні. Паспортні дані обраного вимикача заносяться у таблицю 3.1

Розраховується струм термічної стійкості, кА:

$$I_{mc} = I_{k31}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{np} / t_n},$$

$$I_{mc} = 3,1 \cdot \sqrt{0,5 / 3} = 1,3$$
(65)

Згідно графіку, приведений час для підстанцій, які знаходяться на великій відстані від генератора знаходиться, як залежність від дійсного часу дії струму короткого замикання для  $\beta'' = 1$

Сума часу спрацювання реле і часу спрацювання вимикача – це дійсний час, с

$$t_{\partial} = t_{pz} + t_e$$

$$t_{\partial} = 0,3 + 0,0125 = 0,31$$
(66)

Перевірка вимикача відбувається шляхом порівняння паспортних даних до розрахованих.

Таблиця 3.1 – Вибір високовольтного вимикача

Вибір та перевірка параметрів	Розрахункові дані			Каталожні дані			Умови вибору та перевірки
	Позначення	Одиниці виміру	Величина	Позначення	Одиниці виміру	Величина	
Напруга	$U_{нд}$	кВ	10	$U_{ном}$	кВ	10	$U_{нд} \leq U_{ном}$
Довготривалий струм	$I_{дов.тр}$	А	11,4	$I_{ном}$	А	630	$I_{дов.тр} < I_{ном}$
Струм вимикання	$I_{k31}^{(3)}$	кА	3,1	$I_{нд}$	кА	20	$I_{k31}^{(3)} < I_{нд}$
Потужність вимикання	$S_{k31}^{(3)}$	МВА	56,4	$S_{ном}$	МВА	350	$S_{k31}^{(3)} < S_{ном}$
Ударний струм к.з.	$i_{уд}$	кА	7,4	$I_{дин}$	кА	52	$i_{уд} < I_{дин}$
Струм термічної стійкості	$I_{тс}$	кА $\cdot$ с	3	$I_{тс.н}$	кА $\cdot$ с	14	$I_{тс} < I_{тс.н}$

Висновок: оскільки даний високовольтний вимикач ВМП-10П-630-20 повністю відповідає заданим умовам вибору, то обираємо саме його для встановлення у схемі електропостачання даного цеху.

### 3.3 Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги

Вимірювальні ТС обираються згідно номінальної напруги.

Трансформатори обираються з каталогу і перевіряються на термічну та електродинамічну стійкість та на навантаження обвитки. Однією з умов вибору є те, що величина струму на стороні ВН (при роботі лічильників), не повинна перевищувати 4 розрахункові струми. Паспортні дані трансформатора та розрахункові дані записуються у таблицю 6.

Розраховується струм термічної стійкості,  $\text{кА}^2 \text{с}$ :

$$I_{тсу} = [I_{к1}^{(3)}]^2 \cdot t_n \quad (67)$$

$$I_{тсу} = 3,1^2 \cdot 3 = 28.$$

Розраховується каталожний струм,  $\text{кА}^2 \text{с}$ :

$$I_{тс.а} = [I_{тс.ном}]^2 \cdot t_{тс.ном}, \quad (68)$$

$$I_{тс.а} = 8,75^2 \cdot 4 = 306,3$$

Вимірювальні приладі, точніше сума їх потужностей, які підключені до вторинної обвитки трансформатора струму – це розрахункова потужність трансформатора, ( $S_{пр}$ ), ВА.

Таблиця 3.2 - прилади та їх навантаження на вторинну обмотку

Амперметр Э-377	0,1 ВА х 2 шт.;
Лічильник СЭТАМ-005-09	5 ВА;
Всього:	5,2 ВА.

Розраховується навантаження на вторинну обмотку, за умовою, що переріз алюмінієвого провідника не менше  $2,5 \text{ мм}^2$ , ВА:

$$S_2 = S_{пр} + I_{ном2}^2 \left( \frac{\sqrt{3} \cdot l_{пр}}{\gamma_{ал} \cdot S_{пр}} + R_k \right), \quad (69)$$

$$S_2 = 5,2 + 5^2 \left( \frac{\sqrt{3} \cdot 3}{32 \cdot 5,2} + 0,1 \right) = 8,2$$

Таблиця 3.3 – Дані трансформаторів струму

Вибір та перевірка параметрів	Розрахункові дані			Каталожні дані			Умови вибору та перевірки
	Познач.	Од. вим.	Велич.	Познач.	Од. вим.	Вел.	
Напруга	$U_{н.д}$	кВ	10	$U_{н.а}$	кВ	10	$U_{н.у} \leq U_{н.а}$
Струм первинної обмотки	$I_{роз}$	А	11,4	$I_{н.а}$	А	600	$I_{р1} < I_{н.а}$
Навантаження на вторинну обмотку	$S_2$	ВА	8,2	$S_{2н}$	ВА	10	$S_2 < S_{2н}$
Ударний струм к.з.	$i_{уд}$	кА	17,1	$I_{дин}$	кА	35,2	$i_y < I_{дин}$
Струм термічної стійкості	$(I_{K31}^{(3)})^2 t_{np}$	кА <sup>2</sup> ·с	4,8	$(I_{дон})t_n$	кА <sup>2</sup> ·с	420	$(I_{K1}^{(3)})^2 t_n < (I_{дон})t_n$

Висновок: оскільки даний трансформатор струму ТПОЛ-10 повністю відповідає умовам вибору, то обираємо саме його для встановлення.

Вибір ТН, також відбувається з каталогу але вже за такими паспортними даними: напруга та схема з'єднання обвиток, клас точності.

Перевірка відбувається, як і у випадку вимірювального трансформатора струму. Потужність приладів на вторинній обвиті являє собою розрахункову потужність трансформатора.

Таблиця 3.4 - прилади та їх навантаження на вторинну обмотку

Вольтметр Э-377	2 ВА х 2 шт.;
Лічильник СЭТАМ-005-09	5 ВА;
Реле напруги РЭВ-84	10 ВА х 2 шт.;
Всього:	29 ВА

Висновок: обираємо трансформатор напруги НТМИ-10, який повністю відповідає умовам вибору.

### 3.4 Дослідження кабелю на термічну міцність

На електродинамічну стійкість кабель не перевіряють, оскільки він без пошкодження витримує динамічні впливи. Тому його перевіряють тільки на витримку термічного впливу.

Переріз термічної стійкості визначається з виразу, мм<sup>2</sup>:

$$F_{mc} = I_{\kappa 1}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{np}} / c, \quad (70)$$

$$F_{mc} = 3,1 \cdot \sqrt{0,5} / 83 = 26$$

Кабель буде термічно стійким, тільки при виконанні умови:

$$F_{mc} \leq F_{каб} \quad (71)$$

Як можна побачити, умова повністю виконується:

$$26 \leq 50$$

Висновок: кабель обрано правильно, оскільки відповідає умові вибору термічної стійкості кабелю.

### 3.5 Вибір низьковольтної схеми розподілу електроенергії та розрахунок елементів захисту

Вибір раціонального вибору розподілу електричної енергії має дуже важливе значення. Вірно вибрана схема повинна бути надійною, економічною, зручною в експлуатації. Розрахунок навантаження на проводи і кабелі, а також їхній захист має важливе значення для безаварійної експлуатації мережі.

Також додатково було встановлено ящики силові з запобіжником і рубильником, призначені для нечастих комутацій і захисту від перевантаження та струмів короткого замикання в мережі змінного струму. Це забезпечує автоматичне відключення всієї електропроводки при її несправності, а так само дозволяє відключити проводку під час ремонту.

Вибір перерізу проводів і кабелів. Вибір виконується за допустимими струмовими навантаженнями для відповідної умови прокладки.

