

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

**Казаков Олександр Сергійович**

УДК 621.359.4

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування варіанту вибору апаратів захисту та провідників  
електропостачання проектованої мережі заводу виробництва автозапчастин  
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Казаков О.С.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Денисюк Анатолій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,  
автоматизації виробництва та інженерної екології  
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2024

## АНОТАЦІЯ

Казаков О.С. Обґрунтування варіанту вибору апаратів захисту та провідників електропостачання проекрованої мережі заводу виробництва автозапчастин

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Основною метою роботи є вибір апаратів та провідників мережі заводу виробництва автозапчастин.

Результатом роботи є розрахунок перерізу кабелів 110 кВ, вибір устаткування ВРП 110 кВ, вибір трансформатора власних потреб, вибір перерізу кабельних ліній 10кВ за трьома критеріями: по нагріванню, економічній щільності струму та по термічній стійкості до струмів КЗ.

**Ключові слова:** головна понижуюча підстанція, щільність струму, кабельна лінія, коефіцієнт перевантаження, термічна стійкість, привод короткозамикачів, щит власних потреб, трансформатори власних потреб.

## ABSTRACT

Kazakov O.S. Justification of the choice of devices and conductors of the projected network of the auto parts production plant.

Qualifying work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The main goal of the work is the selection of devices and network conductors of the auto parts production plant.

The result of the work is the calculation of the cross-section of 110 kV cables, the selection of 110 kV VRP equipment, the selection of a transformer for own needs. selection of the cross-section of 10 kV cable lines according to three criteria: heating, economic current density and thermal resistance to short-circuit currents.

**Key words:** main step-down substation, current density, cable line, overload factor, thermal resistance, short-circuit drive, self-demand shield, self-demand transformers.

## ЗМІСТ

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП                                                                 | 4  |
| РОЗДІЛ 1. СКЛАД ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЗАВОДУ<br>ВИРОБНИЦТВА АВТОЗАПЧАСТИН | 6  |
| Висновки по розділу 1                                                 | 10 |
| РОЗДІЛ 2. ВИБІР АПАРАТІВ І ПРОВІДНИКІВ ПРОЕКТОВАНОЇ<br>МЕРЕЖІ         | 11 |
| 2.1. Вибір перерізу провідників ПЛ 110кВ                              | 11 |
| 2.2. Вибір устаткування ВРП 110КВ                                     | 13 |
| 2.3. Вибір трансформатора власних потреб 10кВ ГПП                     | 16 |
| 2.4 Вибір перерізу кабелів 10кВ                                       | 21 |
| Висновки по розділу 2                                                 | 29 |
| РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ                                               | 30 |
| 3.1. Загальні положення                                               | 30 |
| 3.2. Заходи щодо техніки безпеки при роботі в цеху                    | 31 |
| Висновки по розділу 3                                                 | 33 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ                                                     | 34 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                            | 35 |

## **ВСТУП**

**Актуальність роботи.** Забезпечення надійності роботи, безпеки та зручності обслуговування при мінімальних витратах на споруду є важливим фактором при проектуванні та експлуатації електричних мереж. Це можливо досягти лише при правильному розрахунку і виборі перерізу провідників розрахованих на різні номінали існуючих напруг, розподільчих пристроїв, трансформаторів власних потреб тощо. Так, відкриті розподільчі пристрої (ВРП), якраз і повинні забезпечувати надійність роботи, безпеку та зручність обслуговування при мінімальних витратах на споруду, можливість подальшого розширення.

Тому оптимізація вибору апаратів і провідників мережі є важливою задачею.

**Метою роботи** є підвищення надійності роботи, безпеки та зручності обслуговування мережі заводу виробництва автозапчастин.

Для досягнення мети у роботі вирішуються наступні задачі:

1. Аналіз структури та складу електрообладнання заводу виробництва автозапчастин.
2. Вибір перерізу ПЛ 110 кВ, устаткування ВРП 110 кВ, трансформатора власних потреб 10 кВ ГПП та перерізу кабельних ліній 10 кВ

**Об'єктом дослідження** є аналіз промислових споживачів електричної енергії, щодо вибору апаратів і провідників проекрованої мережі.

**Предметом дослідження** є система електропостачання заводу виробництва автозапчастин з розробкою та розрахунком апаратів і провідників проекрованої мережі.

**Методи досліджень.** При виконанні досліджень, використовувалися методи всебічного аналізу, моделювання, оптимальних рішень.

**Практична значимість результатів роботи:**

Здійснено обґрунтування вибору системи захисного заземлення та захисту від блискавок типового промислового об'єкту, що дозволяють ефективно вирішувати такі практичні завдання:

1. Оптимізувати вибір апаратів і провідників мережі.
2. У перспективі реалізувати можливість вдосконалення системи вибору апаратів і провідників мережі за мірою розширення виробництва.

