

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

## бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Система електропостачання заводу із виготовлення запчастин до  
сільськогосподарської техніки

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи ЕТс-41  
спеціальності 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва спеціальності)

|                   |          |                        |
|-------------------|----------|------------------------|
|                   | <hr/>    | Гунцелізер Р.Й.        |
|                   | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Керівник          | <hr/>    | Бабюк С.М.             |
|                   | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Нормоконтроль     | <hr/>    | Коваль В.П.            |
|                   | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Завідувач кафедри | <hr/>    | Коваль В.П.            |
|                   | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Рецензент         | <hr/>    | Шовкун О.П.            |
|                   | (підпис) | (прізвище та ініціали) |

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Гунцелізера Романа Йосиповича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система електропостачання заводу із виготовлення запчастин до сільськогосподарської техніки

Керівник роботи Бабюк Сергій Миколайович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від «22» січня 2024 року № 4/7-47

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Потужність та назва електрообладнання

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

1. Презентація

2.

3.

4.

5.

6.

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ  | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата      |                     |
|---|---|-------------------|---------------------|
|   |   | завдання<br>видав | завдання<br>прийняв |
| Безпека життєдіяльності та основи охорони праці | Гурик О.Я., к.т.н., доцент кафедри МТ     |                   |                     |
| Нормоконтроль                                   | Коваль В.П., к.т.н., завідувач кафедри ЕІ |                   |                     |
|   |   |                   |                     |
|   |   |                   |                     |
|   |   |                   |                     |
|   |   |                   |                     |
|   |   |                   |                     |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 2024 року \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи                             | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|--------------------------------|----------|
| 1     | Вступ   | 15.03.2024                     |          |
| 2     | Аналітичний розділ                              | 28.03.2024                     |          |
| 3     | Проектно-конструкторський розділ                | 31.04.2024                     |          |
| 4     | Розрахунковий розділ                            | 30.05.2024                     |          |
| 5     | Безпека життєдіяльності та основи охорони праці | 01.06.2024                     |          |
| 6     | Загальні висновки                               | 03.06.2024                     |          |
| 7     | Оформлення пояснювальної записки                | 05.06.2024                     |          |
| 8     | Оформлення графічної частини                    | 06.06.2024                     |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Гунцелізер Р.Й.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Бабюк С.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс–41. - Т. : ТНТУ, 2024.

Стор. 65; рис. 5; табл. 21; креслень -; джерел 13; додатків 2.

Робота бакалавра виконана згідно завдання на тему: «Система електропостачання заводу із виготовлення запчастин до сільськогосподарської техніки».

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання заводу із виготовлення запчастин до сільськогосподарської техніки.

Проведено розрахунок навантажень технологічного обладнання заводу. Проведено розрахунок електричних навантажень мережі освітлення. Проведено розрахунок сумарних електричних навантажень заводу. Проведено розрахунок та побудовано картограму навантажень заводу. Визначено розрахункове навантаження із мережі зовнішнього електропостачання. Проведена оцінка потужності КП. Проведено вибір раціональної напруги, січень та марки проводів ліній живлення. Проведено вибір кількості і потужності силових трансформаторів ГПП. Проведено вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП. Обґрунтовано встановлення двотрансформаторних ПС на ЦТП. Проведено визначення потужності КП і їх розташування. Проведено вибір схеми внутрішнього електропостачання заводу, січень і марки проводів розподільчих мереж. Проведено розрахунок струмів КЗ. Проведено вибір електрообладнання і струмоведучих частин ГПП, електрообладнання розподільчих мереж. Проведено розрахунок заземлення ГПП. Здійснено вибір схеми РЗ.

Ключові слова: завод із виготовлення запасних частин до сільськогосподарської техніки, система електропостачання, трансформатор.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП .....   | 6  |
| 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....  | 8  |
| 1.1 Техніка безпеки при обслуговуванні електричного обладнання<br>ГПП.....  | 8  |
| 1.2 Коротка характеристика заводу і електроспоживачів.....  | 9  |
| 1.3 Системи електропостачання.....  | 12 |
| 1.4 Постановка задач .....  | 13 |
| 2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ .....  | 14 |
| 2.1 Розрахунок електричних навантажень РМЦ.....   | 14 |
| 2.2.1 Розрахунок навантажень технологічного<br>електрообладнання РМЦ .....  | 14 |
| 2.2 Розрахунок електричних навантажень заводу.....  | 17 |
| 2.2.1 Розрахунок електричних навантаження технологічного<br>обладнання заводу.....  | 17 |
| 2.2.2 Розрахунок електричних навантажень мережі освітлення..  | 19 |
| 2.2.3 Розрахунок сумарних електричних навантажень заводу....  | 20 |
| 2.2.4 Побудова картограми навантажень заводу.....   | 21 |
| 2.3 Визначення розрахункового навантаження із мережі<br>зовнішнього електропостачання. Оцінка потужності компенсуючих<br>пристроїв..... | 24 |
| 2.4 Вибір напруги, марки проводів та січень ліній<br>живлення.....  | 25 |
| 2.5 Вибір потужності та кількості трансформаторів ГПП.....  | 27 |
| 2.6 Вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП.....   | 35 |
| 2.7 Визначення потужності компенсуючи пристроїв і їх<br>розташування.....   | 37 |
| 2.8 Вибір схеми внутрішнього електропостачання заводу, січень і   |    |

|   |    |
|---|----|
| марки проводів розподільчих мереж.....  | 40 |
| 2.8.1 Обґрунтування та загальні вимоги схеми внутрішнього електропостачання.....                  | 40 |
| 2.8.2 Вибір марки та перерізу кабелів розподільчих внутрішніх електромереж.....                   | 41 |
| 2.9 Висновки до Розділу 2.....  | 43 |
| 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....   | 44 |
| 3.1 Розрахунок струмів короткого замикання.....   | 44 |
| 3.2 Вибір електрообладнання і струмоведучих частин ГПП, електрообладнання розподільчих мереж..... | 49 |
| 3.3 Розрахунок заземлення головної понижаючої підстанції.....                                     | 52 |
| 3.4 Вибір схеми релейного захисту.....  | 52 |
| 3.5 Висновки до Розділу 3.....  | 57 |
| 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ...   | 58 |
| 4.1 Ризик як кількісна оцінка небезпек.....   | 58 |
| 4.2 Пожежна профілактика на дільниці.....   | 59 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....   | 62 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....  | 64 |
| ДОДАТКИ.....  | 1  |
| Додаток А. Розрахунок заземлення ГПП.....   | 2  |
| Додаток Б. Обґрунтування та загальні вимоги схеми внутрішнього електропостачання.....             | 5  |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Актуальність розробки системи електропостачання для заводу, що виготовляє запчастини до сільськогосподарської техніки, надзвичайно велика. Електропостачання є життєво важливим для забезпечення безперебійного функціонування обладнання, виробничих ліній та інших систем заводу.

Ось кілька причин, чому це так важливо:

**Продуктивність виробництва:** Заводи, які виробляють запчастини до сільськогосподарської техніки, часто працюють в режимі 24/7 або мають жорсткі графіки виробництва. Навіть короточасні перебої у електропостачанні можуть призвести до значних втрат продуктивності.

**Якість продукції:** Більшість сучасних процесів виробництва на заводах залежать від автоматизації та електроніки. Нестабільність електропостачання може спричинити відмови обладнання, що в свою чергу призведе до зниження якості продукції або навіть до відмов продукту відповідати стандартам безпеки.

**Безпека працівників:** Нестабільне електропостачання може створювати небезпечні ситуації для працівників. Наприклад, аварія на лінії, яка вимагає швидкої реакції, або втрата освітлення на робочому місці може призвести до травм.

**Ефективність витрат:** Недостатнє електропостачання може також призвести до зростання витрат на енергію через неефективне використання генераторів або інших джерел енергії.

Загалом, стабільне та надійне електропостачання є критичним для забезпечення ефективності та безпеки виробництва на заводі, що виготовляє запчастини до сільськогосподарської техніки.

Тому, розробка системи електропостачання заводу із виготовлення запчастин до сільськогосподарської техніки є актуальною задачею.

**Метою кваліфікаційної роботи** є розробка системи електропостачання заводу із виготовлення запчастин до сільськогосподарської техніки.

**Завдання:**

1. Дати коротку характеристику заводу і споживачів.
2. Розглянути системи електропостачання.
3. Провести розрахунок навантажень технологічного обладнання заводу, розрахунок електричних навантажень мережі освітлення, розрахунок сумарних електричних навантажень заводу.
4. Провести розрахунок та побудувати картограму навантажень заводу.
5. Визначити розрахункове навантаження із мережі зовнішнього електропостачання та провести оцінку потужності компенсуючих пристроїв.
6. Провести вибір раціональної напруги, січень та марки проводів ліній живлення.
7. Провести вибір кількості і потужності силових трансформаторів ГПП.
8. Провести вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП.
9. Провести визначення потужності компенсуючи пристроїв і їх розташування.
10. Провести вибір схеми внутрішнього електропостачання заводу, січень і марки проводів розподільчих мереж.
11. Провести розрахунок струмів КЗ.
12. Провести вибір електрообладнання і струмоведучих частин ГПП, електрообладнання розподільчих мереж.
13. Провести розрахунок заземлення головної понижаючої підстанції.
14. Здійснити вибір схеми релейного захисту.



## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Техніка безпеки при обслуговуванні електричного обладнання ГПП

Головна понижувальна підстанція розташована на окремій огороженій території, на якій розташовано відкритий розподільчий пристрій 35 кВ та закритий розподільчий пристрій 10 кВ. На відкритому розподільчому пристрої 35 кВ (ВРП-35 кВ) встановлені: лінійні роз'єднувачі, відокремлювачі, короткозамикачі та силові трансформатори. Закритий розподільчий пристрій 10 кВ (ЗРП-10 кВ) розташовано в окремому закритому приміщенні з однорядним розташуванням комірок напругою 10 кВ (КРП-10 кВ), від яких відходять кабельні лінії 10 кВ.

Обслуговування та ремонт електрообладнання ГПП здійснюється оперативним, оперативно-ремонтним та ремонтним персоналом служби головного енергетика комбінату.

Організація робіт в діючих електроустановках споживачів виконується згідно вимог [1]. Згідно цих правил роботи в електроустановках виконуються по нарядах-допусках, по розпорядженнях та в порядку поточної експлуатації згідно списку робіт затвердженого відповідальною особою за електрогосподарство.

В розпорядженні оперативного персоналу знаходиться наступна технічна документація:

- затверджена однолінійна схема ГПП;
- оперативні схеми, на яких позначено дійсне положення всіх комутаційних апаратів;
- оперативний журнал;
- списки осіб, які мають право виконувати роботи в електроустановках;
- журнал реєстрації нарядів та розпоряджень;
- журнал обліку електроенергії;

- журнал обходів та оглядів електрообладнання;
- журнал реєстрації та контролю захисних засобів та засобів пожежогасіння;
- інструкції з техніки безпеки;
- інструкції по оперативним перемиканням;
- інструкції по виконанню робіт при ліквідації аварійних ситуацій.

Розподільчі пристрої ГПП забезпечені повними комплектами захисних засобів та попереджувальних плакатів, а також засобами пожежогасіння та надання першої медичної допомоги потерпілим.

## **1.2 Коротка характеристика заводу і електроспоживачів**

Завод по виробництву запасних деталей до сільськогосподарської техніки виготовляє запасні частини до сільськогосподарської техніки вітчизняного виробництва. Завод знаходиться на відстані 8,9 км від районної понижувальної підстанції 110/35 кВ, на якій встановлено понижуючі трьохобмоточні трансформатори потужністю 63000 КВА, а потужність енергосистеми становить 1200 МВА.

На території заводу розташовані виробничі цехи з встановленим різного роду технологічним обладнанням, адміністративні приміщення, компресорна, їдальня, насосна.

Основними електроспоживачами заводу є цехи ковальсько-штампувальний, сталеварний цех, чавунно-ливарний, головний корпус та компресорна (6 кВ). По надійності електропостачання споживачів завод відноситься до 1-ої категорії, тобто на заводі є значна кількість споживачів 1-ої та 2-ої категорії, яка становить до 55% від загальної кількості споживачів.

Подано генеральний план розташування об'єктів заводу та їх встановлена потужність. Назву об'єктів та їх встановлену потужність дано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Назва об'єктів та їх встановлена потужність.

| Назва цехів та об'єктів         | $P_{вст}$ ,<br>кВт |
|---------------------------------|--------------------|
| 1. Сталевий цех                 | 3400               |
| 2. Чавунно-ливарний цех         | 3800               |
| 3. Цех точного лиття            | 1600               |
| 4. Ковальсько-штампувальний цех | 10800              |
| 5. Головний корпус              | 10080              |
| 6. Заготівельний корпус         | 1160               |
| 7. Цех втулок                   | 2660               |
| 8. Цех пальців                  | 2800               |
| 9. Інструментальний цех         | 3900               |
| 10. Ремонтно-механічний цех     | 800                |
| 11. Компресорна                 | 560                |
| Компресорна (6 кВ)              | 5400               |
| 12. Киснева станція             | 580                |
| 13. Заводоуправління            | 180                |
| 14. Їдальня                     | 240                |
| 15. Насосна                     | 480                |
| 16. Гараж                       | 84                 |
| Всього по заводу                |                    |

На рис. 1.1 показано генеральний план електропостачання заводу по виробництву запасних деталей до сільськогосподарської техніки.

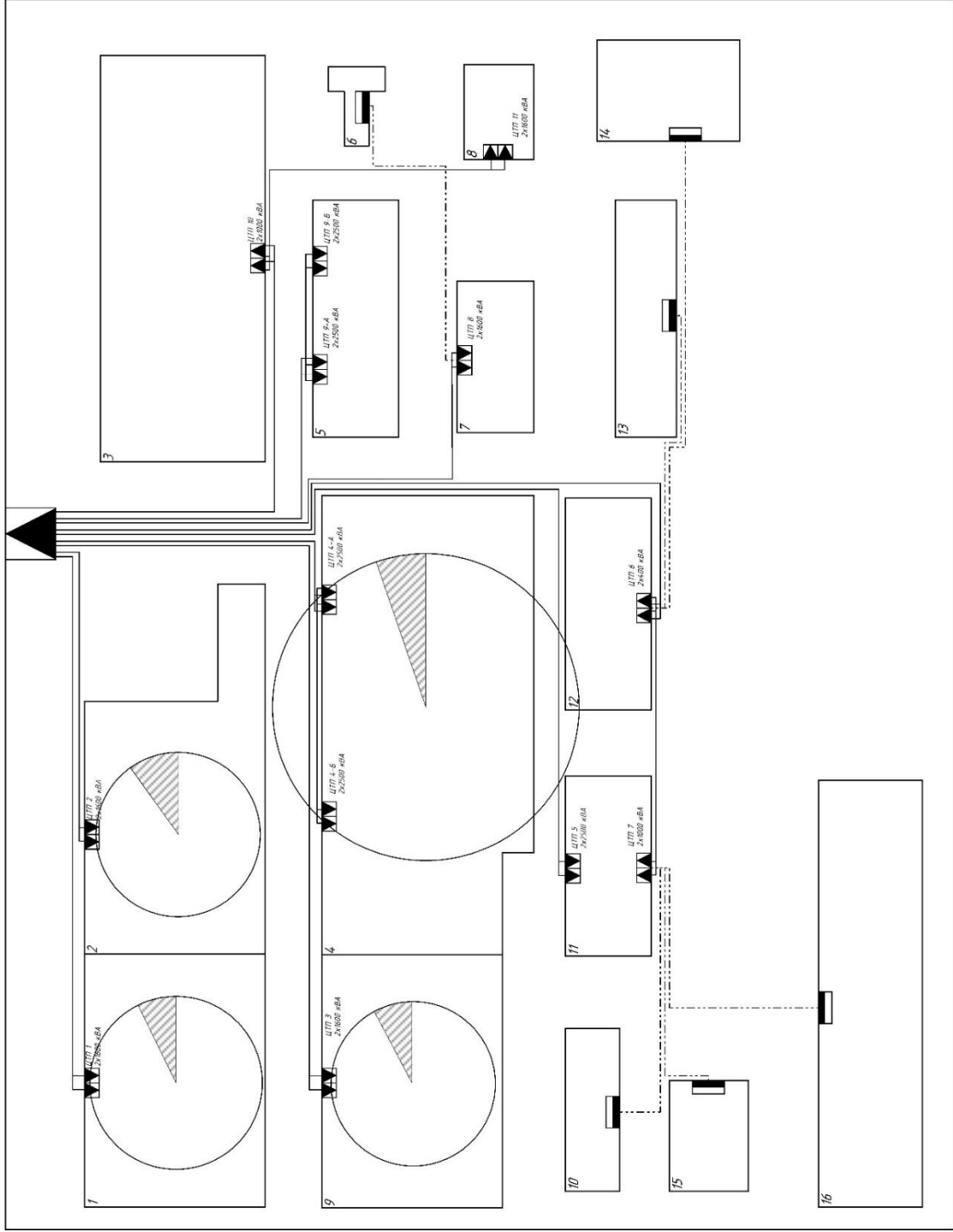


Рис. 1.1 - Генеральный план электропитания завода по производству запасных деталей до сільськогосподарської техніки

### 1.3 Системи електропостачання.

Системи електропостачання включають у себе всі компоненти, що забезпечують передачу та розподіл електроенергії від джерела (зазвичай електростанції) до кінцевих споживачів. Основні складові системи електропостачання включають [2, 3]:

1. Джерела енергії: станції з використанням вугілля, газу, нафти, вітру, сонця, води та інших джерел енергії. Джерела можуть бути різноманітні за розміром, типом та потужністю.