Довготривалий струм лінії живлення двигунного навантаження, А:

$$I_{\text{НОМДВ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{U_{\text{H}} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi_{\text{H}} \cdot \eta_{\text{H}}}, \quad (72)$$

$$I_{\text{НОМДВ}} = \frac{20}{0,4 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 0,85} = 37,7$$

Довготривалий струм трансформатора, А:

$$I_{дт} = S_{ном} / \sqrt{3} \cdot 0,4$$

$$I_{дт} = 250 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 361$$
(73)

По довготривалому струмові визначається переріз жили кабелю із умови:

$$I_{дв} < I_{доп},$$

$$37,7 \leq 41$$
(74)

Визначаємо критичний струм кабелю, А:

$$I_{кр} = I_{пуск} = (5...7) \cdot I_{дв},$$

$$I_{кр} = I_{пуск} = 5 \cdot 37,7 = 188,5$$
(75)

Визначимо довготривалий струм магістралі, А:

$$I_{двм} = \Sigma I_{дв}$$

$$I_{двм} = 20 + 19 + 15 + 34 + 12 + 15 + 10 + 15 + 25 = 165$$
(76)

Визначимо критичний струм магістралі, А:

$$I_{крм} = I_{кр \text{ найбільший}} + \Sigma I_{дв},$$

$$I_{крм} = 448 + 165 = 613$$
(77)

Для всіх інших підключень розрахунки робляться аналогічно. Всі розрахунки зводимо до таблиці 6

Вибір апаратів захисту.

Автомати вибирає із умови:

$$I_{дв} \leq I_{на},$$

$$37,7 \leq 100$$
(78)

Уставка теплового розчеплювача (захист від довготривалого перевантаження) повинна задовольняти умовам:

$$I_{дв} \leq I_{т} \leq I_{доп},$$

$$37,7 \leq 40 \leq 41$$
(79)

Уставка електромагнітного розчеплювача (захист від струмів КЗ) повинна задовольняти умовам:

$$1,25 \cdot I_{кр} \leq I_{ем} \leq I_{к}^{(1)},$$

$$235 \leq 400 \leq 522$$
(80)

Струм однофазного короткого замикання.

Визначимо струм однофазного короткого замикання, А:

$$I_{K(1)} = U_{\phi} / Z_{T/3} + Z_{PK} + Z_{PM} \quad (81)$$

$$I_K^{(1)} = (220/54 + 23 + 344) = 0,5$$

$Z_{PK}$  - опір петлі кабелю ( $Z_{PK} = Z_{PK0} \cdot l$ ), залежить від довжини кабелю  $l$  і довідникового значення  $Z_{PK0}$ , мОм:

$$Z_{PK} = Z_{PK0} \cdot l, \quad (82)$$

$$Z_{PK} = 0,5 \cdot 46 = 23,$$

$Z_{PM}$  - опір петлі магістралі (шинопроводу), залежить від довжини кабелю  $l$  і довідникового значення  $Z_{PM0}$ , мОм:

$$Z_{PM} = Z_{PM0} \cdot l, \quad (83)$$

$$Z_{PM} = 7,49 \cdot 46 = 344$$

Надійність спрацювання захисних апаратів перевіряємо по коефіцієнту надійності:

$$k_H = I_K^{(1)} / I_{ем} \quad (84)$$

$$k_H = 522/400 = 1,3$$

Розраховуються та заносяться дані, а саме: найменування електричного обладнання, довготривалий струм, критичний струм кабелю, тип кабельної лінії, допустимий струм кабелю, його довжина і спираючись на отримані дані обирається тип автоматичного вимикача для кожного обладнання окремо. Усі отримані результати заносяться у таблицю 3.5.

Таблиця 3.5- Дані мережі НН

№	Наймен. ЕП	I <sub>дв</sub>	I <sub>кр</sub>	Тип КЛ	I <sub>доп</sub>	l	Вибір автоматичного вимикача				Z <sub>пк</sub>	Z <sub>тв</sub>	I <sub>кз</sub>	K <sub>н</sub>
							Тип	I <sub>на</sub>	I <sub>т</sub>	I <sub>см</sub>				
з/п	-	А	А	-	А	м	Тип	I <sub>на</sub>	I <sub>т</sub>	I <sub>см</sub>	МОМ	МОМ	А	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Поперечно-стругальні верстати	37,7	263	АВВГ-3х4	41	46	ВА 51-31	100	40	400	23	398	0,5	1,3
2	Поперечно-стругальні верстати	37,7	263	АВВГ-3х4	41	48	ВА 51-31	100	40	400	24	413	0,5	1,3
3	Поперечно-стругальні верстати	37,7	263	АВВГ-3х4	41	51	ВА 51-31	100	40	400	25,5	435	0,4	1,2
4	Поперечно-стругальні верстати	37,7	263	АВВГ-3х4	41	48	ВА 51-31	100	40	400	24	413	0,5	1,3
5	Поперечно-стругальні верстати	37,7	263	АВВГ-3х4	41	51	ВА 51-31	100	40	400	25,5	435	0,4	1,2
6	Токарно-револьверні верстати	36	252	АВВГ-3х4	41	53	ВА 51-31	100	40	400	27	448	0,4	1,1
7	Токарно-револьверні верстати	36	252	АВВГ-3х4	41	55	ВА 51-31	100	40	400	27,5	463	0,4	1,1
8	Токарно-револьверні верстати	36	252	АВВГ-3х4	41	59	ВА 51-31	100	40	400	29	493	0,42	1,
9	Токарно-револьверні верстати	36	252	АВВГ-3х4	41	51	ВА 51-31	100	40	400	25,5	435	0,4	1,2
10	Токарно-револьверні верстати	36	252	АВВГ-3х4	41	53	ВА 51-31	100	40	400	27	448	0,4	1,1
11	Токарно-револьверні верстати	36	252	АВВГ-3х4	41	13	ВА51-31	100	40	400	6,5	150	1,3	3,5
12	Токарно-револьверні верстати	36	252	АВВГ-3х4	41	13	ВА51-31	100	40	400	6,5	150	1,3	3,5
13	Токарно-револьверні верстати	36	252	АВВГ-3х4	41	13	ВА51-31	100	40	400	6,5	150	1,3	3,5
14	Одношпindelні автомати токарні	28	196	АВВГ-3х4	38	51	ВА51-31	100	40	400	25,5	435	0,4	1,2
15	Одношпindelні автомати токарні	28	196	АВВГ-3х4	38	51	ВА51-31	100	40	400	25,5	435	0,4	1,2
16	Одношпindelні автомати токарні	28	196	АВВГ-3х4	38	48	ВА51-31	100	31	400	24	411	0,51	1,3
17	Одношпindelні автомати токарні	28	196	АВВГ-3х4	38	51	ВА51-31	100	40	400	25,5	435	0,4	1,2
18	Одношпindelні автомати токарні	28	196	АВВГ-3х4	38	51	ВА51-31	100	40	400	25,5	435	0,4	1,2
19	Вентилятори промислові	64	448	АВВГ-3х10	90	42	ВА51-31	100	80	400	21	367	0,52	1,3



продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
20	Вентилятори промислові	64	448	АВВГ-3х10	90	43	ВА51-31	100	80	400	21,5	374	0,55	1,38
21	Вентилятори промислові	64	448	АВВГ-3х10	90	44	ВА51-31	100	80	400	22	381	0,54	1,36
22	Вентилятори промислові	64	448	АВВГ-3х10	90	46	ВА51-31	100	80	400	23	398	0,5	1,3
23	Вентилятори промислові	64	448	АВВГ-3х10	90	48	ВА51-31	100	40	400	24	413	0,5	1,3
24	Вентилятори промислові	64	448	АВВГ-3х10	90	49	ВА51-31	100	80	400	24,5	419	0,49	1,23
25	Вентилятори промислові	64	448	АВВГ-3х10	90	51	ВА51-31	100	40	400	25,5	435	0,4	1,2
26	Вентилятори промислові	64	448	АВВГ-3х10	90	53	ВА51-31	100	40	400	27	448	0,4	1,1
27	Вентилятори промислові	64	448	АВВГ-3х10	90	55	ВА51-31	100	40	400	27,5	463	0,4	1,1
28	Вібраційні ножиці	23	161	АВВГ-3х2,5	27	51	ВА51-25	25	40	400	25,5	435	0,4	1,2
29	Вібраційні ножиці	23	161	АВВГ-3х2,5	27	54	ВА51-25	25	25	400	27	456	0,45	1,13
30	Вібраційні ножиці	23	161	АВВГ-3х2,5	27	51	ВА51-25	25	40	400	25,5	435	0,4	1,2
31	Вібраційні ножиці	23	161	АВВГ-3х2,5	27	53	ВА51-25	25	40	400	27	448	0,4	1,1
32	Вібраційні ножиці	23	161	АВВГ-3х2,5	27	21	ВА51-25	25	25	400	10,5	210	0,99	2,48
33	Вібраційні ножиці	23	161	АВВГ-3х2,5	27	22	ВА51-25	25	25	400	11	217	0,96	2,4
34	Горизонтально-фрезерні верстати	28	196	АВВГ-3х4	38	42	ВА51-31	100	31	400	21	367	0,52	1,3
35	Горизонтально-фрезерні верстати	28	196	АВВГ-3х4	38	43	ВА51-31	100	31	400	21,5	374	0,55	1,38
36	Горизонтально-фрезерні верстати	28	196	АВВГ-3х4	38	44	ВА51-31	100	31	400	22	381	0,54	1,36
37	Горизонтально-фрезерні верстати	28	196	АВВГ-3х4	38	46	ВА51-31	100	31	400	23	77	0,5	1,3
38	Горизонтально-фрезерні верстати	28	196	АВВГ-3х4	38	48	ВА51-31	100	40	400	24	413	0,5	1,3
39	Горизонтально-фрезерні верстати	28	196	АВВГ-3х4	38	49	ВА51-31	100	31	400	24,5	419	0,49	1,23
40	Горизонтально-фрезерні верстати	28	196	АВВГ-3х4	38	20	ВА51-31	100	31	400	10	203	1,03	2,58

продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
41	Горизонтально-фрезерні верстати	28	196	АВВГ-3х4	38	20	ВА51-31	100	31	400	10	203	1,03	2,58
42	Наждакові верстати	19	133	АВВГ-3х1,5	27	16	ВА51-25	25	20	400	8	173,2	1,2	3
43	Наждакові верстати	19	133	АВВГ-3х1,5	27	16	ВА51-25	25	20	400	8	173,2	1,2	3
44	Наждакові верстати	19	133	АВВГ-3х1,5	27	10	ВА51-25	25	20	400	5	128,5	3,14	1,6
45	Наждакові верстати	19	133	АВВГ-3х1,5	27	10	ВА51-25	25	20	400	5	128,5	3,14	1,6
46	Заточувальні верстати	28	196	АВВГ-3х4	31	53	ВА51-31	100	40	400	27	448	0,4	1,1
47	Заточувальні верстати	28	196	АВВГ-3х4	31	54	ВА51-31	100	400	27	456	0,45	1,13	400
48	Заточувальні верстати	28	196	АВВГ-3х4	31	51	ВА51-31	100	40	400	25,5	435	0,4	1,2
49	Заточувальні верстати	28	196	АВВГ-3х4	31	21	ВА51-31	100	30	400	10,5	210	0,99	2,48
50	Заточувальні верстати	28	196	АВВГ-3х4	31	20	ВА51-31	100	30	400	10	203	1,03	2,58
51	Заточувальні верстати	28	196	АВВГ-3х4	31	13	ВА51-31	100	40	400	6,5	150	1,3	3,5
52	Мостовий кран	47	329	АВВГ-3х10	50	36	ВА51-31	100	50	400	18	322	0,6	1,6
53	Мостовий кран	47	329	АВВГ-3х10	50	30	ВА51-31	100	50	400	15	277	0,7	1,8

### 3.6 Релейний захист, автоматика й облік електроенергії

Для захисту трансформаторних підстанцій, які живляться радіальними лініями, виконується релейний захист на вимикачі в ГЗП, який захищає лінію і трансформатор. Для цієї мети використовуються наступні види захисту:

- максимальний струмовий захист з витримкою часу (МСЗ);
- струмова відсічка;
- захист від замикання на землю на боці ВН;
- газовий захист;
- захист від замикання на землю на боці НН;
- захист від перевантаження.

Максимальний струмовий захист з витримкою часу

В зону захисту входить лінія живлення і силовий трансформатор.

Захист повинен бути відлаштований від пускових струмів двигунів, увімкнених на самозапуск.

Максимальний струм трансформатора, А:

$$I_{\text{макс}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{т.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (85)$$

$$I_{\text{макс}} = 1,4 \cdot \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 20,2.$$

Номінальний струм двигунів, встановлених на самозапуск, А:

$$I_{\text{ном.дв}} = \frac{\sum P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ном}}}, \quad (86)$$

$$I_{\text{ном.дв}} = \frac{75}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,85} = 148.$$

Пусковий струм двигунів, А:

$$I_{\text{пуск}} = (5 \dots 7) \cdot I_{\text{ном.дв}}, \quad (87)$$

$$I_{\text{пуск}} = 7 \cdot 148 = 1036.$$

Пусковий струм, який зведений до сторони 10 кВ, А:

$$I'_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск}} / k_{\text{т}}, \quad (88)$$

$$I'_{\text{пуск}} = 1036 / 25 = 41,4.$$

Коефіцієнт самозапуску:

$$k_3 = 1 + (I'_{\text{пуск}} / I_{\text{макс}}),$$

$$k_3 = 1 + (41,4 / 20,2) = 3,1. \quad (89)$$

Струм спрацьовування захисту, А:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_n \cdot k_3}{k_{\text{нов}}} \cdot I_{\text{макс}},$$

$$I_{\text{сз}} = \frac{1,2 \cdot 3,1}{0,85} \cdot 20,2 = 88,4. \quad (90)$$

Струм спрацьовування реле, А:

$$I_{\text{сп}} = \frac{k_{\text{сх}}}{k_{\text{мм}}} \cdot I_{\text{сз}},$$

$$I_{\text{сп}} = \frac{1}{20} \cdot 88,4 = 4,4. \quad (91)$$

Уставку реле округляють до більшої цілої величини 5 А.

Кінцеве значення струму спрацьовування захисту, А:

$$I_{\text{сз}} = I_{\text{сп}} \cdot k_{\text{мм}},$$

$$I_{\text{сз}} = 5 \cdot 20 = 100. \quad (92)$$

Коефіцієнт чутливості захисту відповідно до ПУЕ – не менше 1,5:

$$k_{\text{ч}} = I_K^{(3)} / I_{\text{сз}} \geq 1,5,$$

$$k_{\text{ч}} = 3100 / 100 = 31 \geq 1,5. \quad (93)$$

Максимальна струмова відсічка.

Виконується на боці живлення, спрацьовує без витримки часу.

З умов відлаштування від струмів к.з за трансформатором струм спрацьовування, А:

$$I_{\text{сз}} = k_n \cdot I_{\text{кз2}}^{(3)'},$$

$$I_{\text{сз}} = 1,2 \cdot 0,12 = 0,14, \quad (94)$$

$I_{\text{кз2}}^{(3)'}$  – струм к.з. на боці 0,4 кВ, приведений до ступеня 10 кВ, А:

$$I_{\text{кз2}}^{(3)'} = I_{\text{кз2}}^{(3)} / k_m, \quad (95)$$

$$I_{кз2}^{(3)} = 3,1 / 25 = 0,12.$$

В зону захисту входять лінія живлення і частина обмотки.