#### **Перелік публікацій автора за темою дослідження :**

Казаков О.С. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ ЛІНІЇ 110КВ

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 165-166.

Казаков О.С., Романський В.В. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 181-182.

Казаков О.С., Романський В.В. ВИБІР ВЕЛИЧИН НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 179-180.

# РОЗДІЛ 1

## СКЛАД ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЗАВОДУ ВИРОБНИЦТВА АВТОЗАПЧАСТИН

Завод виробництва автозапчастин має розташування та склад, наведені нижче:

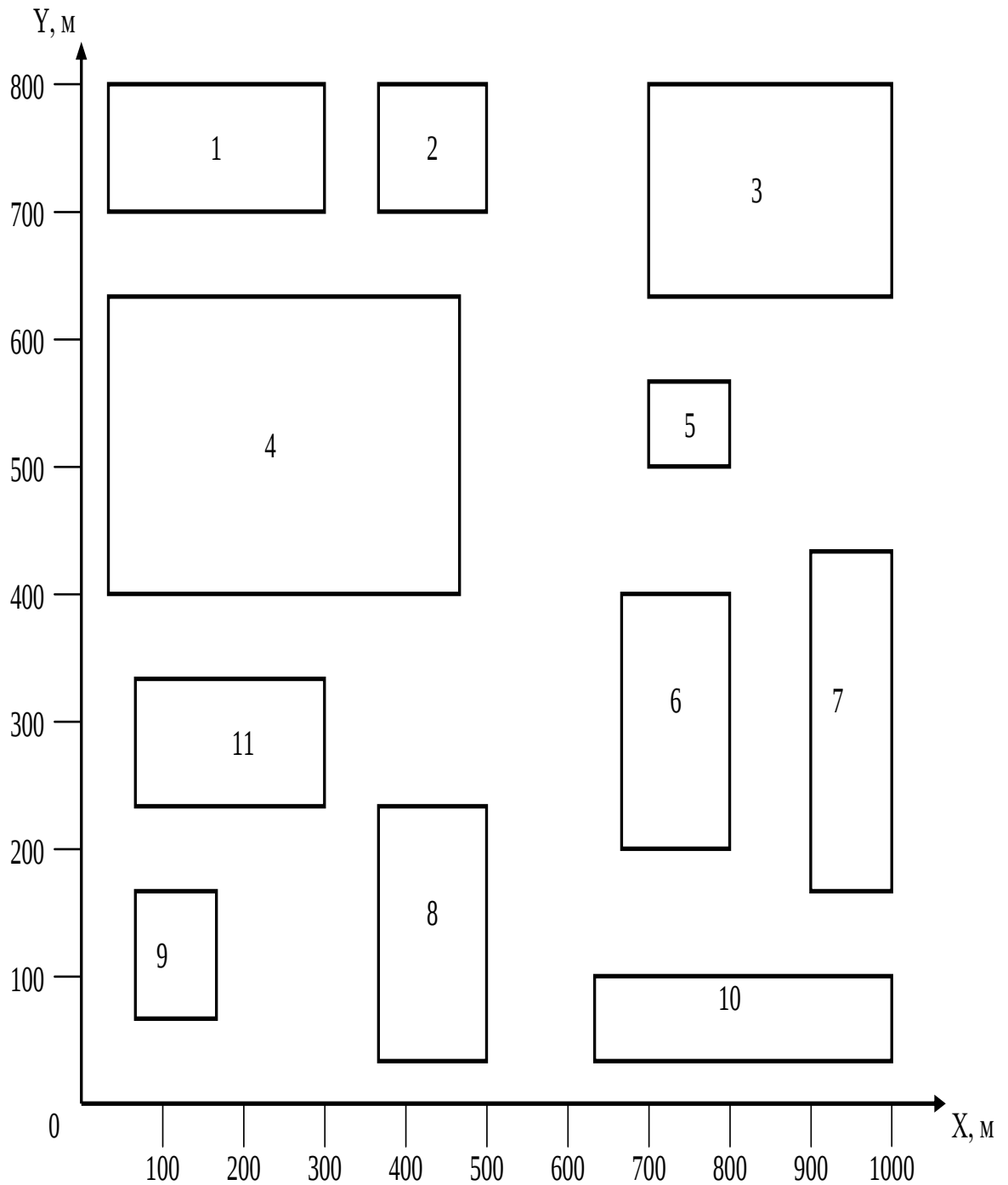


Рисунок 1.1. Генеральний план заводу.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунку електричних навантажень  
0,4 кВ

| №  | Найменування             | $P_{вст}, \text{кВт}$ |
|----|--------------------------|-----------------------|
| 1  | Цех зварювальний         | 3500                  |
| 2  | Цех інструментальний     | 6000                  |
| 3  | Цех ливарний             | 10000                 |
| 4  | Цех термічний            | 8000                  |
| 5  | Цех пресувальний         | 7000                  |
| 6  | Цех механічно-скадальний | 11000                 |
| 7  | Цех заготівельний        | 2000                  |
| 8  | Котельня + Насосна       | 600                   |
| 9  | Компресорна              | 1000                  |
| 10 | Склад                    | 2000                  |
| 11 | Управління               | 3000                  |