2. Передавальна мережа: передає великі обсяги електроенергії на великі відстані від джерела енергії до регіональних або місцевих мереж розподілу.

3. Мережа розподілу: призначена для передачі електроенергії від підстанцій до кінцевих споживачів, включаючи домогосподарства, підприємства та інші об'єкти.

4. Підстанції: Це вузли в системі, де електроенергія перетворюється на різних рівнях напруги для подальшої передачі.

5. Захисні пристрої та устаткування керування: автоматичні вимикачі, релейний захист, системи віддаленого керування тощо, які забезпечують безпеку та надійність мережі.

6. Системи керування та моніторингу: використовуються для нагляду, керування та діагностики роботи системи електропостачання, щоб забезпечити ефективну та безпечну роботу всіх її складових.

7. Резервне живлення: Деякі системи мають також резервні джерела енергії, такі як дизельні генератори або акумуляторні батареї, для забезпечення неперервного живлення у випадку аварій або відключень.

Розвиток технологій, таких як розумна мережа (Smart Grid), також додає нові можливості для оптимізації та підвищення ефективності систем електропостачання.

#### 1.4. Постановка задач

1. Дати коротку характеристику заводу і споживачів.
2. Розглянути системи електропостачання.
3. Провести розрахунок навантажень технологічного обладнання заводу, розрахунок електричних навантажень мережі освітлення, розрахунок сумарних електричних навантажень заводу.
4. Провести розрахунок та побудувати картограму навантажень заводу.
5. Визначити розрахункове навантаження із мережі зовнішнього електропостачання та провести оцінку потужності компенсуючих пристроїв.
6. Провести вибір раціональної напруги, січень та марки проводів ліній живлення.
7. Провести вибір кількості і потужності силових трансформаторів ГПП.
8. Провести вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП.
9. Провести визначення потужності компенсуючих пристроїв і їх розташування.
10. Провести вибір схеми внутрішнього електропостачання заводу, січень і марки проводів розподільчих мереж.
11. Провести розрахунок струмів КЗ.
12. Провести вибір електрообладнання і струмоведучих частин ГПП, електрообладнання розподільчих мереж.
13. Провести розрахунок заземлення головної понижаючої підстанції.
14. Здійснити вибір схеми релейного захисту.

## **2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ**

### **2.1 Розрахунок електричних навантажень РМЦ**

Розрахунок електричних навантажень заводу виконуємо в чотири етапи [4]. На першому етапі виконуємо розрахунок електричних навантажень технологічного обладнання ремонтно-механічного цеху методом коефіцієнту використання. Цей метод дозволяє врахувати величину розрахункових навантажень в залежності від використання того чи іншого обладнання цеху, не є трудомістким.

На другому етапі розрахунків для інших цехів заводу використовуємо метод коефіцієнтів попиту технологічного навантаження цехів в цілому. Коефіцієнт попиту, так само, як і коефіцієнт використання враховує величину розрахункових навантажень в залежності від технологічних процесів виробництва.

На третьому етапі виконуємо розрахунки електричних навантажень мереж освітлення виходячи з питомого навантаження освітлення на одиницю площі відповідного цеху або об'єкту. На четвертому етапі виконуємо розрахунки по визначенню сумарного навантаження заводу в цілому враховуючи навантаження електросилових та освітлювальних мереж. Для всіх об'єктів розраховуємо та будуємо картограму навантажень, яку показуємо на генеральному плані підприємства.

Розрахунки електричних навантажень по етапах виконуємо згідно розрахункових формул і результати зводимо в розрахункові таблиці.

#### **2.2.1 Розрахунок навантажень технологічного електрообладнання РМЦ**

Розрахунок виконуємо методом коефіцієнту використання. Для цього на задану встановлену потужність РМЦ, яка становить 800 кВт вибираємо

технологічне обладнання, перелік якого з необхідними технічними даними вказано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік вибраного технологічного обладнання РМЦ

| Найменування споживачів    | $P_y$ ,<br>кВт | N,<br>шт. | $P_{\text{сум}}$ ,<br>кВт | $K_B$ | $\cos\varphi/\text{tg}\varphi$ |
|----------------------------|----------------|-----------|---------------------------|-------|--------------------------------|
| Токарно-гвинторізний       | 11,9           | 4         | 47,6                      | 0,12  | 0,5/1,73                       |
| Кран-балка                 | 4,2            | 2         | 8,4                       | 0,15  | 0,5/1,73                       |
| Фрезерний                  | 18             | 10        | 180                       | 0,12  | 0,65/1,17                      |
| Шліфувальний верстат       | 14             | 2         | 28                        | 0,12  | 0,62/1,27                      |
| Універсально-заточувальний | 6              | 2         | 18                        | 0,12  | 0,4/2,3                        |
| Зварювальний трансформатор | 14             | 2         | 28                        | 0,2   | 0,6/1,33                       |
| Зубофрезерний              | 12             | 4         | 48                        | 0,12  | 0,4/2,3                        |
| Свердлильний               | 3              | 5         | 15                        | 0,12  | 0,45/1,98                      |
| Зварювальний перетворювач  | 25             | 2         | 50                        | 0,25  | 0,6/1,33                       |
| Внутрішньо-шліфувальний    | 10             | 1         | 10                        | 0,17  | 0,63/1,23                      |
| Машина електрозварювальна  | 75             | 5         | 375                       | 0,35  | 0,55/1,52                      |
| Вентилятор витяжний        | 4              | 8         | 32                        | 0,65  | 0,8/0,75                       |
| Всього по цеху             | -              | 43        | 768                       | -     | -                              |

За даним методом розрахунків навантаження визначаємо із співвідношень:

$$P_p = P_{\text{ном}} \cdot K_g \quad (2.1)$$

$$Q_p = P_{\text{см}} \cdot \text{tg } \varphi \quad (2.2)$$

де:  $P_p$ ,  $Q_p$  – розрахункова активна, реактивна потужність;

$K_g$  – коефіцієнт використання;

$\text{tg } \varphi$  – відповідає середньозваженому  $\cos\varphi$  споживачів;

$\cos \varphi$  - коефіцієнт потужності споживачів [2, 3].



Результати розрахунку зводимо у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок електроспоживачів РМЦ по групах

| №  | Найменування споживачів      | Кількість | Встановлена потужність, кВт |      | $K_B$ | $\cos \varphi / \operatorname{tg} \varphi$ | Розрахункова потужність |                 |
|----|------------------------------|-----------|-----------------------------|------|-------|--|-------------------------|-----------------|
|    |                              |           | Одног<br>о                  | Всіх |       |  | $P_p$ ,<br>кВт          | $Q_p$ ,<br>кВАр |
| 1  | Токарно-гвинторізний верстат | 4         | 11,9                        | 47,6 | 0,12  | 0,5/1,73                                   | 5,71                    | 9,89            |
| 2  | Кран-балка                   | 2         | 4,2                         | 8,4  | 0,15  | 0,5/1,73                                   | 1,26                    | 2,18            |
| 3  | Фрезерний верстат            | 6         | 18                          | 108  | 0,12  | 0,65/1,17                                  | 12,96                   | 15,15           |
| 4  | Шліфувальний верстат         | 2         | 14                          | 28   | 0,12  | 0,62/1,27                                  | 3,36                    | 4,25            |
| 5  | Універсально-заточувальний   | 2         | 6                           | 18   | 0,12  | 0,4/2,29                                   | 2,16                    | 4,95            |
| 6  | Зварювальний трансформатор   | 2         | 14                          | 28   | 0,2   | 0,6/1,33                                   | 5,60                    | 7,47            |
| 7  | Зубофрезерний                | 4         | 12                          | 48   | 0,12  | 0,4/2,29                                   | 5,76                    | 13,20           |
| 8  | Свердлильний верстат         | 5         | 3                           | 15   | 0,12  | 0,45/1,98                                  | 1,80                    | 3,57            |
| 9  | Зварювальний перетворювач    | 2         | 25                          | 50   | 0,25  | 0,6/1,33                                   | 12,50                   | 16,67           |
| 10 | Внутрішньо-шліфувальний      | 1         | 10                          | 10   | 0,17  | 0,63/1,23                                  | 1,70                    | 2,10            |
| 11 | Машина електрозварювальна    | 5         | 75                          | 375  | 0,35  | 0,55/1,52                                  | 131,25                  | 199,5           |
| 12 | Вентилятор витяжний          | 8         | 4                           | 32   | 0,65  | 0,8/0,75                                   | 20,80                   | 15,60           |
|    | Всього по цеху               | 43        | -                           | 768  | -     | -  | 204,86                  | 294,53          |

## 2.2 Розрахунок електричних навантажень заводу

### 2.2.1 Розрахунок електричних навантаження технологічного обладнання заводу

Розрахунок виконуємо методом коефіцієнта попиту силових споживачів  $K_c$ , який залежить від характеру виробництва та технологічних процесів виробництва. Коефіцієнт попиту визначаємо з довідникової літератури [2, 3].

Розрахункові потужності визначаємо за формулами:

$$P_p = K_c \cdot P_n, \quad (2.3)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.4)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.5)$$

де  $P_n$  – номінальна активна потужність встановленого обладнання цеха або об'єкта;

$P_p$ ,  $Q_p$ ,  $S_p$  – розрахункові активна, реактивна та повна потужності цеха або об'єкта;

$\operatorname{tg} \varphi$  - відповідає коефіцієнту потужності силових споживачів цеха або об'єкта.

По формулах (2.14 – 2.16) визначаються розрахункові потужності, наприклад для сталевих цеху:

$$K_{c1} = 0,7;$$

$$\cos \varphi_1 = 0,8;$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = 0,94;$$

$$P_{p1} = 0,7 \cdot 3400 = 2380 \text{ кВт};$$

$$Q_{p1} = 2380 \cdot 0,94 = 951,6 \text{ кВАр};$$

$$S_{p1} = \sqrt{1015^2 + 951,6^2} = 1391 \text{ кВА}.$$

Розрахунки для інших цехів та об'єктів виконуємо аналогічно і результати заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок навантажень технологічного обладнання заводу

| Назва цеху та об'єкту        | $P_n$ ,<br>кВт | $K_c$ | $\cos \varphi / \operatorname{tg} \varphi$ | $P_p$ ,<br>кВт | $Q_p$ ,<br>кВАр | $S_p$ ,<br>кВт |
|------------------------------|----------------|-------|--|----------------|-----------------|----------------|
| Сталевий цех                 | 3400           | 0,5   | 0,8/0,75                                   | 1700           | 1275            | 2125           |
| Чавунно-ливарний цех         | 3800           | 0,4   | 0,8/0,75                                   | 1520           | 1140            | 1900           |
| Цех точного лиття            | 1600           | 0,6   | 0,8/0,75                                   | 960            | 720             | 1200           |
| Ковальсько-штампувальний цех | 10800          | 0,5   | 0,9/0,47                                   | 5400           | 2538            | 5966,7         |
| Головний корпус              | 10080          | 0,7   | 0,8/0,75                                   | 6048           | 2842,56         | 6682,7         |
| Заготівельний корпус         | 1160           | 0,4   | 0,6/1,32                                   | 464            | 612,4           | 768,4          |
| Цех втулок                   | 2660           | 0,5   | 0,9/0,47                                   | 1330           | 625,1           | 1469,6         |
| Цех пальців                  | 2800           | 0,65  | 0,75/0,87                                  | 1820           | 1583,4          | 2412,4         |
| Інструментальний цех         | 3900           | 0,4   | 0,8/0,75                                   | 1560           | 1170            | 1950           |
| Ремонтно-механічний цех      | 800            | 0,4   | 0,7/1                                      | 320            | 320             | 452,5          |
| Компресорна                  | 560            | 0,7   | 0,7/1                                      | 392            | 294             | 490            |
| Компресорна (6 кВ)           | 5400           |       |  | 3780           | 0               | 3780           |
| Киснева станція              | 580            | 0,4   | 0,76/0,84                                  | 232            | 194,88          | 303            |
| Заводоуправління             | 180            | 0,5   | 0,9/0,47                                   | 90             | 42,3            | 99,4           |
| Їдальня                      | 240            | 0,3   | 0,7/1                                      | 72             | 69,12           | 99,8           |
| Насосна                      | 480            | 0,4   | 0,76/0,84                                  | 192            | 161,28          | 250,7          |
| Гараж                        | 84             | 0,3   | 0,65/1,15                                  | 25,2           | 28,98           | 38,4           |
| Всього                       | 48524          | -     | -  | 25905,2        | 13617,1         | 29266,1        |

## 2.2.2 Розрахунок електричних навантажень мережі освітлення

Розрахунок виконуємо методом питомої густини освітлювального навантаження цехів та інших об'єктів заводу на одиницю площі. Загальну площу цехів визначаємо по генеральному плані заводу. Густина питомого навантаження мережі освітлення  $P_{п.о}$  цехів та інших об'єктів визначаємо з [2,3].

Коефіцієнт попиту освітлювального навантаження  $K_{с.о}$  визначаємо по [2,3].

Для освітлення виробничих приміщень цехів використовуємо світильники з лампами типу ДРЛ, для яких  $\cos \varphi = 0,95$ ,  $\operatorname{tg} \varphi = 0,33$ .

Розрахунки виконуємо за формулами (2.6 – 2.8).

$$P_{н.о.} = P_{п.о.} \cdot F, \quad (2.6)$$

$$P_{р.о.} = P_{н.о.} \cdot K_{с.о}, \quad (2.7)$$

де  $P_{п.о}$  – густина питомого навантаження мережі освітлення, Вт/м<sup>2</sup>;

$F$  – площа цеха.