Струм спрацьовування реле, А:

$$I_{cp} = \frac{k_{cx}}{k_{mm}} \cdot I_{cз}, \quad (96)$$

$$I_{cp} = \frac{1}{25} \cdot 0,14 = 0,056.$$

Коефіцієнт чутливості:

$$k_{ч} = I_{кз}^{(3)} / I_{cз} \geq 2, \quad (97)$$

$$k_{ч} = 3,1 / 0,14 = 22 \geq 2.$$

### 3.7 Розрахунок газового захисту

Газовий захист обладнується комплектно з трансформатором, газовим реле з дією на сигнал (верхній контакт реле) і на відключення.

Газовим реле обладнуються трансформатори потужністю більше 630 кВА, а також трансформатори потужністю 400 кВА і більше для вмонтованих підстанцій.

Захист від замикання на землю в мережі 10 кВ.

Захист виконується на трансформаторі нульової послідовності типу ТНП і струмовому реле РТ-40 з дією на сигнал.

Максимально струмовий захист з боку електроприймачів.

Для захисту від к.з. на боці НН трансформатора КТП комплектуються автоматичними вимикачами.

Номінальний струм автоматичного вимикача залежить від номінальної потужності трансформатора і приймається з умови, А:

$$I_{н.а} \geq S_{т.ном} / \sqrt{3} \cdot U_{н2},$$

$$I_{н.а} \geq 250 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 360, \quad (98)$$

$$600 \geq 360.$$

Даний трансформатор комплектується автоматичним вимикачем АВМ-10С на номінальний струм  $I_{н.а} = 600$  А.

Автоматичний вимикач має два ступеня спрацьовування захисту: з витримкою часу ( $I_{ем1}=10\text{кА}$ ) і без витримки часу ( $I_{ем2}=8\text{кА}$ ).

Перевіряється спрацьовування розчіплювача при к.з. в точці К2:

$$k_{ч1} = I_{Кз2}^{(3)} / I_{ем1} \geq 1,5, \quad (99)$$

$$k_{ч1} = 3100/960 = 3,2 \geq 1,5,$$

$$k_{ч2} = I_{Кз2}^{(3)} / I_{ем2} \geq 2, \quad (100)$$

$$k_{ч2} = 3100/1300 = 2,3 \geq 2.$$

Схема релейного захисту представлена на рисунку 2

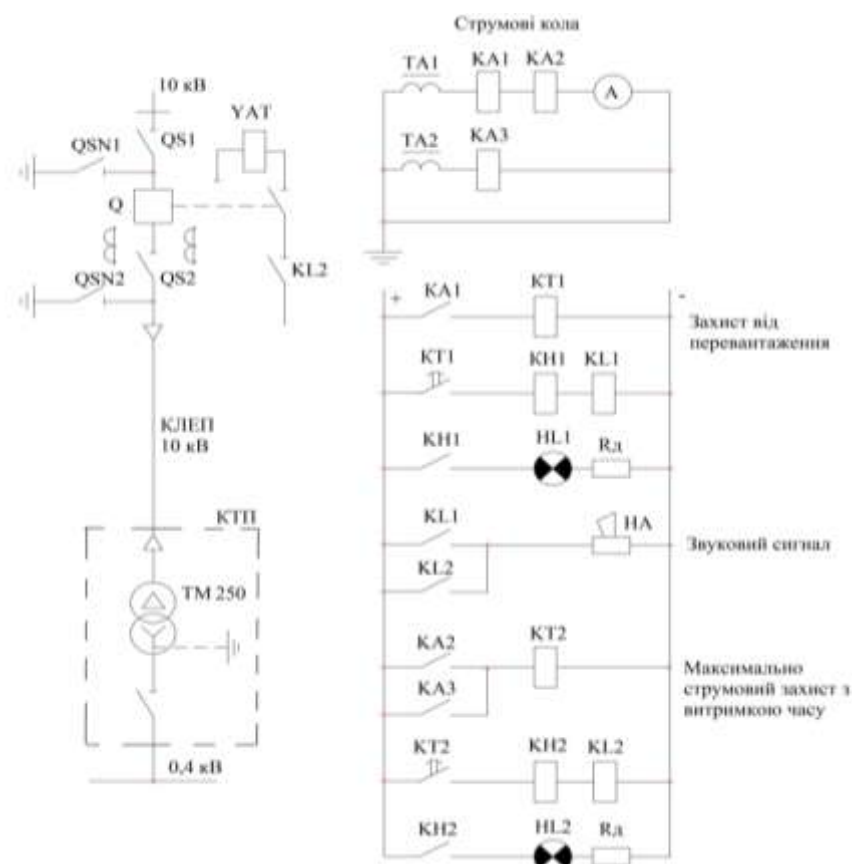


Рисунок 3.2 - Схема релейного захисту

Для захисту електричних ліній і електричного обладнання використовують прилади автоматичного повторного вмикання, прилади автоматичного включення резерву та інші.

Пристрій автоматичного повторного вмикання (АПВ) - це автоматичний високовольтний електричний вимикач. Як вимикач, він відключає електроенергію, коли виникають проблеми, наприклад коротке замикання. Повторний замикач автоматично перевіряє електричну лінію, щоб визначити, чи

було усунута проблема. Вимикач залишається вимкненим, доки проблему не усунуть і не включать вимикач вручну. А якщо проблема була лише тимчасовою, то пристрій автоматично скидає стан і відновлює електроенергію. На високовольтних електричних лініях виникає від 80 до 90 відсотків проблем, які є тимчасовими - наприклад, блискавка, обдуті вітром гілки дерев або дроти, птахи або гризуни. АПВ відчуває, коли трапляється проблема, і автоматично відключає потужність. З часом, повторний пристрій знову вмикає живлення, але якщо проблема все ще присутня, вона знову її відключає. Якщо проблема все-таки після трьох таких спроб присутня, то повторний пристрій запрограмований розглянути проблему, як постійну і лінія залишається вимкненою. Потім необхідно усунути проблему на лінії та скинути повторний пристрій та відновити живлення.

Прикладами постійних проблем є: лінії електропередач чи інше обладнання, пошкоджене ударами блискавки, впалими кінцівками дерев або аварії транспортних засобів. АПВ зекономлять електричним компаніям значний час і зменшать витрати, оскільки вони дозволяють відновлювати потужність автоматично. І для пошкоджень, що вимагають ремонту, АПВ мінімізують зону відключення та допомагають ремонтній бригаді швидко знайти проблему та відновити живлення. АПВ використовується у всій системі розподілу електроенергії, від підстанції до житлових опор. Вони варіюються від малих, для використання на однофазних лініях електропередач, до більші великих, трифазних, що використовуються на підстанціях та на високовольтних лініях електропередач до 38 кВ.

Пристрій Автоматичного включення резерву (АВР), призначений для автоматичного перемикавання резервів. І принцип роботи полягає в переключенні основного джерела живлення на резервне джерело живлення у разі втрати або надмірного зниження напруги на первинному шляху живлення.

Автоматизація (АВР) спрямована на підвищення надійності електропостачання. Робота системи необхідна після усунення пошкодженого джерела живлення (трансформатор, лінія). Для того щоб система виконувала своє завдання, джерело резервної потужності повинне характеризуватися достатнім запасом потужності, що забезпечує правильну роботу аварійних підключених

приймачів (включаючи, наприклад, самозапуск двигунів). У разі, коли резервна лінія електропередачі не в змозі взяти на себе все навантаження, система АВР повинна бути додатково оснащена автоматикою розвантаження, яка відключить менш важливі навантаження. Автоматизація може бути вирішена різними способами, в залежності від умов експлуатації обладнання та схеми розподільного пристрою. Однак в цілому розрізняється два основних способи резервування ліній постачання: основний резерв і прихований резерв.

Також розрізняється два способи стимулювання автоматизації АВР: повний і прискорений робочий цикл. Основний резерв - лінія резервного джерела живлення в нормальній операційній системі не несе ніякого навантаження, однак її можна включити, щоб прийняти загальне навантаження. Прихований резерв - джерела живлення не повністю завантажені при нормальній роботі і можуть бути тимчасово перевантажені в результаті перемикання всієї навантаження на одне джерело.

Заздалегідь треба запрограмувати пристрій АВР, для запобігання паралельної роботи, скажімо основного і резервного живлення. Для цього використовують такі методи:

- АВР відключає навантаження повністю, але наступний пуск робить вручну;
- АВР спрацьовує з витримкою часу, більшою ніж цикл АПВ.

Електричну енергію, яка втрачається, треба враховувати, це робиться для:

- розрахунку з комерційної точки зору;
- поточного контролю активної енергії;
- контролю реактивної енергії, яка вироблена за допомогою ККУ.

Значимість такого контролю дуже велика, оскільки дозволяє визначити об'єм витрат електроенергії. Для контролю за електроенергією використовують лічильники.

Контрольні лічильники використовуються та підключаються, в основному, на стороні НН і цьому служить декілька переваг:

- дешевше виходить встановити лічильника на сторону НН, ніж на ВН;
- стороні НН, можна визначити втрати у трансформаторах.



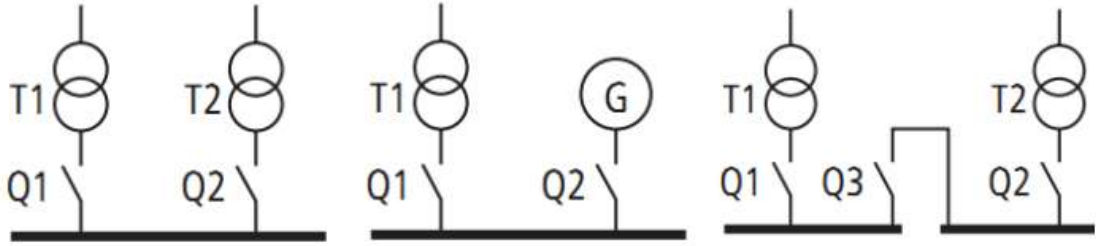


Рисунок 3.3 – Основні системи.

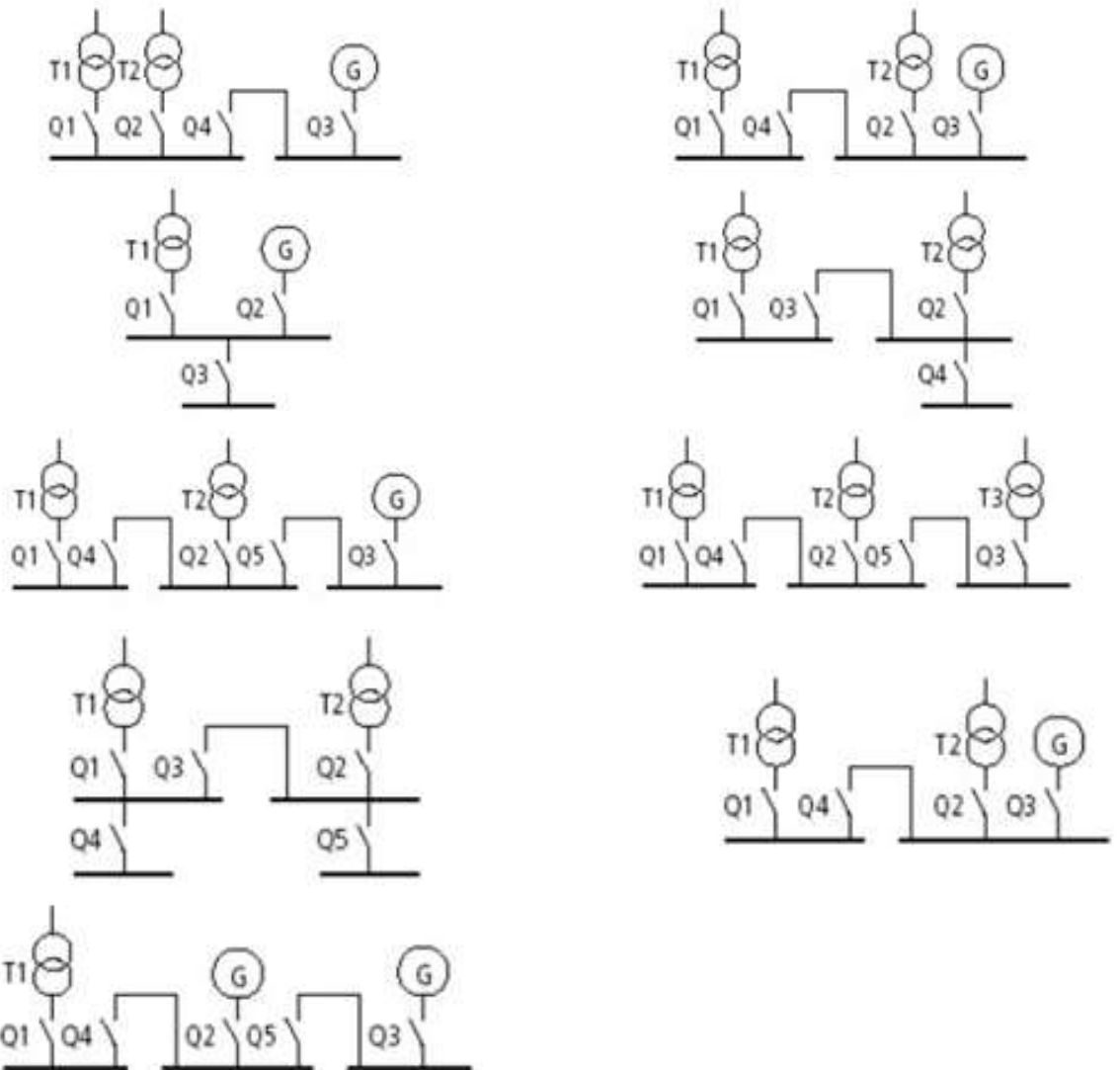


Рисунок 3.4 – Ускладнені системи.

### 3.8 Розрахунок та вибір освітлювальних установок

Основним завданням буде оптимальний вибір кількості та потужності світильників, які будуть розміщені у цеху підприємства.

Для освітлення цеху будуть використовуватися сучасні світлодіодні

промислові світильники фірми «Ватра» типу «ДСП67В-160-031» потужністю 160 Вт та зі світловим потоком 22400 Лм. Габаритні розміри 360x240 мм. Кількість роботи, на яку розрахований світильник 50000 год. Робоча напруга світильника 220 В змінного струму. Ступінь захисту IP65. Маса освітлювального приладу 3,5 кг.

Параметри ділянки:

- ширина цеху ( $B_1$ ) - 24 м.
- довжина цеху ( $l_1$ ) - 36 м.
- висота цеху ( $H$ ) - 6,5 м.
- ширина КТП ( $B_2$ ) - 4 м.
- довжина КТП ( $l_2$ ) - 6 м.
- ширина зварювальної та фарбувальної ділянки ( $B_3$ ) - 4 м.
- довжина зварювальної та фарбувальної ділянки ( $l_3$ ) - 12 м.