де  $K_{с.о.}$  – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження.

$$Q_{р.о.} = P_{р.о.} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.8)$$

Наприклад, визначаємо розрахункові потужності мережі освітлення для сталевих цеху, для освітлення якого використовуємо лампи ДРЛ з питомою густиною потужності  $P_{п.о} = 15$  Вт/м<sup>2</sup>, а виміряна загальна площа цеху  $F_1 = 9016$  м<sup>2</sup>.

$$P_{н.о.1} = 15 \cdot 2016 = 135240 = 135,24 \text{ кВт};$$

$$P_{р.о.1} = 180,32 \cdot 0,97 = 131,2 \text{ кВт};$$

$$Q_{р.о.1} = 39,1 \cdot 0,33 = 43,3 \text{ кВАр}.$$

Для інших цехів та об'єктів розрахунки виконуємо аналогічно і результати заносимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок навантажень мережі освітлення

| Назва цеху та об'єкту             | F,<br>м <sup>2</sup> . | P <sub>п.о.</sub><br>Вт/<br>м <sup>2</sup> | K <sub>с.о.</sub> | $\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi}$ | P <sub>н.о.</sub><br>кВт | P <sub>р.о.</sub><br>кВт | Q <sub>р.о.</sub><br>кВАр |
|-----------------------------------|------------------------|--|-------------------|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Сталевий цех                      | 9016                   | 15   | 0,97              | 0,95/0,33  | 135,2                    | 131,1                    | 43,3                      |
| Чавунно-ливарний цех              | 10118,5                | 17   | 0,97              | 0,95/0,33  | 172                      | 166,8                    | 55,1                      |
| Цех точного лиття                 | 13230                  | 15   | 0,97              | 0,95/0,33  | 198,4                    | 192,4                    | 63,5                      |
| Ковальсько-штампувальний цех      | 18265                  | 17   | 0,97              | 0,95/0,33  | 310,5                    | 301,2                    | 99,4                      |
| Головний корпус                   | 4042,5                 | 18   | 0,97              | 0,95/0,33  | 72,8                     | 70,6                     | 23,3                      |
| Заготівельний корпус              | 514,5                  | 13   | 0,97              | 0,95/0,33  | 6,7                      | 6,5                      | 2,1                       |
| Цех втулок                        | 2327,5                 | 15   | 0,97              | 0,95/0,33  | 34,9                     | 33,9                     | 11,2                      |
| Цех пальців                       | 1323                   | 16   | 0,97              | 0,95/0,33  | 21,2                     | 20,6                     | 6,8                       |
| Інструментальний цех              | 9016                   | 14   | 0,97              | 0,95/0,33  | 126,2                    | 122,4                    | 40,4                      |
| Ремонтно-механічний цех           | 1801                   | 13   | 0,97              | 0,95/0,33  | 23,4                     | 22,7                     | 7,5                       |
| Компресорна<br>Компресорна (6 кВ) | 3100                   | 15   | 0,97              | 0,95/0,33  | 46,5                     | 45,1                     | 14,9                      |
| Киснева станція                   | 3638,2                 | 15   | 0,97              | 0,95/0,33  | 54,5                     | 52,9                     | 17,4                      |
| Заводоуправління                  | 2992,5                 | 18   | 0,97              | 0,95/0,33  | 54                       | 52,4                     | 17,3                      |
| Їдальня                           | 2866,5                 | 15   | 0,97              | 0,95/0,33  | 43                       | 41,7                     | 13,8                      |
| Насосна                           | 1715                   | 10   | 0,97              | 0,95/0,33  | 17,2                     | 16,7                     | 5,5                       |
| Гараж                             | 8600                   | 8  | 0,97              | 0,95/0,33  | 68,8                     | 66,7                     | 22,0                      |
| Територія заводу                  | 241080                 | 0,2  | 0,97              | 0,95/0,33  | 48,2                     | 46,8                     | 15,4                      |
| Всього                            |                        |  |                   |  |                          | 1390,5                   | 458,9                     |

### 2.2.3 Розрахунок сумарних електричних навантажень заводу

Сумарні електричні навантаження цехів та об'єктів заводу складаються з електричних навантажень силових споживачів та мережі освітлення і визначаються за формулами:

$$P_{p.сум} = P_p + P_{p.о}, \quad (2.9)$$

$$Q_{p.сум} = Q_p + Q_{p.о}, \quad (2.10)$$

$$S_{p.сум} = \sqrt{P_{p.сум}^2 + Q_{p.сум}^2}, \quad (2.11)$$

По формулах (2.9 – 2.10), для прикладу, приведемо розрахунок для сталеварного цеху:

$$P_{p.сум} = 1700 + 131,1 = 1831 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.сум} = 1275 + 43,3 = 1318,3 \text{ кВАр};$$

$$S_{p.сум} = \sqrt{1831^2 + 1318,3^2} = 2250,3 \text{ кВА}$$

Для інших цехів та об'єктів заводу розрахунки виконуємо аналогічно і результати заносимо в таблицю 2.5.

#### 2.2.4 Побудова картограми навантажень заводу

Картограма навантажень заводу являє собою план підприємства з нанесеними на ньому кругами, площі яких пропорційні значенню розрахункових навантажень цехів, підрозділів, корпусів, приміщень заводу.

Умовно рахуючи, що центр прикладання розрахункового навантаження цеху знаходиться в геометричному центрі цього цеху. Центр кола суміщають з геометричним центром фігури, яка зображає цех на генеральному плані підприємства.

Розрахунки виконуємо за формулами:

$$R = \sqrt{\frac{P_{p.сум}}{mр \cdot \pi}} \quad (2.12)$$

де  $R$  – радіус кола, що зображає навантаження цеху, мм;

$P_{p.сум}$  - сумарне розрахункове навантаження цеху, кВт;

$mр$  – масштаб по потужності, кВт/мм<sup>2</sup> (приймаємо  $mр = 0,1$  кВт/мм<sup>2</sup>).

Величина центрального круга, що обмежує сектор певного виду навантаження  $P_p$ , знаходиться із співвідношення:

$$\alpha_0 = P_{p.o} \cdot 360 / P_{p.сум} \quad (2.13)$$

де  $\alpha_0$  – величина кута, що обмежує активне навантаження мережі освітлення цеху, гр.

$P_{p.o}$  – розрахункове активне навантаження мережі освітлення цеху, кВт;

$P_{p.сум}$  – розрахункове сумарне активне навантаження цеху, кВт.

Таблиця 2.5 – Розрахунок сумарних навантажень заводу

| Назва цеху та об'єкту        | $P_p$ ,<br>кВт | $Q_p$ ,<br>кВАр | $P_{p.o.}$ ,<br>кВт | $Q_{p.o.}$ ,<br>кВАр | $P_{p.сум}$<br>кВт | $Q_{p.сум}$ ,<br>кВАр | $S_{p.сум}$ ,<br>кВА |
|------------------------------|----------------|-----------------|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| Сталевий цех                 | 1700           | 1275            | 131,1               | 43,3                 | 1831,1             | 1318,3                | 2256,3               |
| Чавунно-ливарний цех         | 1520           | 1140            | 166,8               | 55,1                 | 1686,8             | 1195,1                | 2067,3               |
| Цех точного лиття            | 960            | 720             | 192,4               | 63,5                 | 1152,4             | 783,5                 | 1393,5               |
| Ковальсько-штампувальний цех | 5400           | 2538            | 301,2               | 99,4                 | 5701,2             | 2637,4                | 6281,7               |
| Головний корпус              | 6048           | 2842,56         | 70,6                | 23,3                 | 6118,6             | 2865,9                | 6756,5               |
| Заготівельний корпус         | 464            | 612,4           | 6,5                 | 2,1                  | 470,5              | 614,5                 | 773,9                |
| Цех втулок                   | 1330           | 625,1           | 33,9                | 11,2                 | 1363,9             | 636,3                 | 1505,0               |
| Цех пальців                  | 1820           | 1583,4          | 20,6                | 6,8                  | 1840,6             | 1590,2                | 2432,4               |
| Інструментальний цех         | 1560           | 1170            | 122,4               | 40,4                 | 1682,4             | 1210,4                | 2072,6               |
| Ремонтно-механічний цех      | 320            | 320             | 22,7                | 7,5                  | 342,7              | 327,5                 | 474,0                |
| Компресорна                  | 392            | 294             | 45,1                | 14,9                 | 437,1              | 308,9                 | 535,2                |
| Компресорна (6 кВ)           | 3780           | 0               |                     |                      | 3780               | 0                     | 3780                 |
| Киснева станція              | 232            | 194,88          | 52,9                | 17,4                 | 284,9              | 212,3                 | 355,3                |
| Заводоуправління             | 90             | 42,3            | 52,4                | 17,3                 | 142,4              | 59,6                  | 154,4                |
| Їдальня                      | 72             | 69,12           | 41,7                | 13,8                 | 113,7              | 82,9                  | 140,7                |
| Насосна                      | 192            | 161,28          | 16,7                | 5,5                  | 208,7              | 166,8                 | 267,2                |
| Гараж                        | 25,2           | 28,98           | 66,7                | 22,0                 | 91,9               | 51,0                  | 105,1                |
| Територія заводу             | -              | -               | 46,8                | 15,4                 | 46,8               | 15,4                  | 49,3                 |
| Всього                       | 25905,2        | 13617,1         | 1390,5              | 458,9                | 27295,7            | 14075,9               | 30711,3              |

Для прикладу, приведемо розрахунок для сталеварного цеху

$$R = \sqrt{\frac{1831,1}{0,1 \cdot 3,14}} = 58;$$

$$\alpha_0 = 39,1 \cdot 360 / 1054,1 = 13 \text{ градусів.}$$

Для інших цехів та об'єктів заводу, розрахунок проводимо аналогічно і результати заносимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок картограми навантажень заводу

| Назва цеху та об'єкту                 | $P_{p.o},$<br>кВт | $P_{p.сум},$<br>кВт | $R,$<br>мм | $\alpha_0,$<br>град. |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------|------------|----------------------|
| 1. Сталевий цех                       | 131,1             | 1831,1              | 38,2       | 26                   |
| 2. Чавунно-ливарний цех               | 166,8             | 1686,8              | 36,6       | 35                   |
| 3. Цех точного лиття                  | 192,4             | 1152,4              | 30,3       | 60                   |
| 4. Ковальсько-штампувальний цех       | 301,2             | 5701,2              | 67,4       | 19                   |
| 5. Головний корпус                    | 70,6              | 6118,6              | 69,8       | 4                    |
| 6. Заготівельний корпус               | 6,5               | 470,5               | 19,4       | 5                    |
| 7. Цех втулок                         | 33,9              | 1363,9              | 33,0       | 9                    |
| 8. Цех пальців                        | 20,6              | 1840,6              | 38,3       | 4                    |
| 9. Інструментальний цех               | 122,4             | 1682,4              | 36,6       | 26                   |
| 10. Ремонтно-механічний цех           | 22,7              | 342,7               | 16,5       | 23                   |
| 11. Компресорна<br>Компресорна (6 кВ) | 45,1              | 437,1<br>3780       | 18,7       | 37                   |
| 12. Киснева станція                   | 52,9              | 284,9               | 15,1       | 66                   |
| 13. Заводоуправління                  | 52,4              | 142,4               | 10,6       | 132                  |
| 14. Їдальня                           | 41,7              | 113,7               | 9,5        | 132                  |
| 15. Насосна                           | 16,7              | 208,7               | 12,9       | 29                   |
| 16. Гараж                             | 66,7              | 91,9                | 8,6        | 261                  |



### 2.3 Визначення розрахункового навантаження із мережі зовнішнього електропостачання. Оцінка потужності компенсуючих пристроїв

Для вибору параметрів ліній живлення головної понижуючої підстанції (ГПП) та потужності силових трансформаторів необхідно враховувати втрати потужності в лініях і трансформаторах, а також компенсацію реактивної потужності на понижувальних підстанціях підприємства.

Втрати потужності визначаються за формулами:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{p.сум}, \quad (2.14)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{p.сум}, \quad (2.15)$$

$$\Delta P_L = 0,03 \cdot S_{p.сум}, \quad (2.16)$$

де  $\Delta P_T$ ,  $\Delta Q_T$ ,  $\Delta P_L$  – втрати потужності в трансформаторах та лінії електропередачі;

$S_{p.сум}$  – повна розрахункова сумарна потужність заводу.

Розрахункові активна та реактивна потужності з врахуванням втрат на стороні високої напруги трансформаторів ГПП:

$$P_{p.вн} = (P_{p.сум} + \Delta P_T + \Delta P_L) \cdot K_{p.м}, \quad (2.17)$$

$$Q_{p.вн} = (Q_{p.сум} + \Delta Q_T) \cdot K_{p.м}, \quad (2.18)$$

де  $K_{p.м}$  – коефіцієнт різночасності максимумів навантаження цехів підприємства, приймається  $K_{p.м} = 0,82 - 0,1$ .

Повна розрахункова потужність визначається за формулою:

$$S_{p.вн} = \sqrt{P_{p.вн}^2 + Q_{p.вн}^2} \quad (2.19)$$

Енергосистема обмежує передачу споживачам реактивної енергії враховуючи необхідність її генерації (компенсації) споживачам. Повна розрахункова потужність враховуючи компенсацію реактивної потужності визначається за формулою:

$$S''_{p.вн} = \sqrt{P_{p.вн}^2 + Q_c^2} \quad (2.20)$$

де  $Q_c$  - реактивна потужність, яку енергосистема може видати споживачу в режимі максимального навантаження, приймається  $Q_c = (0,3 - 0,4) \cdot P_{p.vh}$ .

За формулами (2.14 – 2.20) визначаємо розрахункові потужності:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 30711,3 = 614,2 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\Pi} = 0,03 \cdot 30711,3 = 921,3 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 30711,3 = 3071,1 \text{ кВАр};$$

$$P_{p.vh} = (27295,7 + 614,2 + 921,3) \cdot 0,95 = 27389,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.vh} = (14075,9 + 3071,1) \cdot 0,95 = 16289,6 \text{ кВАр};$$

$$S_{p.vh} = \sqrt{27389,6^2 + 16289,6^2} = 31867,6 \text{ кВА};$$

$$Q_c = 0,35 \cdot 27389,6 = 9586,4 \text{ кВАр};$$

$$S''_{p.vh} = \sqrt{27389,6^2 + 9586,4^2} = 29018,8 \text{ кВА}.$$

## 2.4 Вибір напруги, марки проводів та січень ліній живлення

Передачу електроенергії від енергосистеми до приймального пункту підприємства здійснюється повітряними або кабельними лініями електропередачі, що визначається номінальною наругою, відстанню та величиною потужності, що передається.

Рациональна наруга лінії електропередачі визначається за формулою:

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{L + \frac{0,016 \cdot P_{p.vh}}{N}} \quad (2.21)$$

де  $L$  – відстань до енергосистеми, км;

$N$  – кількість ліній електропередачі.

Згідно вихідних даних відстань до енергосистеми становить,

$$L = 13,5 \text{ км}.$$

Оскільки на заводі є споживачі, які відносяться до 1-ої та 2-ої категорії по надійності електропостачання, то для живлення приймального пункту приймаємо дві лінії електропередачі,  $N = 2$ .

$$U = 4.34 \cdot \sqrt{8.9 + \frac{0.016 \cdot 27389.6}{2}} = 65 \text{ кВ.}$$

По шкалі номінальних напруг приймаємо номінальну напругу лінії електропередач:

$$U_n = 110 \text{ кВ.}$$

Визначаємо розрахунковий струм лінії електропередачі напругою 35 кВ:

$$I_p = \frac{S_{p.вн}''}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} \quad (2.22)$$

$$I_p = \frac{29018,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 76 \text{ А.}$$

Для електропостачання заводу, враховуючи відстань до енергосистеми, номінальну напругу та потужність передачі, приймаємо повітряну лінію виконану на залізобетонних опорах з одночасною підвіскою двох ліній. Переріз вибираємо по технічним та економічним умовам.

До таких умов відноситься вибір перерізу проводів по нагріву розрахунковим струмом, економічного перерізу, умовам користування, механічною міцністю та допустимою втратою напруги, тобто:

$$I_p \leq I_{\text{доп}}, \quad (2.23)$$

де  $I_{\text{доп}}$  – тривало допустима величина струму, яка залежить від перерізу проводів, А

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_p}{j_{\text{ек}}}, \quad (2.24)$$

де  $j_{\text{ек}}$  – економічна густина струму, А/мм<sup>2</sup> (для алюмінієвих проводів,  $j_{\text{ек}} = 1,1$  А/мм<sup>2</sup>)

$$S_{\text{ек}} = \frac{76}{1.1} = 69 \text{ мм}^2.$$

Враховуючи умову вибору, приймаємо сталюалюмінієвий провід марки АС-70 перерізом 70 мм<sup>2</sup>.

Для проводу АС-70:

$$I_{\text{доп}} = 265 \text{ А,}$$

$$r_0 = 0,41 \text{ Ом/км,}$$

$$x_0 = 0,44 \text{ Ом/км.}$$

Перевіряємо вибраний переріз проводів по допустимій втраті напруги:

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}} \quad (2.25)$$

де  $\Delta U_{\text{доп}} = 5\%$  - допустима втрата напруги проводів повітряних ліній;

$\Delta U$  – фактична величина втрати напруги.

Дане значення у лініях визначається за формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi_0 + x_0 \cdot \sin \varphi_0) \cdot \frac{100}{U_n}, \quad (2.26)$$

де  $r_0, x_0$  – активний та індуктивний питомий опір проводів, Ом/км;

$\cos \varphi_0, \sin \varphi_0$  – нормативні дані коефіцієнта потужності (відповідає

$\cos \varphi_0 = 0,95, \sin \varphi_0 = 0,35$ );

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} \cdot 76 \cdot 8,9 \cdot (0,41 \cdot 0,95 + 0,44 \cdot 0,35) \cdot \frac{100}{110000} = 1171,6 \cdot (0,39 + 0,154) \cdot 0,00091 = \\ &= 0,6 \%; \end{aligned}$$

$$\Delta U = 0,6\% < \Delta U_{\text{доп}} = 5\%.$$

Таким чином вибрана марка проводів АС-70 для повітряної лінії 110 кВ задовольняє всі мови вибору по надійності електропостачання.

## 2.5 Вибір потужності та кількості трансформаторів ГПП

Головна понижуюча підстанція (ГПП) заводу являється основним приймально-розподільчим пунктом електроенергії, яка передається повітряними лініями 35 кВ від підстанції енергосистеми.

Силкові трансформатори, які встановлюються на ГПП повинні забезпечувати надійне електропостачання заводу в нормальному режимі і в період максимальних навантажень та післяаварійному режимі при відключенні одного з трансформаторів [11].

Максимально допустиме навантаження трансформатора, який залишився в роботі не повинно перевищувати 140% від номінального. Тобто повинна задовольнятися умова вибору:

$$1,4S_{н.т} \geq S''_{р.вн}, \quad (2.27)$$

де  $S_{н.т}$  – номінальна повна потужність силового трансформатора, кВА;

$S''_{р.вн}$  – максимальна розрахункова потужність електропостачання із зовнішньої мережі, яка надходить від енергосистеми, кВА;

Величина споживачів 1-ої та 2-ої категорії становить 55% від максимального навантаження підприємства.

Номінальна потужність силових трансформаторів визначається за формулою:

$$S_{н.т} = \frac{S_{макс}}{N * K_{д.п}}, \quad (2.28)$$

де  $K_{д.п}$  – коефіцієнт допустимого перевантаження трансформаторів;

$$K_{д.п} = f(K_{з.г}, T_{макс}), \quad (2.29)$$

де  $K_{з.г}$  – коефіцієнт заповнення добового або річного графіку навантаження підприємства;

$T_{макс}$  – тривалість добового максимального навантаження.

Для подальших розрахунків використовуємо типовий графік річного навантаження, який показано на рисунку 2.1.

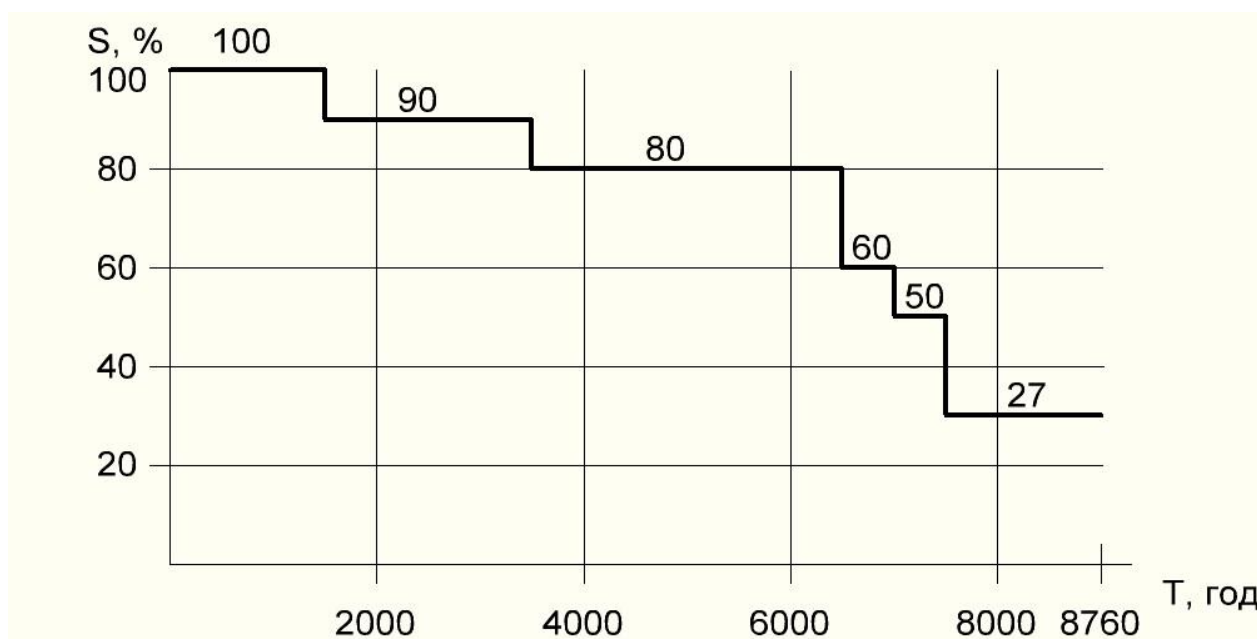


Рис. 2.1 - Річний графік навантаження підприємства металооброблювальної промисловості

Визначаємо коефіцієнт заповнення графіка:

$$K_{з.г} = \frac{S_1 \cdot t_1 + S_2 \cdot t_2 + \dots + S_n \cdot t_n}{S_{\max} \cdot T_p}, \quad (2.30)$$

де  $S_1 \dots S_n$  – величина навантаження ступені графіка;

$t_1 \dots t_n$  – кількість годин навантаження ступені графіка;

$S_{\max}$  – максимальна величина навантаження з врахуванням компенсації реактивної потужності;

$T_p$  – річна кількість годин підприємства.

$$K_{з.г} = \frac{38697,6 \cdot 1500 + 34827,8 \cdot 2000 + 30958 \cdot 3000 + 23218,5 \cdot 500 + 19348,8 \cdot 500 + 10448,3 \cdot 1260}{38697,6 \cdot 8760} = 0,73;$$

$$T_{\max} = \frac{T_{\max.p}}{365}, \quad (2.31)$$

де  $T_{\max.p}$  – тривалість річного максимального навантаження, год.

$$T_{\max} = \frac{1500}{365} = 4 \text{ год} \quad (2.32)$$

При  $K_{з.г} = 0,73$  та  $T_{\max} = 4$  год по картограмі знаходимо  $K_{д.п} = 1,16$  [3].

За формулою (2.27) знаходимо орієнтовну номінальну потужність силових трансформаторів.

$$S_{н.т} = \frac{31867,6}{2 \cdot 1,16} = 13736 \text{ кВА}$$

Для подальших розрахунків вибираємо два варіанти встановлення силових трансформаторів:

1-ий варіант – 2 трансформатори потужністю по 16000 кВА;

2-ий варіант – 2 трансформатори потужністю по 25000 кВА.

Перевіряємо роботу трансформаторів у нормальному та післяаварійному режимах, враховуючи допустимі коефіцієнти перевантаження:

$$S_{д.п} = S'_{д.п} + S''_{д.п}, \quad (2.33)$$

де  $S'_{д.п}$  – допустиме перевантаження трансформатора враховуючи допустимий коефіцієнт перевантаження,  $K_{д.п} = 1,12$ ;

$$S'_{д.п} = (K_{д.п} - 1) \cdot S_{н.т}, \quad (2.34)$$

де  $S_{н.т}$  – номінальна потужність трансформатора;

$S''_{д.п}$  – допустиме перевантаження трансформатора за рахунок нерівномірності річного графіка роботи підприємства. Тобто недовантаження трансформаторів в літній період допускає додаткове перевантаження їх на 15%.

$$S''_{д.п} = 0,15 \cdot S_{н.т}, \quad (2.35)$$

Умова вибору:

$$(S_{н.т} + S_{д.п}) \cdot N \geq S_{\text{макс}} \quad (2.36)$$

В післяаварійному режимі залишається в роботі один трансформатор, який повинен забезпечити електропостачання електроспоживачів I і II категорії з відключенням споживачів 3-ої категорії.

$$1,4 \cdot S_{н.т} \geq S_{1,2К}, \quad (2.37)$$

$$S_{1,2К} = 0,55 \cdot S_{\text{макс}}, \quad (2.38)$$

$$S_{1,2К} = 0,55 \cdot 47478,4 = 26113,1 \text{ кВА}$$

Розрахунки для обох варіантів виконаємо в табличній формі, таблиця 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок режимів роботи трансформаторів по варіантам

| Розрахункові величини   | 1-ий варіант<br>2 по 16000<br>кВА | 2-ий варіант<br>2 по 25000<br>кВА |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| $K_{д.п}$   | 1,16                              | 1,16                              |
| $S'_{д.п} = (K_{д.п} - 1) \cdot S_{н.т}$                                | 1920                              | 3000                              |
| $S''_{д.п} = 0,15 \cdot S_{н.т}$  | 2400                              | 3750                              |
| $S_{д.п} = S'_{д.п} + S''_{д.п}$  | 4320                              | 7750                              |
| $(S_{н.т} + S_{д.п}) \cdot N \geq S_{макс}$<br>$S_{макс} = 31867,6$ кВА | 40640                             | 65500                             |
| $1,4 \cdot S_{н.т} \geq S_{1,2К}$<br>$S_{1,2К} = 17527,2$ кВА           | 22400                             | 35000                             |
|   | Задовольняє                       | Задовольняє                       |

Як видно із таблиці 2.7 обидва варіанти задовольняють умови електропостачання як в нормальному так і в післяаварійному режимах, тому для остаточного вибору виконуємо техніко-економічний розрахунок порівняння обох цих варіантів трансформаторів.

Техніко-економічне порівняння варіантів обґрунтовує порівняння витрат на будівництво та експлуатацію, яке виражається в терміні окупності цих витрат:

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{3_2 - 3_1}, \quad (2.39)$$

де  $K_1, K_2$  – затрати на будівництво, відповідно по варіантах;

$3_1, 3_2$  – загальні приведені затрати, по варіантах.

$$3_1 = C_1 + 0,15 \cdot K_1, \quad (2.40)$$

$$3_2 = C_2 + 0,15 \cdot K_2, \quad (2.41)$$

де  $C_1, C_2$  – експлуатаційні витрати по варіантах;

$$C = C_a + C_e, \quad (2.42)$$



де  $C_a$  – витрати на амортизаційні відрахування;

$C_e$  – витрати на річну втрату електроенергії в трансформаторах при їхній роботі.

Визначаємо витрати на амортизаційні відрахування за формулами:

$$C_{a1} = \varphi_a \cdot \frac{K1}{100}, \quad (2.43)$$

$$C_{a2} = \varphi_a \cdot \frac{K2}{100}, \quad (2.44)$$

де  $\varphi_a$  – коефіцієнт амортизаційних відрахувань,  $\varphi_a = 6,3\%$ .

Визначаємо витрати на річну втрату електроенергії за формулою:

$$C_e = C_o \cdot N \left[ (\Delta P_{xx} + K_e \frac{I_{xx} \cdot S_{н.т}}{100}) \cdot T_p + K_{зм}^2 \cdot (\Delta P_{кз} + K_e \frac{\Delta U_{кз} \cdot S_{н.т}}{100}) \tau \right], \quad (2.45)$$

де  $C_o$  – вартість електроенергії, ( $C_o = 4,32$  грн/кВт·год);

$\Delta P_{xx}$ ,  $\Delta P_{кз}$  – втрата електроенергії при холостому ході та короткому замиканні (визначається із паспортних даних трансформатора);

$T_p$  – кількість годин у році;

$\tau$  – тривалість максимальних навантажень ( $\tau = 1500$  год);

$N$  – кількість трансформаторів;

$K_{зм}$  – коефіцієнт максимального завантаження трансформаторів;

$K_e$  – експлуатаційний коефіцієнт втрат, ( $K_e = 0,005$ );

Розрахунки економічного порівняння варіантів виконуємо в табличній формі, результати заносимо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Економічне порівняння варіантів трансформаторів

| Розрахункові величини  | 1-ий варіант<br>2 по 16000<br>кВА | 2-ий варіант<br>2 по<br>25000<br>кВА |
|--|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Коефіцієнт максимального навантаження<br>$K_{зм} = \frac{S_{макс}}{S_{н.т} \cdot N}$ , $S_{макс} = 31867,6$ кВА  | 0,99                              | 0,64                                 |
| $\Delta P_{xx}$ – втрати холостого ходу, кВт   | 16                                | 25                                   |
| $\Delta P_{кз}$ – втрати короткого замикання, кВт  | 85                                | 120                                  |
| $I_{xx}$ – струм холостого ходу, %   | 0,7                               | 0,65                                 |
| $\Delta U_{кз}$ – напруга короткого замикання, %   | 10,5                              | 10,5                                 |
| $K_o$ – вартість трансформатора, (тис. грн.)   | 500                               | 800                                  |
| Капітальні витрати<br>$K = K_o \cdot N$ , (тис. грн.)  | 1000                              | 1600                                 |
| Витрати на амортизаційні відрахування<br>$C_a = \varphi_a \cdot \frac{K}{100}$ , (тис. грн.)<br>$C_{a1} = 6,3 \cdot \frac{1000}{100} = 63$ (тис. грн.)<br>$C_{a2} = 6,3 \cdot \frac{1600}{100} = 100,8$ (тис. грн.)  | 63                                | 100,8                                |
| Вартість втрат електроенергії<br>$C_{e1} = 75 \cdot 2 \left[ \left( 16 + 0,005 \frac{0,75 \cdot 16000}{100} \right) \cdot 8760 + 0,99^2 \left( 85 + 0,005 \frac{10,5 \cdot 16000}{100} \right) \right] \cdot 1500 = 692,8$ (тис. грн.)<br>$C_e = 75 \cdot 2 \left[ \left( 25 + 0,005 \frac{0,65 \cdot 25000}{100} \right) \cdot 8760 + 0,64 \cdot \left( 46,5 + 0,005 \frac{10,5 \cdot 25000}{100} \right) \right] \cdot 1500 = 793,3$ (тис. грн.) | 692,8                             | 793,3                                |

## Продовження таблиці 2.8

|   |       |        |
|---|-------|--------|
| Сумарні витрати<br>$C = C_a + C_e$ , (тис. грн.)<br>$C_1 = 63 + 692,8 = 755,8$ (тис. грн.)<br>$C_2 = 100,8 + 793,3 = 894,1$ (тис. грн.)   | 755,8 | 894,1  |
| Загальні приведені витрати<br>$Z_1 = C_1 + 0,15 \cdot K_1$ , (тис. грн.)<br>$Z_2 = C_2 + 0,15 \cdot K_2$ , (тис. грн.)<br>$Z_1 = 755,8 + 0,15 \cdot 1600 = 995,8$ (тис. грн.)<br>$Z_2 = 894,1 + 0,15 \cdot 2000 = 1194,1$ (тис. грн.) | 995,8 | 1194,1 |

Визначаємо строк відшкодування витрат при будівництві та експлуатації силових трансформаторів обох варіантів за формулою (2.39).

$$T_{ок} = \frac{2000 - 1600}{1194,1 - 995,8} = 2 \text{ роки}$$

Оскільки  $T_{ок} = 2$  роки  $< T_{норм} = 8$  років, то остаточно приймаємо другий варіант, так як він швидко себе відшкодує в період експлуатації, і забезпечує перспективу розвитку підприємства в майбутньому.