Розраховується індекс приміщення:

$$i_1 = \frac{B_1 \cdot l_1}{h \cdot (B_1 + l_1)}, \quad (101)$$

$$i_1 = \frac{24 \cdot 36}{5,3 \cdot (24 + 36)} = 2,72.$$

Розраховується світловий потік для даної ділянки:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_s \cdot S \cdot z}{\eta}, \quad (102)$$

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 864 \cdot 1,15}{0,61} = 732983 \text{ Лм.}$$

$\eta$  - знаходиться по таблиці, враховуючи коефіцієнти відбивання стелі (70%), підлоги (10%) та стіни (50%)

З каталогу обирається світильник з LED модулем потужністю 160 Вт, номінальною напругою 220 В, світловим потоком 22500 Лм.

Розраховується кількість світильників за найбільшим парним числом:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{cv}}, \quad (103)$$

$$N = \frac{732983}{22500} \approx 34 \text{ шт.}$$

Розраховується індекс приміщення КТП:

$$i_1 = \frac{B_2 \cdot l_2}{h \cdot (B_2 + l_2)},$$

$$i_1 = \frac{4 \cdot 6}{5,3 \cdot (4 + 6)} = 0,45. \quad (104)$$

Розраховується світловий потік приміщення КТП:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{\eta},$$

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 24 \cdot 1,15}{0,3} = 41400 \text{ Лм}. \quad (105)$$

$\eta$ - знаходиться по таблиці, враховуючи коефіцієнти відбивання стелі (70%), підлоги (10%) та стіни (50%)

З каталогу обирається світильник з LED модулем потужністю 160 Вт, номінальною напругою 220 В, світловим потоком 22500 Лм.

Розраховується кількість світильників за найбільшим парним числом:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{св}},$$

$$N = \frac{41400}{22500} \approx 2 \text{ шт}. \quad (106)$$

Розраховується індекс зварювальної та фарбувальної ділянки:

$$i_1 = \frac{B_3 \cdot l_3}{h \cdot (B_3 + l_3)},$$

$$i_1 = \frac{4 \cdot 12}{5,3 \cdot (4 + 12)} = 0,56. \quad (107)$$

Розраховується світловий потік для даної ділянки:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{\eta},$$

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 48 \cdot 1,15}{0,61} = 40721 \text{ Лм}. \quad (108)$$

$\eta$ - знаходиться по таблиці, враховуючи коефіцієнти відбивання стелі (70%), підлоги (10%) та стіни (50%)

З каталогу обирається світильник з LED модулем потужністю 160 Вт, номінальною напругою 220 В, світловим потоком 22500 Лм.

Розраховується кількість світильників за найбільшим парним числом:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{св}},$$

$$N = \frac{40721}{22500} \approx 2 \text{ шт.} \quad (109)$$

Для освітлення адміністративно-побутового приміщення освітленість приймається у розмірі 100 Лк.

Кількість і розташування світильників визначаються за розмірами приміщення:

- ширина адміністративно-побутового приміщення ( $B_4$ ) - 3 м.
- довжина адміністративно-побутового приміщення ( $l_4$ ) - 12 м.

Розраховується індекс адміністративно-побутового приміщення:

$$i_1 = \frac{B_4 \cdot l_4}{h \cdot (B_4 + l_4)},$$

$$i_1 = \frac{3 \cdot 12}{5,3 \cdot (3 + 12)} = 0,45. \quad (104)$$

Розраховується світловий потік адміністративно-побутового приміщення:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_z \cdot S \cdot z}{\eta},$$

$$\Phi = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 36 \cdot 1,15}{0,3} = 20700 \text{ Лм.} \quad (105)$$

$\eta$  - знаходиться по таблиці, враховуючи коефіцієнти відбивання стелі (50%), підлоги (10%) та стіни (30%)

З каталогу обирається світильник з LED модулем потужністю 90 Вт, номінальною напругою 220 В, світловим потоком 10800 Лм.

Розраховується кількість світильників за найбільшим парним числом:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{св}},$$

$$N = \frac{20700}{10800} \approx 2 \text{ шт.} \quad (106)$$

### 3.9 Висновки до розділу 3

У розрахунково-дослідницькому розділі був виконаний розрахунок струмів короткого замикання на стороні ВН та НН. Розроблена схема головних з'єднань та схема заміщення. Розрахований струм усталеного трифазного замикання, ударний струм та потужність, яка буде виділятися при замиканні на лінії 10 кВ та 0,4 кВ. Для захисту на стороні ВН був розрахований та обраний масляний високовольтний вимикач. Для схем електропостачання були обрані вимірювальні трансформатори струму та напруги і розрахована потужність на вторинних обмотках цих трансформаторів. Електричний кабель був перевірений на термічну стійкість. Для кожного верстата були розраховані та вибрані апарати захисту, а також релейний та газовий захист силового трансформатора.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Розрахунок і конструктивне виконання заземлюючих пристроїв

Заземлювальний пристрій – сукупність заземлювача і заземлюючих провідників. При захисному заземленні здійснюється навмисне заземлення частин електроустановки, тобто електричне з'єднання цієї частини з заземлюючим пристроєм.

Часто застосовують заземлювачі виконані зі сталі круглої форми діаметром 12 - 14 мм, а довжина приблизно до 5 м для стрижней, ввертають у землю за допомогою такого пристосування, ручний електрифікований заглиблювач. При забиванні електродів у землю з високою вологістю, знижується питомий опір. Поглиблені пруткові заземлювачі знижують витрату металу і витрати праці на роботу з влаштування заземлення і тому повинні застосовуватися в першу чергу.

В якості природних заземлювачів використовують: прокладені в землі сталеві водопровідні труби, з'єднані в стиках газо- або електро сваркою; труби артезіанських свердловин, сталева броня силових кабелів, прокладених у землі, при числі їх не менше двох; металеві конструкції і фундаменти будівель та споруд, що мають надійне з'єднання з землею;

В установках до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю трансформатора опір заземлюючого пристрою, до якого приєднують нейтраль трансформатора та генератора має бути не більше 4 Ом згідно ПУЕ.

Використовуємо спрощену формулу для знаходження опору одиночного стрижня довжиною 1,5м для кутка  $50 \times 50 \times 5$  м, Ом·м:

$$R_o = 0,318 \cdot \rho \cdot K_M, \quad (107)$$

$$R_o = 0,318 \cdot 20 \cdot 1,65 = 10,5$$

Опір горизонтальних заземлювачів розтікання зарядів визначається за формулою, Ом:

$$R'_{III} = (0,366 / l) \cdot \rho \cdot K_M \cdot \lg(l^2 / d \cdot t), \quad (108)$$

$$R'_{III} = (0,366 / 4) \cdot 20 \cdot 1,65 \cdot \lg(4^2 / 16 \cdot 0,8) = 0,3$$

Опір розтікання зарядів вертикальних заземлювачів з урахуванням їх екрануючого впливу визначаємо з виразу, Ом:

$$R_B = R_O / n \cdot \eta_B, \quad (109)$$

$$R_B = 10,5 / 20 \cdot 0,62 = 0,85$$

Загальний опір штучних заземлювачів розтікання зарядів дорівнює, Ом:

$$R_3 = R_B \cdot R'_{III} / (R_B + R'_{III}), \quad (110)$$

$$R_3 = 0,85 \cdot 0,3 / (0,85 + 0,3) = 0,22$$

Висновок: даний заземлюючий контур, який складається із 20 вертикально вбитих електродів у формі кутка, цілком доцільно використовувати для виконання заземлення даного цеху, який розташований у певних кліматичних умовах і встановлений на ґрунті чорнозем, оскільки його загальний опір розтікання зарядів дорівнює 0,22 Ом, що не перевищує допустиме значення згідно ПУЕ 4 Ом.

## 4.2 Загальне планування

Усі підприємства повинні мати оперативну систему загального планування. Працівники повинні мати доступ і бути ознайомленими з усіма відповідними положеннями, а також проходити необхідну підготовку, практику та інструктаж з них. Загальне планування повинно мінімум включати таке:

- розробка інструкцій;
- використання кваліфікованого персоналу;
- необхідні дозволи;
- організація та планування у зв'язку з придбанням, використанням, зберіганням, випробуванням та обслуговуванням захисного обладнання та іншого обладнання безпеки;
- встановлення процедур для стандартних видів робіт;
- навчання, практика та інструктаж;

- необхідні препарати для надання першої допомоги.

Положення, що стосуються систематичної діяльності в галузі охорони здоров'я, навколишнього середовища та безпеки на підприємстві (Положення про внутрішній контроль), вимагають від власника підприємства проведення систематичних перевірок щодо охорони здоров'я, безпеки та навколишнього середовища. Це означає, що власник підприємства, на яке поширюється Положення, несе відповідальність за систематичну перевірку дотримання вимог та дотримання внутрішніх процедур. Вимога про те, що персонал повинен пройти необхідну підготовку, практику та інструктаж, вважається виконаною, якщо це практикується щонайменше щороку, і частіше, якщо умови вказують на необхідність для цього.

Між положеннями про навчання може пройти не більше 12 місяців. Навчання повинно бути адаптоване відповідно до відповідних умов та проблем відповідного підприємства та функцій окремого працівника (керівник служби безпеки, керівник з перемикання тощо). Він також повинен охоплювати внутрішні інструкції, процедури та керівні принципи підприємства, якщо такі існують. Навчання може також включати інструктаж та практичну підготовку з використання обладнання настільки, наскільки це доречно. Необхідна підготовка першої медичної допомоги передбачає, що весь персонал щорічно проходить навчання з надання першої медичної допомоги та спеціальне навчання з надання першої медичної допомоги при аваріях на електричних установках. Усі, хто працює з повітряними лініями та повітряними кабелями, повинні бути навчені аварійно-рятувальним операціям на стовпах. Навчання потрібно повторювати принаймні кожні 12 місяців.

Для великих підприємств необхідна підготовка до надання першої медичної допомоги може спричинити за собою створення команди надання першої медичної допомоги як у складі аварійної резервної групи, так і протипожежної та аварійної групи. Обов'язковою умовою цієї роботи є складання плану організації з відповідними інструкціями. Це передбачає розробку плану надзвичайних ситуацій як для повідомлення аварійних служб (поліція, пожежна та медична допомога), так і для повідомлення резервної групи. Вимога про те, щоб персонал



був поінформований про відповідні положення Регламенту, вказує на те, що певні положення не застосовуються або не стосуються певних видів діяльності або рівнів напруги. Це означає, що персонал не повинен бути ознайомлений з вимогами, які не стосуються власної роботи.

Купуючи послуги у зовнішнього підприємства, власник підприємства повинен забезпечити належні умови, щоб ті, хто проводить роботи, отримували необхідне навчання, практику та інструктаж, щоб дозволити їм виконати завдання у відповідній установці. Навчання повинно бути задокументовано в Системі внутрішнього контролю підприємства. Загальне планування також повинно охоплювати відповідні вимоги інших нормативних актів, включаючи оцінку впливу на працівників електричних та магнітних полів.

### **4.3 Безпека на робочому місці**

У будь-який момент часу повинно бути чітко визначено, хто є призначеним наглядовим органом з питань безпеки, який має повноваження планувати, а також нести відповідальність за встановлення, нагляд та згодом скасування заходів безпеки у зв'язку з роботою на електричних установках чи поблизу них. Наглядач з безпеки повинен забезпечити, щоб усі заходи проводились належним чином та відповідно до цих правил. Керівник з техніки безпеки повинен безпосередньо спілкуватися з керівником операцій або уповноваженим заміником та усіма, хто бере участь у робочому завданні.

Стосовно роботи на установці високої напруги, зв'язок між керівником з безпеки та контролером завжди повинен бути прямим. Наглядач з техніки безпеки - єдина особа, яка має дозвіл розпочати роботу на високовольтній установці або поблизу неї. Під час усіх робіт на високовольтній установці, поблизу неї або поблизу неізолюваної повітряної лінії низької напруги під напругою, повинні бути принаймні дві особи, щоб бути готовими до подолання аварійної ситуації. Крім того, при встановленні та демонтуванні, у зв'язку з роботою на високовольтній установці або поблизу неї на робочому місці повинні бути принаймні дві особи. Вимога про наявність двох осіб при встановленні та

вживанні заходів безпеки може бути відмовлена, якщо аналіз ризику вказує, що це не спричинить підвищеного ризику для особи, яка проводить роботу.

Для роботи на електричній установці або поблизу неї слід призначити керівника служби безпеки для кожного конкретного робочого завдання серед тих, хто має необхідний дозвіл. Передбачено, що керівник служби безпеки повинен спілкуватися безпосередньо з керівником операцій або уповноваженим заміником та тими, хто бере участь у роботі, без використання посередник. Вимоги про присутність принаймні двох осіб під час встановлення, зняття заходів безпеки та під час роботи на або в районі високовольтної установки чи поблизу неізольованої повітряної лінії низької повинні мати можливість допомогти одне одному у випадку нещасного випадку. Це означає, що всі члени робочої групи повинні мати знання про установку, пройти навчання першої медичної допомоги та, якщо необхідно, навчитися правилам техніки безпеки на висоті (стовпи, щогли тощо).

Вимога щодо двох осіб може бути відмовлена, якщо оцінка ризику вказує, що це не сприятиме збільшенню ризику для відповідного працівника. Це може, наприклад, стосуватися робіт на кабельній установці, де тимчасове заземлення встановлюється на кінцях кабелю за допомогою закритої комутаційної установки, ємнісної перевірки напруги та фіксованої системи заземлення.

Наглядач з безпеки повинен особисто спостерігати за роботою, і йому дозволяється брати участь у роботі, лише якщо це жодним чином не заважає функції нагляду за безпекою. Якщо інспектор з безпеки повинен покинути робоче місце (наприклад, для нагляду за іншою роботою), повинен бути призначений спостерігач з безпеки. Спостерігач з питань безпеки має лише обмежені повноваження, і йому дозволяється лише контролювати роботу і не вносити жодних змін до встановлених заходів безпеки. Спостерігач з техніки безпеки може зупинити роботу і її не можна відновлювати, доки наглядач з безпеки не перевірить, що заходи безпеки недоторкані, і не дасть згоду на відновлення роботи. Наглядач з безпеки повинен бути поінформований про всі оцінки та рішення, які були прийняті, та про необхідні заходи безпеки. Робоча група також повинна бути поінформована про будь-які зміни керівника з техніки безпеки.

Якщо функції наглядача з комутації та інспектора з безпеки виконують дві різні особи, вимога полягає в тому, що інспектор з безпеки повинен отримувати безпосереднє повідомлення від інспектора з комутації про те, що установка перестала працювати та що на всіх місцях відключення були введені необхідні заходи безпеки.

#### **4.4 Промисловий пожежний захист**

Підприємства по всій країні та у всьому світі відповідають за виготовлення та зберігання незліченних предметів. Внаслідок процесів, що відбуваються на підприємстві, а також матеріалів, що зберігаються та використовуються на складах, ризик пожежі може бути більшим, ніж ризик побутового чи комерційного майна. Якщо є відповідне обладнання та практика пожежної безпеки, можна допомогти мінімізувати ризик.

##### **Основні ризики на підприємстві**

На підприємствах існує різноманітна пожежна небезпека. Процеси, що відбуваються на заводах, що використовують легкозайmistі матеріали, надзвичайно ризиковані без належних запобіжних заходів, і навіть тоді несправність машин може спричинити пожежу.

Електричне обладнання, яке експлуатується, може спричинити пожежу через неправильне використання або несправності.

На складах, де зберігається велика кількість обладнання, присутні легкозайmistі матеріали, а неналежний догляд або неправильне використання може призвести до пожежі. Часто великий обсяг предметів, що зберігаються, означає, що внаслідок пожежі він може швидко поширитися.