Тобто економічно вигідним являється 2-ий варіант з установкою на ГПП: два силових трансформатора потужністю по 25000 кВА.

Згідно [5] паспортні дані силових трансформаторів подано в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Паспортні дані силових трансформаторів для ГПП.

| Тип                    | $U_n$ ,<br>кВ |      | Втрати<br>кВт   |                 | $I_{xx}$ | $\Delta U_k$<br>з | $S_n$     | Вартість<br>,<br>тис. грн. |
|------------------------|---------------|------|-----------------|-----------------|----------|-------------------|-----------|----------------------------|
|                        | ВН            | НН   | $\Delta P_{xx}$ | $\Delta P_{кз}$ |          |                   |           |                            |
| ТДН –<br>25000/1<br>10 | 110           | 10,5 | 25              | 120             | 0,65     | 10,5              | 2500<br>0 | 1000                       |

## 2.6 Вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП

Цехові трансформаторні підстанції вибираємо по кількості трансформаторів залежно з вимогами надійності електропостачання споживачів [6, 12].

Потужність силових трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій обумовлюється значенням максимальної потужності цехів, групоб'єктів чи окремих об'єктів [7, 8, 9].

Також потужність силових трансформаторів обумовлюється їх коефіцієнтом завантаження, що залежатиме від категорії по надійності електропостачання [8].

Результати вибору ЦТП, числа та потужності трансформаторів зведено в таблицю 2.10.

Таблиця 2.10 – Вибір цехових трансформаторних підстанцій

| Номер ЦТП | Назва цеха на генеральному плані | $S_p$ , кВА | $S_{н.т.}$ , кВА | N, шт. | $K_3$ | Тип ЦТП       |
|-----------|----------------------------------|-------------|------------------|--------|-------|---------------|
| 1.        | Сталеварний цех                  | 2256,3      | -                | -      | -     | -             |
|           | Всього по ЦТП-1                  | 2256,3      | 1600             | 2      | 0,7   | КТП<br>2x1600 |
| 2.        | Чавунно-ливарний цех             | 2067,3      | -                | -      | -     | -             |
|           | Всього по ЦТП-2                  | 2067,3      | 1600             | 2      | 0,64  | КТП<br>2x1600 |
| 3.        | Інструментальний цех             | 2072        | -                | -      | -     | -             |
|           | Всього по ЦТП-3                  | 2072        | 1600             | 2      | 0,65  | КТП<br>2x1600 |
| 4.        | Ковальсько-штампувальний цех     | 6281,7      | -                | -      | -     | -             |
|           | Всього по ЦТП-4                  | 6281,7      | 2500             | 4      | 0,63  | КТП<br>4x2500 |

Продовження таблиці 2.10

|     |                         |        |      |   |      |               |
|-----|-------------------------|--------|------|---|------|---------------|
| 5.  | Компресорна (6 кВ)      | 3780   | -    | - | -    | -             |
|     | Всього по ЦТП-5         | 3780   | 2500 | 2 | 0,75 | КТП<br>2x2500 |
| 6.  | Киснева станція         | 355,3  |      |   |      |               |
|     | Заводоуправління        | 154,4  | -    | - | -    | -             |
|     | Їдальня                 | 140,7  |      |   |      |               |
|     | Всього по ЦТП-6         | 650,4  | 400  | 2 | 0,8  | КТП<br>2x400  |
| 7.  | Ремонтно-механічний цех | 474    |      |   |      |               |
|     | Компресорна             | 535,2  |      |   |      |               |
|     | Насосна                 | 267,2  | -    | - | -    | -             |
|     | Гараж                   | 105,1  |      |   |      |               |
|     | Всього по ЦТП-7         | 1381,5 | 1000 | 2 | 0,69 | КТП<br>2x1000 |
| 8.  | Заготівельний цех       | 773,9  |      |   |      |               |
|     | Цех втулок              | 1505   | -    | - | -    | -             |
|     | Всього по ЦТП-8         | 2278,9 | 1600 | 2 | 0,7  | КТП<br>2x1600 |
| 9.  | Головний корпус         | 6756,5 | -    | - | -    | -             |
|     | Всього по ЦТП-9         | 6756,5 | 2500 | 4 | 0,68 | КТП<br>4x2500 |
| 10  | Цех точного лиття       | 1393,5 | -    | - | -    | -             |
|     | Всього по ЦТП-10        | 1393,5 | 1000 | 2 | 0,7  | КТП<br>2x1000 |
| 11. | Цех пальців             | 2432,4 | -    | - | -    | -             |
|     | Всього по ЦТП-11        | 2432   | 1600 | 2 | 0,75 | КТП<br>2x1600 |

## 2.7 Визначення потужності компенсуючи пристроїв і їх розташування

Сумарну потужність компенсуючи пристроїв визначаємо по балансу реактивної потужності на межі електричного розподілу підприємства та енергосистеми [3].

Загальна потужність компенсуючи пристроїв визначається за формулою:

$$Q_{\text{кy}} = Q_{\text{м}} - Q_{\text{с}}, \quad (2.46)$$

де  $Q_{\text{кy}}$  – загальна потужність компенсуючи пристроїв, кВАр;

$Q_{\text{м}}$  – максимальна розрахункова реактивна потужність заводу, кВАр;

$Q_{\text{с}}$  – гранична реактивна потужність, яка видається енергосистемою підприємству згідно умов режиму роботи, кВАр.

$$Q_{\text{м}} = P_{\text{м}} \cdot \text{tg } \varphi_{\text{м}}, \quad (2.47)$$

$$Q_{\text{кy}} = P_{\text{м}} \cdot (\text{tg } \varphi_{\text{м}} - \text{tg } \varphi_{\text{е}}), \quad (2.48)$$

На межі розподілу, тобто на ГПП, потужності становлять:

$$P_{\text{м}} = P_{\text{р.вн}} = 27389,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{м}} = Q_{\text{р.вн}} = 16289,6 \text{ кВАр}.$$

В режимі максимуму навантаження фактичний коефіцієнт потужності:

$$\text{tg } \varphi_{\text{м}} = \frac{Q_{\text{м}}}{P_{\text{м}}}, \quad (2.49)$$

$$\text{tg } \varphi_{\text{м}} = \frac{27389,6}{16289,6} = 1,68$$

Коефіцієнт потужності оптимальний:

$$\cos \varphi_{\text{е}} = 0,95;$$

$$\text{tg } \varphi_{\text{е}} = 0,33.$$

За формулою (2.47):

$$Q_{\text{кy}} = 27389,6 \cdot (1,68 - 0,33) = 36975,5 \text{ кВАр}.$$

Максимальна величина реактивної потужності:

$$Q_{\text{макс}} = \sqrt{(N * K_3 * S_{\text{н.т}})^2 - P_{\text{р. сум}}^2}, \quad (2.50)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт завантаження.

Потужність конденсаторних установок, яка економічно вигідна:

$$Q_{e.нн} = Q_{p.сум} - \frac{M}{гек.т*(1+\lambda)}, \quad (2.51)$$

$$M = U^2 * \left( \frac{112,5 * K}{C * T_{вкл}} + 0,5 \right), \quad (2.52)$$

Потужність КУ:

$$Q_{ку.вн} = Q_{p.сум} - Q_{ку.нн}, \quad (2.53)$$

Результати розрахунків по вибору типу та потужності конденсаторних установок на стороні НН заносимо в таблицю 2.11

Таблиця 2.11 – Розрахунок компенсуючи пристроїв

| Номер ЦТП | $S_{н.т.}$ , кВА | $N$ , шт. | $K_3$ | $P_{p.сум.}$ , кВт | $Q_{p.сум.}$ , кВАр | $Q_{макс.}$ , кВАр | $M$  | $Q_{e.нн.}$ , кВАр | $Q_{ку.нн.}$ , кВАр | $Q_{ку.вн.}$ , кВАр |
|-----------|------------------|-----------|-------|--------------------|---------------------|--------------------|------|--------------------|---------------------|---------------------|
| ЦТП-1     | 1600             | 2         | 0,7   | 1831,1             | 1318,3              | 1290               | 1,58 | 1262               | 1200<br>2 по<br>600 | 62                  |
| ЦТП-2     | 1600             | 2         | 0,64  | 1686,8             | 1195,1              | 1162               | 1,58 | 1118               | 900<br>2 по<br>450  | 218                 |
| ЦТП-3     | 1600             | 2         | 0,65  | 1682,4             | 1210,4              | 1123               | 1,58 | 1080               | 900<br>2 по<br>450  | 180                 |
| ЦТП-4     | 2500             | 4         | 0,65  | 5701,2             | 2637,4              | 3122               | 1,58 | 3091               | 3000<br>5 по<br>600 | 91                  |
| ЦТП-5     | 2500             | 2         | 0,75  | 3780               | 0                   | 0                  | 1,58 | 0                  | -                   | -                   |
| ЦТП-6     | 400              | 2         | 0,8   | 541                | 354,8               | 342                | 1,58 | 320                | 300<br>2 по<br>150  | 20                  |

Продовження таблиці 2.11

|        |      |   |      |        |        |      |      |      |                     |     |
|--------|------|---|------|--------|--------|------|------|------|---------------------|-----|
| ЦТП-7  | 1000 | 2 | 0,69 | 1080,4 | 854,2  | 858  | 1,58 | 809  | 800<br>4 по<br>200  | 9   |
| ЦТП-8  | 1600 | 2 | 0,7  | 1834,8 | 1250   | 1285 | 1,58 | 1257 | 1200<br>2 по<br>600 | 57  |
| ЦТП-9  | 2500 | 4 | 0,68 | 6118,6 | 2865,9 | 2967 | 1,58 | 2944 | 2700<br>6 по<br>450 | 244 |
| ЦТП-10 | 1000 | 2 | 0,7  | 1152,4 | 783,5  | 795  | 1,58 | 768  | 750<br>5 по<br>150  | 18  |
| ЦТП-11 | 1600 | 2 | 0,76 | 1840,6 | 1590,2 | 1589 | 1,58 | 1548 | 1500<br>5 по<br>300 | 48  |
| ГПП    |      |   |      |        |        |      |      |      | 947                 |     |

Згідно розрахунків таблиці 2.11 вибираємо типові конденсаторні установки з регулюванням потужності по величині струму та напруги типу УКТ – 0,38 та УКН – 0,38. Конденсаторні установки під'єднуються до секцій шин 0,4 кВ ЦТП.

Конденсаторні установки напругою 10 кВ встановлюються на ГПП і під'єднуються через вимикачі до секцій шин 10 кВ.

Кількість та тип конденсаторних установок показано в таблиці 2.12.



Таблиця 2.12 – Вибір типу конденсаторних установок.

| Номер ЦТП | Тип конденсаторної установки | U <sub>н</sub> , кВ | Q <sub>н</sub> , кВАр | N, шт. | Q <sub>сум</sub> , кВАр |
|-----------|------------------------------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------|
| ЦТП-1     | УКЛ (П) Н – 0,38 – 600 – 150 | 0,4                 | 600                   | 2      | 1200                    |
| ЦТП-2     | УКЛ (П) Н – 0,38 – 450 – 150 | 0,4                 | 450                   | 2      | 1200                    |
| ЦТП-3     | УКЛ (П) Н – 0,38 – 450 – 150 | 0,4                 | 450                   | 2      | 1000                    |
| ЦТП-4     | УКЛ (П) Н – 0,38 – 600 – 150 | 0,4                 | 600                   | 5      | 1620                    |
| ЦТП-5     | -                            | -                   | -                     | -      | -                       |
| ЦТП-6     | УКЛ (П) Н – 0,38 – 600 – 150 | 0,4                 | 600                   | 2      | 600                     |
| ЦТП-7     | УКЛ (П) Н – 0,38 – 200 – 50  | 0,4                 | 200                   | 4      | 800                     |
| ЦТП-8     | УКЛ (П) Н – 0,38 – 600 – 150 | 0,4                 | 600                   | 2      | 1200                    |
| ЦТП-9     | УКЛ (П) Н – 0,38 – 450 – 150 | 0,4                 | 450                   | 6      | 900                     |
| ЦТП-10    | УКЛ (П) Н – 0,38 – 150 – 50  | 0,4                 | 150                   | 5      | 750                     |
| ЦТП-11    | УКЛ (П) Н – 0,38 – 300 – 150 | 0,4                 | 300                   | 5      | 1500                    |
| ГПП       | УК – 10,5 – 1125 ЛУЗ         | 10                  | 1125                  | 1      | 1125                    |

## 2.8 Вибір схеми внутрішнього електропостачання заводу, січень і марки проводів розподільчих мереж

### 2.8.1 Обґрунтування та загальні вимоги схеми внутрішнього електропостачання

Обґрунтування та загальні вимоги схеми внутрішнього електропостачання описано в Додатку Б.

## 2.8.2 Вибір марки та перерізу кабелів розподільчих внутрішніх електромереж

Розподільчі мережі заводу, які живлять цехові трансформаторні підстанції (ЦТП) виконується КЛ 10 кВ. План прокладки кабельних ліній показано на кресленні генерального плану заводу, по якому визначається і їх довжина.

Вибір здійснюємо по [10].

Переріз жил кабелів:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{р.макс}}}{j_{\text{ек}}}, \quad (2.54)$$

Максимальний розрахунковий струм лінії:

$$I_{\text{р.макс}} = \frac{Sp_{\text{.сумЦТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (2.55)$$

Умова термічної стійкості:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.макс}}, \quad (2.56)$$

Зробимо перевірку:

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{р}}, \quad (2.57)$$

Втрата напруги у лінії:

$$\Delta U_{\text{р}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{р.макс}} \cdot L (r_0 \cdot \cos \varphi_e + x_0 \cdot \sin \varphi_e) \frac{100}{U_{\text{н}}}, \quad (2.58)$$

$$\cos \varphi_e = 0,95, \quad \sin \varphi_e = 0,32.$$

Розрахунки по вибору кабелів живлення для кожної ЦТП зводимо в таблицю 2.13.

Таблиця 2.13 – Вибір марки та перерізу жил кабелів.

| Номер ЦТП | $S_{p.сумЦТП}$ , кВА | $I_{p.макс}$ , А | L, км | $S_{ек}$ , мм <sup>2</sup> | $S$ , мм <sup>2</sup> | $r_0$ | $x_0$ | $I_{доп}$ , А | $\Delta U$ , % | Марка кабелю |
|-----------|----------------------|------------------|-------|----------------------------|-----------------------|-------|-------|---------------|----------------|--------------|
| ЦТП-1     | 2256                 | 130              | 0,21  | 81,2                       | 95                    | 0,20  | 0,095 | 265           | 2,3            | СБл-10-3*95  |
| ЦТП-2     | 2067                 | 119              | 0,12  | 74,3                       | 95                    | 0,20  | 0,095 | 265           | 1,2            | СБл-10-3*95  |
| ЦТП-3     | 2072                 | 119              | 0,33  | 74,3                       | 95                    | 0,20  | 0,095 | 265           | 3,3            | СБл-10-3*95  |
| ЦТП-4     | 6281                 | 362              | 0,23  | 226                        | 240                   | 0,09  | 0,095 | 460           | 5,6            | СБл-10-3*240 |
| ЦТП-5     | 3780                 | 218              | 0,36  | 136                        | 150                   | 0,12  | 0,095 | 355           | 4,9            | СБл-10-3*150 |
| ЦТП-6     | 650                  | 37               | 0,31  | 23                         | 25                    | 0,55  | 0,095 | 120           | 4,8            | СБл-10-3*25  |
| ЦТП-7     | 1381                 | 79               | 0,39  | 49,3                       | 50                    | 0,38  | 0,095 | 180           | 3,5            | СБл-10-3*50  |
| ЦТП-8     | 2278                 | 131              | 0,2   | 81,8                       | 95                    | 0,20  | 0,095 | 265           | 2,2            | СБл-10-3*95  |
| ЦТП-9     | 6756                 | 385              | 0,15  | 240                        | 240                   | 0,09  | 0,095 | 460           | 3,9            | СБл-10-3*240 |
| ЦТП-10    | 1393                 | 80               | 0,16  | 50                         | 50                    | 0,38  | 0,095 | 180           | 4,1            | СБл-10-3*50  |
| ЦТП-11    | 2432                 | 140              | 0,26  | 87,5                       | 95                    | 0,20  | 0,095 | 265           | 3,1            | СБл-10-3*95  |

## 2.9 Висновки до Розділу 2

1. Проведено розрахунок навантажень технологічного обладнання заводу із виготовлення запчастин до сільськогосподарської техніки та встановлено, що повна потужність заводу становить 29266,1 кВА. Проведено розрахунок електричних навантажень мережі освітлення. На основі цих даних проведено розрахунок сумарних електричних навантажень заводу, які складають 30,711 МВА.