Для запобігання пожежі легкозайmistих матеріалів треба:

- забезпечити належну підготовку до роботи з хімічними речовинами;
- надати відповідні засоби індивідуального захисту(ЗІЗ);
- зберігати небезпечний матеріал належним чином;
- контролювати всі джерела запалювання.

Що стосується небезпеки електричного струму, вона повинна бути визначена на промислових об'єктах. Пожежі, які почалися через електричні проблеми, як правило, спричинені пошкодженою проводкою, оголеними дротами, перевантаженнями у мережі, статичним розрядом. Щоб запобігти нещасним випадкам, треба:

- уникати перевантаження розеток;
- не залишати тимчасове обладнання підключеним до мережі, коли воно не використовується;
- за потреби використовувати антистатичне обладнання;
- зберігати легкозаймисті матеріали в охайному місці.

Ще один пожежний ризик, який кожен повинен враховувати, стосується обладнання. Постійне тертя між частинами, які можуть бути змащені недостатньо добре, може спричинити злітання іскор або додаткове нагрівання. До цієї групи можна також віднести машини, які не були встановлені належним чином, як печі.

Щоб запобігти нещасному випадку, потрібно:

- усвідомлювати небезпеку, якими володіє машина та обладнання;
- регулярно проводити чистку;
- дотримуватися розпорядку технічного обслуговування.

Оцінка пожежної небезпеки - ці перевірки мають вирішальне значення для безпеки майна. Забезпечуючи належну перевірку, можна виявити будь-які ризики чи потенційні проблеми та вжити належних запобіжних заходів, щоб мінімізувати загрозу, яка походить від цих областей.

Навчання по пожежній безпеці - якщо спалахне пожежа, дуже важливо, щоб присутні знали, що робити. Навчання персоналу процедурам евакуації, техніці безпеки та управлінню ризиками - це те, що повинні робити всі підприємства, щоб максимізувати безпеку своїх працівників, відвідувачів та власності.

Обладнання протипожежної безпеки - вогнегасники, пожежна сигналізація, протипожежні двері та спринклери: це лише частина засобів пожежної безпеки, які можна встановити на заводі чи на складі.

#### **4.5 Висновки до розділу**

У розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях був розрахований контур захисного заземлення для ділянки, що проектується.

Проаналізовані основні положення щодо положень, які стосуються систематичної діяльності в галузі охорони здоров'я та безпечної праці на підприємстві. Рекомендації щодо техніки безпеки на робочу місці. Розроблені заходи з захисту навколишнього середовища.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра було розроблено заходи зниження втрат електроенергії у цеху підприємства. Розробка заходів відбувалась за допомогою застосування організаційних методів, в яких зменшення втрат відбувається за рахунок раціоналізації роботи схем електромережі і режимів роботи обладнання та технічних методів, в яких втрати зменшують конкретно у електричному обладнанні.

В ході розрахунків отримав наступні висновки:

1. Досліджені режими роботи споживачів, їх навантаження та категорії надійності. Проведено вибір номінального роду струму та напруги.
2. Здійснено розрахунки електричного навантаження та для компенсації реактивно потужності була розрахована комплектна конденсаторна установка.
3. Для живлення споживачів проведено розрахунки, та здійснено вибір кількості та потужності силових трансформаторів для комплектної трансформаторної підстанції. КТП складається з двох трансформаторів типу ТМЗ.
4. Для живлення силового трансформатора проведено розрахунки, здійснено вибір та перевірку перерізу кабелю на напругу 10 кВ.
5. Складено розрахункову схему, та схему заміщення, на основі якої, виконано розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ і 0,4 кВ і.
6. Для захисту на стороні високої напруги проведено розрахунки, та здійснено вибір високовольтних вимикачів. Для захисту трансформаторів від короткого замикання, перевантаження, розрахований та здійснено вибір пристроїв релейного захисту та автоматики.
7. На стороні низької напруги здійснено вибір кабелів для живлення споживачів та розрахунок захисного обладнання. Також на стороні низької напруги були розраховані і встановлені вимірювальні трансформатори струму та напруги.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонін, Е.А. Соболенка. Асинхронні двигуни серії 4А. Довідник. Енергоіздат, 1982. – 504 с.
2. Асинхронні металургійні двигуни серії 4МТН225, 4МТКН225. – М.: Інформелектро, 1980. – 8 с.
3. Каталог. Інформелектро. Двигуни ПС металургійні та кранові серії Д потужністю 2,5 – 185 кВт. 1978. – 28 с.
4. ДСТУ 2648-94. Ізолятори електротехнічні. Терміни та визначення. – К: Держстандарт України, 1994. – 23 с.
5. ДСТУ 2848-94. Апарати електричні комутаційні. Основні поняття. – К: Держстандарт України, 1994. – 59 с.
6. ДСТУ 2936-94. Реле електричні. Терміни та визначення. – К: Держстандарт України, 1994. – 69 с.
7. ДСТУ 2960-94. Організація промислового виробництва. Основні поняття. – К: Держстандарт України, 1994. – 44 с.
8. М.Г. Попович, Л.Ф. Артеменко, О.П. Бурмістенков та ін.; За ред. Д.Б. Головка, М.Г. Поповича. – 2-ге вид. Електричні машини та електропривод побутової техніки. Підручник. К.: Либідь, 2004 – 352 с.
9. І.М. Армаш. Електробезпека: Конспект лекцій для студентів денного і заочного відділень/. – Запоріжжя: ЗЕК ЗНТУ, 2011. – 183 с.
10. М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. К.: Либідь, 2005 – 678 с.
11. Я.В. Селецька. Електропостачання підприємств і цивільних споруд: Конспект лекцій для студентів денного і заочного відділень /. – Запоріжжя: ЗЕТК, 2001. – 380 с.
12. О.Й. Засельський. Електрообладнання підприємств і цивільних споруд: Конспект лекцій для студентів денного і заочного відділень. – Запоріжжя: ЗЕК ЗНТУ, 2012. – 383 с.
13. Забокрицкий Е.И., Холодовский Б.А., Митченко А.И. Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматики. – К.: Наукова думка, 1985.–702с.

14. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навч. посіб. К. Кондор, 2005. – 408
15. Ю.Е. Пачколін. Заходи з охорони праці при виконанні електромонтажних робіт та експлуатації електрообладнання: Конспект лекцій для студентів денного і заочного відділень. Запоріжжя: ЗЕТК, 2001. – 80 с.
16. Кноррінг Г.М. Довідник для проектування електричного освітлення. – Л.: Енергія, 1968. – 391 с.
17. Лозинський О.Ю., Марущак Я.Ю., Костробій П.П. Розрахунок надійності електроприводів: Підручник. Львів: вид-во ДУ «Львівська політехніка». 1996. – 234 с.
18. Метельський В.П. Електричні машини та мікромашини. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2001. – 592 с.
19. О.Й. Засельський. Налагодження електрообладнання: Конспект лекцій для студентів денного і заочного відділень. Запоріжжя: ЗЕТК ЗНТУ, 2009. – 360 с.
20. О.О. Бондаренко. Основи електропривода: Конспект лекцій для студентів денного і заочного відділень. Запоріжжя: ЗЕТК, 2001. – 292 с.
21. О.Й. Засельський. Основи проектування та конструювання електроустановок: Конспект лекцій для студентів денного і заочного відділень. Запоріжжя: ЗЕК ЗНТУ, 2012. – 69 с.
22. О.М. Савчук. Конспект лекцій та методичні вказівки з виконання контрольних робіт охорони праці для студентів технічних вузів. Запоріжжя: Просвіта, 2004. – 164 с.
23. Правила улаштування електроустановок. – К.: 2010. – 653 с.