2. Проведено розрахунок та побудовано картограму навантажень заводу із виготовлення запчастин до сільськогосподарської техніки.

3. Визначено розрахункове навантаження із мережі зовнішнього електропостачання, яке становить 31867,6 кВА. Проведена оцінка потужності компенсуючих пристроїв.

4. Проведено вибір раціональної напруги, січень та марки проводів ліній живлення. Прийнято номінальну напругу лінії електропередач  $U_n = 110$  кВ.

5. Проведено вибір кількості і потужності силових трансформаторів ГПП Обґрунтовано встановлення на ГПП двотрансформаторної ПС потужністю 50 МВА із коефіцієнтом завантаження, рівним 0,64.

6. Проведено вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП. Обґрунтовано встановлення двотрансформаторних ПС різної потужності на ЦТП.

7. Проведено визначення потужності компенсуючи пристроїв і їх розташування. Вибрано типові конденсаторні установки з регулюванням потужності по величині струму та напруги типу УКТ – 0,38 та УКН – 0,38. Конденсаторні установки під'єднуються до секцій шин 0,4 кВ ЦТП. Конденсаторні установки напругою 10 кВ встановлюються на ГПП і під'єднуються через вимикачі до секцій шин 10 кВ.

8. Проведено вибір схеми внутрішнього електропостачання заводу, січень і марки проводів розподільчих мереж, а саме вибір марки та перерізу кабелів розподільчих внутрішніх електромереж. Це дає змогу підвищити надійність системи електропостачання.

### 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Розрахунок струмів короткого замикання

Оскільки в електричних мережах та установках зустрічаються різні види пошкоджень, що викликають коротке замикання, електроустаткування має вибиратись з врахуванням цих струмів короткого замикання.

Для цього виконується розрахунок величин струмів КЗ по намічених ділянках (точках) схеми електропостачання підприємства. Така схема називається розрахунковою і на ній вказано основні технічні параметри мережі та обладнання.

По розрахунковій схемі складається схема заміщення, в якій вказується опори джерел живлення елементів, мережі обладнання та споживачів і намічаються точки, в яких визначатимуться розрахункові величини струмів КЗ [13].

На рис. 3.1 показана розрахункова схема електропостачання з основними типами вибраних силових цехових трансформаторів і найкоротшими кабельними лініями, тобто ділянки електромережі з найбільшими величинами струмів КЗ.

На рис. 3.2 показана схема заміщення електропостачання заводу при відключених секційних вимикачах, намічено розрахункові точки КЗ і позначено опори елементів електромережі.

Розрахунки виконуємо у відносних базових величинах. При такому методі всі розрахункові дані приводимо до базисної напруги і базисної потужності. За базисну напругу приймається напруга номінальної шкали, а за базисну потужність можна вибрати потужність енергосистеми або сумарні потужності силових трансформаторів, або інше прийнятне число, кратне 10.

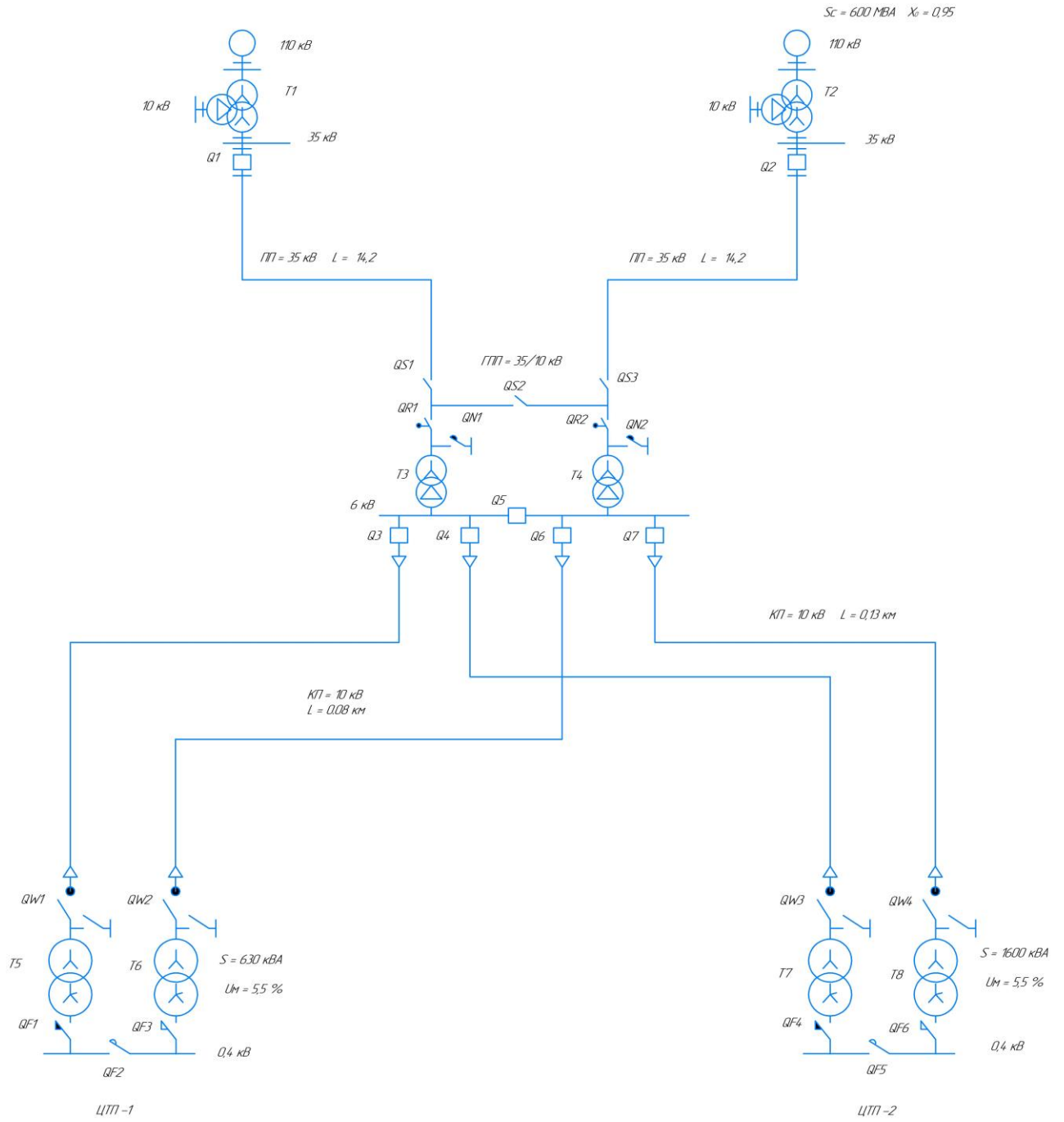


Рис 3.1 – Розрахункова схема для розрахунків КЗ

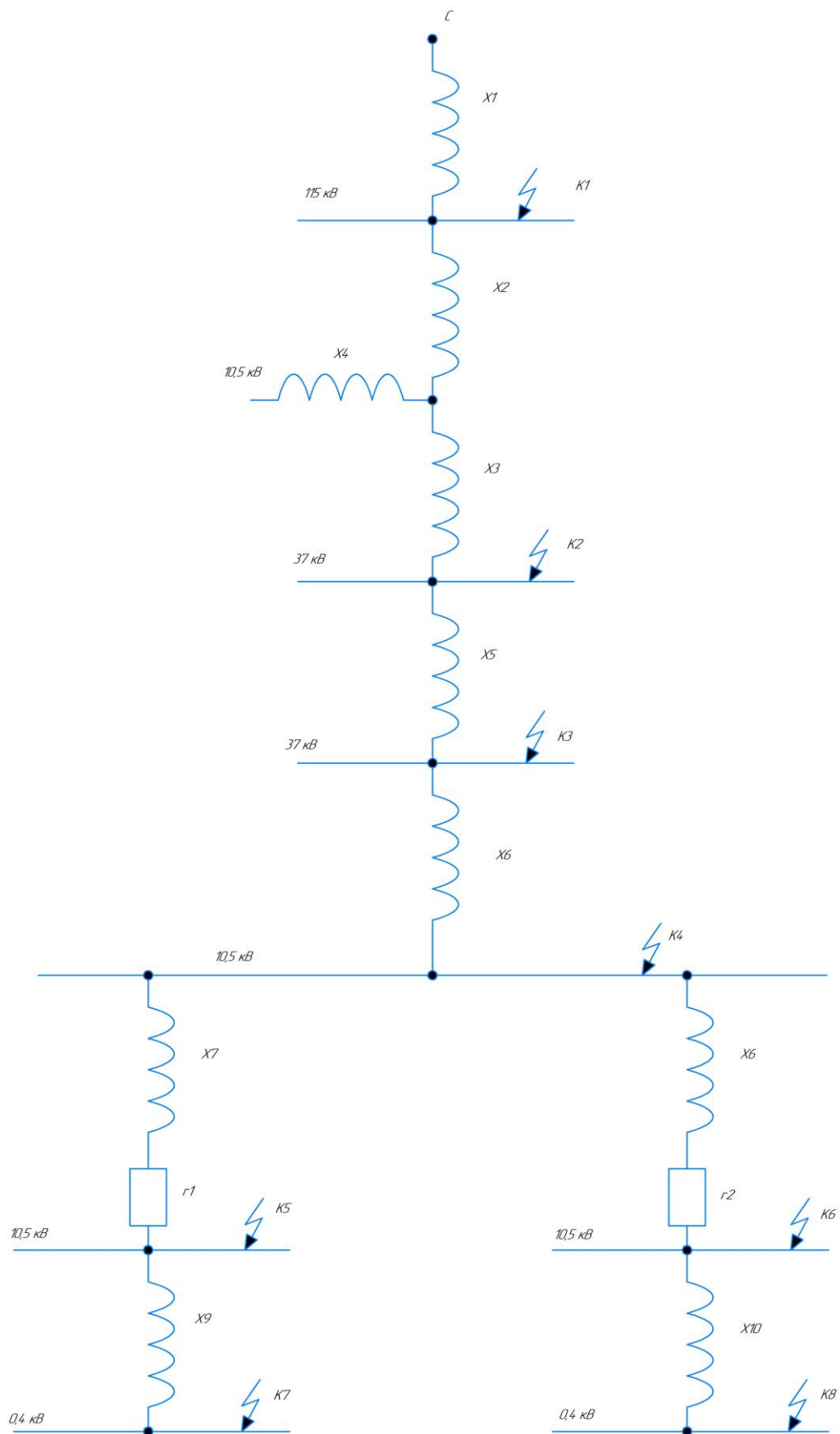


Рис 3.2 – Схема заміщення для розрахунку струмів К3

Приймаємо базисні величини:

$$S_6 = 1200 \text{ МВА};$$

$$U_6 = 110 \text{ кВ.}$$

Визначаємо базисний струм:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (3.1)$$

$$I_6 = \frac{1200}{\sqrt{3} \cdot 110} = 6,3 \text{ кА.}$$

Для схеми визначаємо опори елементів з приведеними до базисних величин. Опір системи:

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_6}{S_c}, \quad (3.2)$$

$$X_1 = 0,49 \cdot \frac{1200}{1200} = 0,49.$$

Опори обмоток трьохобмоткового трансформатора:

$$X_2 = X_{T.VH} = 0,005(U_{к.VH-НН} + U_{к.VH-СН} - U_{к.СН-НН}) \frac{S_6}{S_{Н.Т}}, \quad (3.3)$$

$$X_3 = X_{T.СН} = 0,005(U_{к.VH-СН} + U_{к.СН-НН} - U_{к.VH-НН}) \frac{S_6}{S_{Н.Т}}, \quad (3.4)$$

$$X_4 = X_{T.НН} = 0,005(U_{к.VH-НН} + U_{к.СН-НН} - U_{к.VH-СН}) \frac{S_6}{S_{Н.Т}}, \quad (3.5)$$

де  $U_{к.VH-НН}$ ,  $U_{к.VH-СН}$ ,  $U_{к.СН-НН}$  – напруги короткого замикання обмоток трансформатора, %;

$$X_2 = 0,005(10,5 + 17 - 6) \frac{1200}{63} = 2,04;$$

$$X_3 = 0,005(10,5 + 6 - 17) \frac{1200}{63} = 0;$$

$$X_4 = 0,005(17 + 6 - 10,5) \frac{1200}{63} = 1,1.$$

Опір повітряної лінії напругою 110 кВ:

$$X_5 = X_L = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{Н.Л}^2}, \quad (3.6)$$

де  $U_{Н.Л}$  – номінальна напруга лінії, кВ.

$$X_5 = 0,44 \cdot 8,9 \cdot \frac{1200}{110^2} = 0,4;$$

Опір силового трансформатора ГПП:

$$X_6 = X_T = \frac{U_{к.з} \cdot S_6}{100 S_{Н.Т}}, \quad (3.7)$$



$$X_6 = \frac{10,5}{100} * \frac{1200}{25} = 5;$$

Опори кабельних ліній 10 кВ:

$$r_{л} = r_0 * L * \frac{S_6}{U^2_H}, \quad (3.8)$$

$$X_{л} = X_0 * L * \frac{S_6}{U^2_H}, \quad (3.9)$$

$$X_7 = 0,095 * 0,3 * \frac{1200}{10^2} = 0,34;$$

$$r_{л} = 0,15 * 0,3 * \frac{1200}{10^2} = 0.54;$$

Опори силових трансформаторів ЦТП визначаємо за формулою:

$$X_8 = \frac{7.5}{100} * \frac{1200}{1.6} = 56;$$

Розрахунок струму КЗ для К:

$$I_K = \frac{I_6}{Z_{сум.к}} * \frac{U_6}{U_{н.к}}, \quad (3.10)$$

Ударний струм КЗ для К1:

$$i_{y.к} = K_{y.к} * \sqrt{2} * I_K, \quad (3.11)$$

Потужність КЗ в К:

$$S_K = \sqrt{3} * U_{н.к} * I_K, \quad (3.12)$$

Розрахункові величини:

Наприклад для К1:

$$z_{сум.к} = X1 = 0,49;$$

$$I_{к1} = \frac{6,3}{0,49} * \frac{110}{110} = 12,8 \text{ кА};$$

$$i_{y.к1} = 1,95 * \sqrt{2} * 12,8 = 35,3 \text{ кА};$$

$$S_{к1} = \sqrt{3} * 110 * 12,8 = 2435 \text{ МВА.}$$

Для інших точок к.з. - таблиця 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок величин струмів к.з. для розрахункових точок

| Місце к.з. | $U_{н.к.}$<br>кВ | $r_{сум.к}$ | $X_{сум.к}$ | $z_{сум.к}$ | $\frac{X_{сум.к}}{r_{сум.к}}$ | $K_y$ | $I_{б,}$<br>кА | $I_{к,}$<br>кА | $i_{у.к,}$<br>кА | $S_{к,}$<br>МВА |
|------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------------|-------|----------------|----------------|------------------|-----------------|
| К1         | 110              | -           | 0,49        | 0,49        | -                             | 1,95  | 6,3            | 12,8           | 35,3             | 2435            |
| К2         | 110              | -           | 3,63        | 8,25        | -                             | 1,95  | 6,3            | 1,7            | 4,7              | 324             |
| К3         | 110              | -           | 4,03        | 9,45        | -                             | 1,95  | 6,3            | 1,5            | 4,1              | 285             |
| К4         | 10               | -           | 9,03        | 12,75       | -                             | 1,95  | 6,3            | 7,6            | 20,9             | 131             |
| К5         | 10               | 0,13        | 9,37        | 9,37        | -                             | 1,95  | 6,3            | 7,4            | 20,4             | 128             |
| К6         | 0,4              | 0,13        | 65,37       | 67,37       | -                             | 1,95  | 6,3            | 26,5           | 73               | 18              |

### 3.2 Вибір електрообладнання і струмоведучих частин ГПП, електрообладнання розподільчих мереж.

Перевіряємо вибрані електричні апарати:

$$I_{т.с.} = I_{к*} \frac{t_{п}}{t_{н}} \quad (3.13)$$

Зведемо результати у таблиці.

Таблиця 3.2 – Вибір високовольтних вимикачів ЛЕП-110 кВ

| Величини по яких вибирається та перевіряється обладнання | Умови вибору             | Одиниці виміру | Порівняльні дані |             |
|--|--------------------------|----------------|------------------|-------------|
|  |                          |                | Розрахункові     | Довідникові |
| 1. Напруга   | $U_p \leq U_n$           | кВ             | 110              | 110         |
| 2. Тривалий струм  | $I_p \leq I_n$           | А              | 76               | 630         |
| 3. Струм відключення                                     | $I_k \leq I_{н.о}$       | кА             | 1,7              | 20          |
| 4. Потужність відключення                                | $S_k \leq S_{н.о}$       | МВА            | 324              | 800         |
| 5. Ударний струм к.з.                                    | $I_y \leq I_{н.у}$       | кА             | 4,7              | 62          |
| 6. Струм термічної стійкості                             | $I_{т.с} \leq I_{т.с.н}$ | кА             | 5.85             | 20          |

Для встановлення вибираємо високовольтні вимикачі типу МКП–110–630–20У1

Таблиця 3.3 – Вибір високовольтних роз'єднувачів ЛЕП-35 кВ та ГПП

| Величини по яких вибирається та перевіряється обладнання | Умови вибору            | Одиниці виміру | Порівняльні дані |             |
|--|-------------------------|----------------|------------------|-------------|
|  |                         |                | Розрахункові     | Довідникові |
| 1. Напруга   | $U_p \leq U_n$          | кВ             | 110              | 110         |
| 2. Тривалий струм  | $I_p \leq I_n$          | А              | 76               | 630         |
| 3. Ударний струм к.з.                                    | $I_y \leq I_{н.у}$      | кА             | 4,1              | 80          |
| 4. Струм термічної стійкості                             | $I_{т.с} \leq I_{тс.н}$ | кА             | 5,85             | 35          |

Для встановлення вибираємо горизонтальні роз'єднувачі з заземлюючими ножами типу РНДЗ–1–110/630 Т1.

Таблиця 3.4 – Вибір відокремлювачів ГПП

| Величини по яких вибирається та перевіряється обладнання | Умови вибору            | Одиниці виміру | Порівняльні дані |             |
|--|-------------------------|----------------|------------------|-------------|
|  |                         |                | Розрахункові     | Довідникові |
| 1. Напруга   | $U_p \leq U_n$          | кВ             | 110              | 110         |
| 2. Тривалий струм  | $I_p \leq I_n$          | А              | 76               | 110         |
| 3. Ударний струм к.з.                                    | $I_y \leq I_{н.у}$      | кА             | 4,1              | 80          |
| 4. Струм термічної стійкості                             | $I_{т.с} \leq I_{тс.н}$ | кА             | 5,85             | 31,5        |

Для встановлення вибираємо відокремлювані з заземляючими ножами типу ОДЗ–1–110/1000УХЛ1.

Таблиця 3.5 – Вибір короткозамикачів ГПП

| Величини по яких вибирається та перевіряється обладнання | Умови вибору            | Одиниці виміру | Порівняльні дані |             |
|--|-------------------------|----------------|------------------|-------------|
|  |                         |                | Розрахункові     | Довідникові |
| 1. Напруга   | $U_p \leq U_n$          | кВ             | 110              | 110         |
| 2. Ударний струм к.з.                                    | $I_y \leq I_{н.у}$      | кА             | 4,1              | 51          |
| 3. Струм термічної стійкості                             | $I_{т.с} \leq I_{тс.н}$ | кА             | 5,85             | 20          |

Для встановлення вибираємо короткозамикачі КЗ – 110УХЛ1.

Таблиця 3.6 – Вибір високовольтних вимикачів 10 кВ ГПП

| Величини по яких вибирається та перевіряється обладнання | Умови вибору            | Одиниці виміру | Порівняльні дані |             |
|--|-------------------------|----------------|------------------|-------------|
|  |                         |                | Розрахункові     | Довідникові |
| 1. Напруга   | $U_p \leq U_n$          | кВ             | 10               | 10          |
| 2. Тривалий струм  | $I_p \leq I_n$          | А              | 350              | 1000        |
| 3. Струм відключення                                     | $I_k \leq I_{н.о}$      | кА             | 21               | 31,5        |
| 4. Потужність відключення                                | $S_k \leq S_{н.о}$      | МВА            | 131              | 500         |
| 5. Ударний струм к.з.                                    | $I_y \leq I_{н.у}$      | кА             | 4,0              | 80          |
| 6. Струм термічної стійкості                             | $I_{т.с} \leq I_{тс.н}$ | кА             | 5,85             | 31,5        |

Для встановлення вибираємо високовольтні вимикачі типу ВК–10–1000–31,5.

Таблиця 3.7 – Вибір високовольтних вимикачів навантаження ЦТП

| Величини по яких вибирається та перевіряється обладнання | Умови вибору            | Одиниці виміру | Порівняльні дані |             |
|--|-------------------------|----------------|------------------|-------------|
|  |                         |                | Розрахункові     | Довідникові |
| 1. Напруга   | $U_p \leq U_n$          | кВ             | 10               | 10          |
| 2. Тривалий струм  | $I_p \leq I_n$          | А              | 350              | 1000        |
| 3. Струм відключення                                     | $I_k \leq I_{н.о}$      | кА             | 19               | 20          |
| 4. Ударний струм к.з.                                    | $I_y \leq I_{н.у}$      | кА             | 4,0              | 80          |
| 5. Струм термічної стійкості                             | $I_{т.с} \leq I_{тс.н}$ | кА             | 15               | 20          |

Для встановлення вибираємо вимикачі навантаження типу ВВП-17

### 3.3 Розрахунок заземлення головної понижаючої підстанції.

Розрахунок заземлення ГПП показано в Додатку А.

### 3.4 Вибір схеми релейного захисту.

Відкритий розподільчий пристрій напругою 35 кВ ГПП виконаний з використанням відокремлювачів та короткозамикачів, які встановлені на підході до силових трансформаторів.

При спрацюванні релейного захисту пошкодженого силового трансформатора подається сигнал. Релейний захист, який встановлений на високовольтних вимикачах ліній підстанції енергосистеми спрацьовує і

відключає лінії, на якій є дане коротке замикання. В безструмову паузу відключається відокремлював пошкодженого трансформатора і вимикач на ввіді нижчої напруги (10 кВ), а лінія після цього може бути знову включена пристроєм автоматичного повторного включення (АПВ).

Релейний захист силових трансформаторів ГПП виконуємо на змінному оперативному струмі з використанням наступних захистів:

а) диференційний захист (повздовжній), який діє по принципу порівняння струмів на вході в обмотки силового трансформатора та на виході обмоток. Диференційний захист найбільш надійний швидкодіючий і має високий коефіцієнт чутливості. Струм спрацювання захисту відстроюється від скачків струму намагнічування при включенні трансформатора, а також від струмів зовнішнього короткого замикання.

При використанні реле РНТ – 564:

$$I_{сп.з} \geq (1,4 \div 2) I_n, \quad (3.14)$$

де  $I_{сп.з}$  – струм спрацювання захисту, А;

$I_n$  – номінальний струм трансформатора, А.

Знаходимо номінальний струм трансформатора з високої та низької сторони обмотки:

$$I_{н.ВН} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{н.ВН}}, \quad (3.15)$$

$$I_{н.НН} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{н.НН}}, \quad (3.16)$$

де  $I_{н.ВН}$ ,  $I_{н.НН}$  – номінальний струм високої і низької обмотки трансформатора, А;

$U_{н.ВН}$ ,  $U_{н.НН}$  – номінальна напруга високої і низької обмотки трансформатора, кВ;

$$I_{н.ВН} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 131 \text{ А};$$

$$I_{н.НН} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1443 \text{ А}.$$

Для захисту вибираємо трансформатори струму з високої сторони типу ТФЗМ– 110 – 200/5, а з низької сторони типу ТШЛ – 10 – 2000/5.

Струм спрацювання диференційного захисту:

$$I_{\text{сп.з.ВН}} = 1,8 * 131 = 235 \text{ А};$$

$$I_{\text{сп.з.НН}} = 1,8 * 1443 = 2597 \text{ А.}$$

Струми спрацювання реле визначаємо за формулою:

$$I_{\text{сп.р}} = \frac{K_{\text{н}} * K_{\text{сх}} * I_{\text{сп.з}}}{K_{\text{в}} * K_{\text{тс}}}, \quad (3.17)$$

де  $K_{\text{н}}$  – коефіцієнт надійності, ( $K_{\text{н}} = 1,3$ );

$K_{\text{сх}}$  – коефіцієнт схеми, ( $K_{\text{сх}} = 1,0$ );

$K_{\text{в}}$  – коефіцієнт повернення реле, ( $K_{\text{в}} = 0,85$ );

$K_{\text{т.с.}}$  – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму,  $K_{\text{т.с.ВН}} = 200/5 = 40$ ,

$$K_{\text{т.с.НН}} = 2000/5 = 400.$$

$$I_{\text{сп.р.ВН}} = \frac{1,3 * 1,0 * 235}{0,85 * 40} = 9 \text{ А};$$

$$I_{\text{сп.р.НН}} = \frac{1,3 * 1,0 * 2597}{0,85 * 400} = 9,8 \text{ А.}$$

Приймаємо для реле РНТ-565 вставку спрацювання 10 А.

б) Реле прямої дії РВТ діють на відключення вимикача вводу трансформатора сторони 10 кВ (НН).

Визначаємо струм спрацювання реле за формулою:

$$I_{\text{сп.р.НН}} = \frac{K_{\text{з}} * K_{\text{н}} * K_{\text{сх}}}{K_{\text{в}} * K_{\text{тс.НН}}} * I_{\text{макс}}, \quad (3.18)$$

де  $K_{\text{з}}$  – коефіцієнт самозапуску, ( $K_{\text{з}} = 1,3 \div 1,5$ );

$I_{\text{макс}}$  – максимальний струм навантаження трансформатора на стороні 10 кВ.

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 * S_{\text{н}}}{\sqrt{3} * U_{\text{н.НН}}} = 1,4 * I_{\text{н.НН}}, \quad (3.19)$$

$$I_{\text{макс}} = 1,4 * 2597 = 3635,8 \text{ А};$$

$$I_{\text{сп.р.НН}} = \frac{1,3 * 1,3 * 1,0}{0,85 * 400} * 3635,8 = 18,07 \text{ А.}$$

Приймаємо для реле РТВ вставку струму 20 А.

Коефіцієнт чутливості даного захисту повинен задовольняти умови при двофазному короткому замиканні на низькій стороні трансформатора (НН):

$$K_{\text{ч}} > 1,5$$

$$K_{\text{ч}} = 0,87 * \frac{I^{(2)}_{\text{к}}}{I_{\text{сп.р.нн}} * K_{\text{тс.нн}}}, \quad (3.20)$$

де  $K_{\text{ч}}$  – коефіцієнт чутливості;

$I^{(2)}_{\text{к}}$  – струм двофазного к.з., А.

$$I^{(2)}_{\text{к}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{к}}, \quad (3.21)$$

$$I^{(2)}_{\text{к}} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 7,6 = 6,58 \text{ кА};$$

$$K_{\text{ч}} = 0,87 * \frac{6,58 * 10^3}{9,8 * 400} = 1,67;$$

$$K_{\text{ч}} = 1,67 > 1,5.$$

в) захист від перевантаження силового трансформатора виконуємо на стороні НН з використанням реле РТ-80, із залежною характеристикою. Захист діє на сигнал або відключення вимикача вводу 10 кВ з витримкою часу на ступінь вище від максимального струмового захисту від зовнішніх к.з.

Визначаємо струм спрацювання реле захисту за формулою:

$$I_{\text{сп.р.нн}} = \frac{K_{\text{н}} * K_{\text{сх}}}{K_{\text{в}} * K_{\text{тс.нн}}} * I_{\text{макс}}, \quad (3.22)$$

$$I_{\text{сп.р.нн}} = \frac{1,3 * 1,0}{0,85 * 400} * 3635,8 = 9,2 \text{ А}$$

Приймаємо струмову вставку для реле РТ-80 рівною 10 А.

г) захист від внутрішніх пошкоджень в трансформаторах потужністю 4000 кВА реалізується за допомогою газового реле типу ПГ-22, один контакт якого діє на сигнал, а другий на відключення трансформатора.



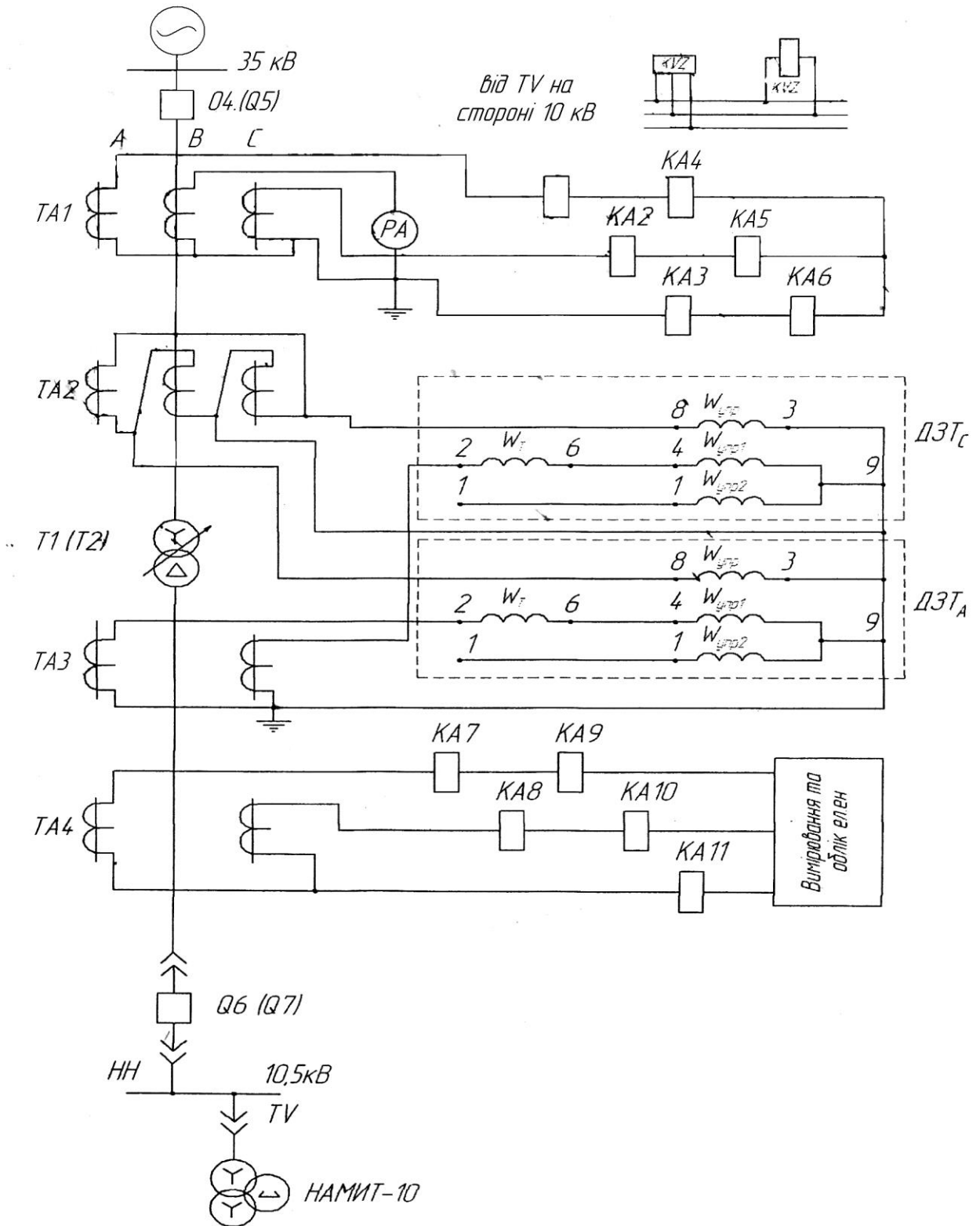


Рис. 3.3 – Схема релейного захисту силових трансформаторів ГПП

### **3.5 Висновки до Розділу 3.**

1. Проведено розрахунок струмів КЗ. Складена розрахункова схема для розрахунків КЗ та відповідна схема заміщення.
2. Проведено вибір електрообладнання і струмоведучих частин ГПП, електрообладнання розподільчих мереж.
3. Проведено розрахунок заземлення головної понижаючої підстанції.
4. Здійснено вибір схеми релейного захисту.

## **4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1 Ризик як кількісна оцінка небезпек**

Кількісною характеристикою небезпеки є квантифікація небезпек, яка визначає ступінь небезпеки або ризик. Ризик – це кількісна характеристика оцінки ступеня небезпеки.

Ризик є критерієм реалізації небезпеки. Нескінченно малий (“нульовий”) ризик свідчить про відсутність реальної небезпеки в системі, і навпаки: чим вищий ризик, тим вища реальність впливу небезпеки.

Величина ризику визначається як відношення кількості подій з небажаними наслідками до максимально можливого їх за конкретний період часу.

Характерним прикладом визначення загального ризику може служити розрахунок числового значення загального ризику побутового травматизму зі смертельними наслідками.

Сучасні вчені висувають концепцію прийняттого ризику, суть якої полягає у напрямі до такої безпеки, яку суспільство може прийняти (дозволити) у даний період часу. Нині з'ясувалося, що не можна досягти абсолютної безпеки; суспільство може собі дозволити лише економічно виправданий рівень безпеки.

Введено поняття індивідуального ризику загибелі людини.

Максимально сприятливий рівень індивідуального ризику: на 1 млн. населення гине 1 людина на рік (до цього рівня ризику треба прагнути).

Забезпечити нульовий ризик неможливо. Набула поширення концепція прийнятого ризику, тобто такий ризик суспільство може прийняти (дозволити) у даний час і котрий може бути економічно виправданий.

Прийнятий ризик вміщує технічні, економічні, соціальні та політичні аспекти, являючи собою компроміс між рівнем безпеки та можливостями її досягнення.

У деяких країнах, наприклад, у Голландії, рівні прийнятого ризику встановлені у законодавчому порядку.

Основним питанням безпеки життєдіяльності є питання підвищення рівня безпеки, тобто зниження імовірності ризику до припустимого рівня. Це можливо досягти кількома шляхами:

- повна або часткова відмова від робіт, операцій та систем, які мають високий ступінь небезпеки;
- заміна небезпечних операцій іншими, менш небезпечними;
- удосконалення технічних систем та об'єктів;
- розробка та використання спеціальних засобів захисту;
- заходи організаційно-управлінського характеру, в тому числі контроль за рівнем безпеки, навчання людей з питань безпеки, стимулювання безпечної роботи та поведінки;
- ліквідація наслідків аварій та катастроф з наступним їх аналізом.

Як правило, для підвищення рівня безпеки завжди використовується комплекс цих заходів та засобів. Для того щоб надати перевагу конкретним засобам та заходам або певному їх комплексу, порівнюють витрати на ці заходи та засоби і рівень зменшення шкоди, який очікується в результаті їх запровадження. Такий підхід до зменшення ризику небезпеки називається управлінням ризиком.

## **4.2 Пожежна профілактика на ділянці**

Відповідно до положень ДСТУ 2272-2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять:

пожежна безпека об'єкта – це стан об'єкта, за якого ймовірність виникнення і розвитку пожежі та ймовірність впливу небезпечних чинників пожежі не перевищують унормованих допустимих значень

Пожежна безпека об'єкту регламентується загальнодержавними, міжгалузевими, галузевими нормативними актами з питань пожежної безпеки,

міждержавними та державними стандартами (ДСТУ), міждержавними та державними будівельними нормами (ДБН), інструкціями по забезпеченню пожежної безпеки на окремих об'єктах тощо.

Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої і іншої діяльності посадових осіб, робітників підприємств, установ, організацій і підприємців.

Пожежна безпека повинна забезпечуватися:

- системою запобігання пожежі;
- системою протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

Система запобігання пожежі повинна опрацьовуватися по кожному конкретному об'єкту, з розрахунку додержання унормованої (регламентованої) ймовірності виникнення пожежі не більше  $10^{-6}$  на рік на окремий пожежонебезпечний вузол (елемент) даного об'єкту.

Ймовірність виникнення пожежі - числова характеристика ступеня можливості появи достатніх умов виникнення пожежі.

Система протипожежного захисту повинна опрацьовуватися по кожному конкретному об'єкту з розрахунку додержання унормованої ймовірності впливу небезпечних факторів пожежі не більше  $10^{-6}$  на рік з розрахунку на кожну людину.

Ймовірність впливу небезпечних чинників пожежі - числова характеристика ступеня можливості впливу небезпечних чинників пожежі з заданими значеннями їх параметрів.

Безпека людей повинна бути забезпечена при виникненні пожежі в будь-якому місці об'єкту. Пожежна безпека об'єкту повинна бути забезпечена як в нормальному робочому його режимі, так і у випадках виникнення аварійної обстановки.

По кожному об'єкту встановлюється економічна ефективність систем, що забезпечують його пожежну безпеку з урахуванням імовірності пожежі, вартості

об'єкту, розмірів можливих збитків від пожежі, а також капітальних вкладень і поточних витрат на системи забезпечення пожежної безпеки.

Небезпечний чинник (фактор) пожежі – це прояв пожежі, що призводить чи може призвести до опечення, отруєння леткими продуктами згоряння або піролізу, утравмування чи загибелі людей та (або) до заподіяння матеріальних, соціальних, екологічних збитків.

До небезпечних чинників (факторів), які впливають на людей і матеріальні цінності при пожежі відносяться: полум'я і іскри; підвищена температура навколишнього середовища, токсичні продукти горіння і термічного розкладення, дим, знижена концентрація кисню.

До вторинних проявів небезпечних факторів, які впливають на людей і матеріальні цінності відносять: осколки, частини апаратів, що зруйнувалися, агрегатів, конструкцій; радіоактивні і токсичні речовини і матеріали, які виходять з зруйнованих апаратів і установок; електричний струм, виниклий внаслідок винесення високої напруги на струмопровідні частини конструкцій, апаратів, агрегатів; небезпечні чинники вибуху, що стався внаслідок пожежі; вогнегасні речовини.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено розрахунок навантажень технологічного обладнання заводу із виготовлення запчастин до сільськогосподарської техніки та встановлено, що повна потужність заводу становить 29266,1 кВА. Проведено розрахунок електричних навантажень мережі освітлення. На основі цих даних проведено розрахунок сумарних електричних навантажень заводу, які складають 30,711 МВА.

2. Проведено розрахунок та побудовано картограму навантажень заводу із виготовлення запчастин до сільськогосподарської техніки.

3. Визначено розрахункове навантаження із мережі зовнішнього електропостачання, яке становить 31867,6 кВА. Проведена оцінка потужності компенсуючих пристроїв.

4. Проведено вибір раціональної напруги, січень та марки проводів ліній живлення. Прийнято номінальну напругу лінії електропередач  $U_n = 110$  кВ.

5. Проведено вибір кількості і потужності силових трансформаторів ГПП Обґрунтовано встановлення на ГПП двотрансформаторної ПС потужністю 50 МВА із коефіцієнтом завантаження, рівним 0,64.

6. Проведено вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП. Обґрунтовано встановлення двотрансформаторних ПС різної потужності на ЦТП.

7. Проведено визначення потужності компенсуючи пристроїв і їх розташування. Вибрано типові конденсаторні установки з регулюванням потужності по величині струму та напруги типу УКТ – 0,38 та УКН – 0,38. Конденсаторні установки під'єднуються до секцій шин 0,4 кВ ЦТП. Конденсаторні установки напругою 10 кВ встановлюються на ГПП і під'єднуються через вимикачі до секцій шин 10 кВ.

8. Проведено вибір схеми внутрішнього електропостачання заводу, січень і марки проводів розподільчих мереж, а саме вибір марки та перерізу кабелів

розподільчих внутрішніх електромереж. Це дає змогу підвищити надійність системи електропостачання.

9. Проведено розрахунок струмів КЗ. Складена розрахункова схема для розрахунків КЗ та відповідна схема заміщення.

10. Проведено вибір електрообладнання і струмоведучих частин ГПП, електрообладнання розподільчих мереж.

11. Проведено розрахунок заземлення головної понижаючої підстанції.

12. Здійснено вибір схеми релейного захисту.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>
2. Сисак І.М. Електропостачання промислових і муніципальних об'єктів [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1748): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.
3. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 436 с.
4. Сисак, І. М., Іваніга, О. Й., Любка, С. В., & Джуган, Ю. І. (2023). Розрахунок електричного навантажень. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 242-242.
5. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи: Підручник. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 488 с.
6. Бабюк, С. М., Клебан, К. М., & Танасійчук, В. В. (2021). Шляхи підвищення надійності електропостачання. Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 5-6.
7. Купчик, В. О., Сердюк, Т. Т., Головачук, Г. І., Волосинецький, Р. Б., Мовчан, Л. Т., & Сисак, І. М. (2022). Підвищення надійності та пропускну здатності трансформаторних підстанцій. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 80-81.
8. Бабанін, Н. В., Сисак, І. М., Гапонюк, А. В., & Максимчук, О. М. (2017).

- Вибір трансформаторів підстанцій за навантажувальною здатністю. Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 3, 89-89.
9. Буняк, О. А., & Курочкін, Д. О. (2017). Забезпечення системи гарантованого електропостачання підприємства. Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 3, 93-93.
  10. Правила улаштування електроустановок. / Міненерго вугілля України, - К., 2017.
  11. Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі: Навч. посіб. – К.: Знання, 2007. – 292 с. – (Вища освіта XXI століття).
  12. Бацюра, Є. В., Шинькар, Р. І., Ухін, А. Р., Костецький, П. Б., Осадчук, С. В., & Сисак, І. М. (2021). Забезпечення надійності системи електропостачання промислових об'єктів. Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 9-10.
  13. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Релейний захист і автоматика» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання за напрямом 6.050701 “Електротехніка та електротехнології” за спеціальністю "Електротехнічні системи електроспоживання") / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Ю. В. Володимиров, Д. В. Рум'янцев. – Х.: ХНАМГ, 2012. - 23 с.

# ДОДАТКИ

### Розрахунок заземлення ГПП

Визначасмо розрахунковий струм замикання на землю:

$$I_3 = \frac{U_H \cdot (10 \cdot l_k + l_{\text{пов}})}{350},$$

де  $I_3$  – розрахунковий струм замикання на землю, А;

$U_H$  – номінальна напруга мережі, кВ;

$l_k$  – довжина електрично пов'язаних кабельних ліній, км;

$l_{\text{пов}}$  – довжина повітряних ліній, км.

Отримаємо:

$$I_3 = \frac{110 \cdot (10 \cdot 2,7 + 8,9)}{350} = 11,28 \text{ А}$$

Визначасмо опір заземлення:

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3},$$

де  $R_3$  – опір заземлення, Ом;

$U_3$  – напруга замикання на землю, В;

$U_3 = 250 \text{ В}$ .

Отримаємо:

$$R_3 = \frac{250}{11,28} = 22,1 \text{ Ом}.$$

Визначаємо опір штучних заземлювачів з врахуванням опору природних заземлювачів ( $R_{\text{пр}} = 20 \text{ Ом}$ ).

$$R_{\text{шт}} = \frac{R_{\text{пр}} \cdot R_3}{R_{\text{пр}} - R_3},$$

де  $R_{\text{шт}}$  – опір штучних заземлювачів, Ом;

$R_3$  – опір заземлення, Ом.

Отримаємо:

$$R_{\text{шт}} = \frac{22,1 \cdot 20}{22,1 - 20} = 210,4 \text{ Ом}$$

Розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{роз}} = \rho_{\text{вим}} \cdot \Psi ,$$

де  $\rho_{\text{роз}}$  – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом · см;

$\rho_{\text{вим}}$  – вимірний опір ґрунту, Ом · см;

$$\rho_{\text{вим}} = 5 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{см};$$

$\Psi$  – коефіцієнт збільшення опору.

Отримаємо:

$$\rho_{\text{роз}} = 5 \cdot 10^2 \cdot 1,1 = 5,5 \cdot 10^2 , \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

Вибираємо в якості заземлювачів пруткові електроди довжиною 5 м опір одного пруткового електроду.

$$R_{\text{о.пр}} = 0,00227 \cdot \rho_{\text{роз}} ,$$

Отримаємо:

$$R_{\text{о.пр}} = 0,00227 \cdot 5,5 \cdot 10^2 = 1,25 \text{ Ом.}$$

Приймаючи електроди з розміщеннями в ряд по периметру підстанції при відстані один від одного 5м, визначаємо кількість електродів.

$$n = \frac{P}{a},$$

де  $n$  – кількість електродів, м;

$P$  – периметр підстанції, м;

$$P = 62 \text{ м.}$$

Отримаємо:

$$n = \frac{62}{5} = 12,4 , \text{ штук.}$$

З врахуванням коефіцієнта екранування за таблицею 9.1 [4] при  $a/l=5/5=1$  та при кількості електродів розміщених по периметру, сумарний опір заземлення:

$$R'_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{о.пр}}}{n \cdot \varphi} ,$$

де  $R'_{\text{ш}}$  – сумарний опір заземлення, Ом;

$\varphi$  – коефіцієнт екранування.

Отримаємо:

$$R'_{ш} = \frac{1,25}{12,4 \cdot 0,8} = 0,12, \text{ Ом}$$

Оскільки  $R'_{ш} = 0,12 \text{ Ом} < R_{ш} = 23,7 \text{ Ом}$ , то кількість електродів вибрана правильно.

## **Обґрунтування та загальні вимоги схеми внутрішнього електропостачання**

Розподілення електроенергії між споживачами цехів та об'єктів заводу виконується по радіальним, магістральним або змішаним схемам.

Напруга розподільчих мереж залежить в основному від потужності споживачів та їх номінальної напруги. Напруга 6 та 10 кВ широко використовується на промислових підприємствах для мережі внутрішнього розподілення електроенергії між цехами та об'єктами.

Напруга 6 кВ використовується для тих енергетичних об'єктів та цехів, де є наявність споживачів на номінальну напругу 6 кВ, наприклад: компресорні станції, прокатні стани, термічні та плавильні печі та інші споживачі.

Широко використовуються для внутрішніх електромереж підприємств напруга 10 кВ.

Згідно генерального плану та вихідних даних споживачів цехів та інших об'єктів, приймається для внутрішніх розподільчих мереж напруга 10 кВ.

Розподілення електроенергії між споживачами від ГПП здійснюємо кабельними лініями напругою 10 кВ. Кабельні лінії 10 кВ прокладаються в землі по території. В одній траншеї прокладаються по декілька кабелів, які йдуть в одному напрямку на ЦТП цехів та інших об'єктів.