Картограма електричних навантажень та схема електропостачання заводу наведені на рис.1.2 та 1.3.

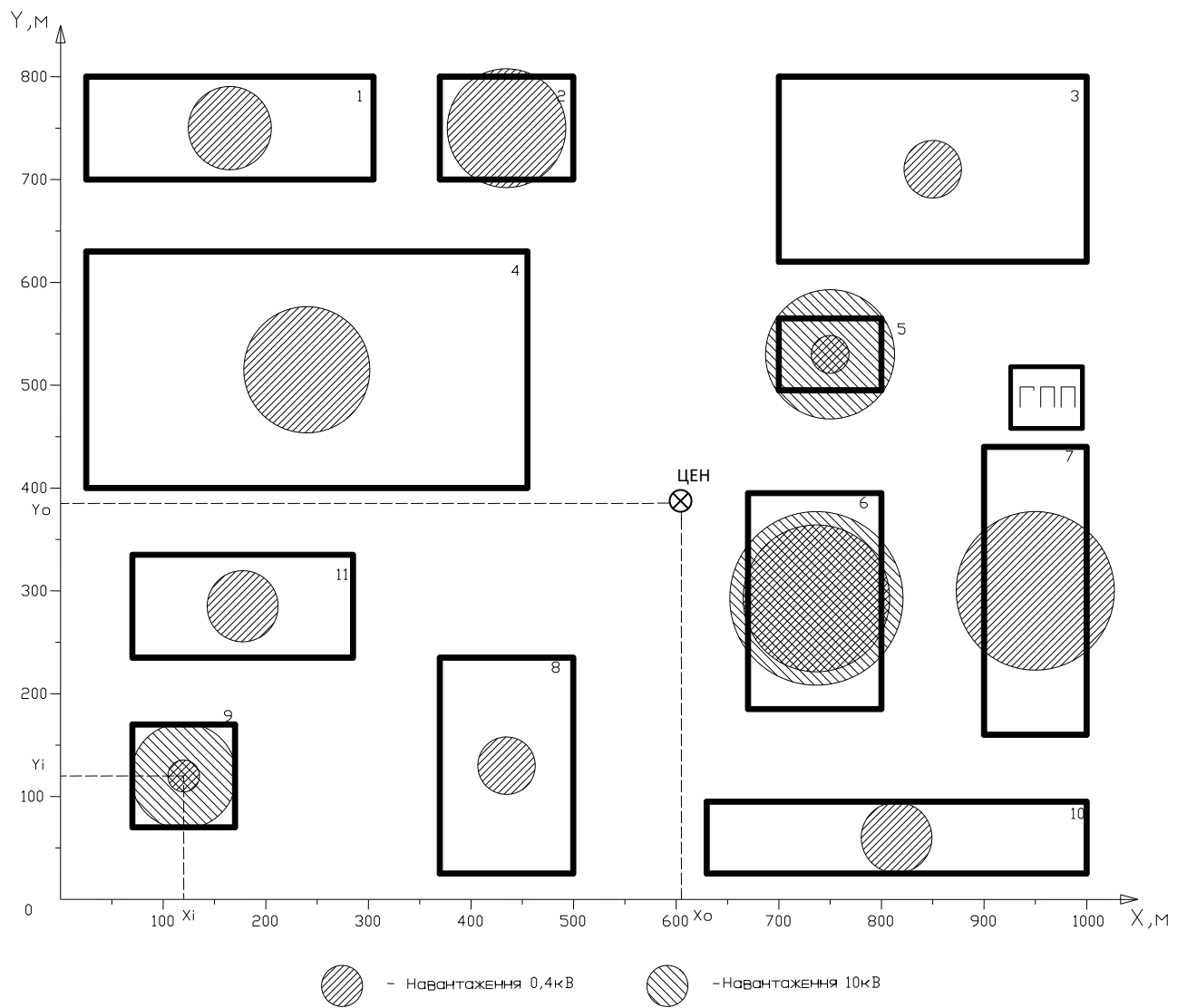


Рисунок 1.2. Картограма навантаження заводу

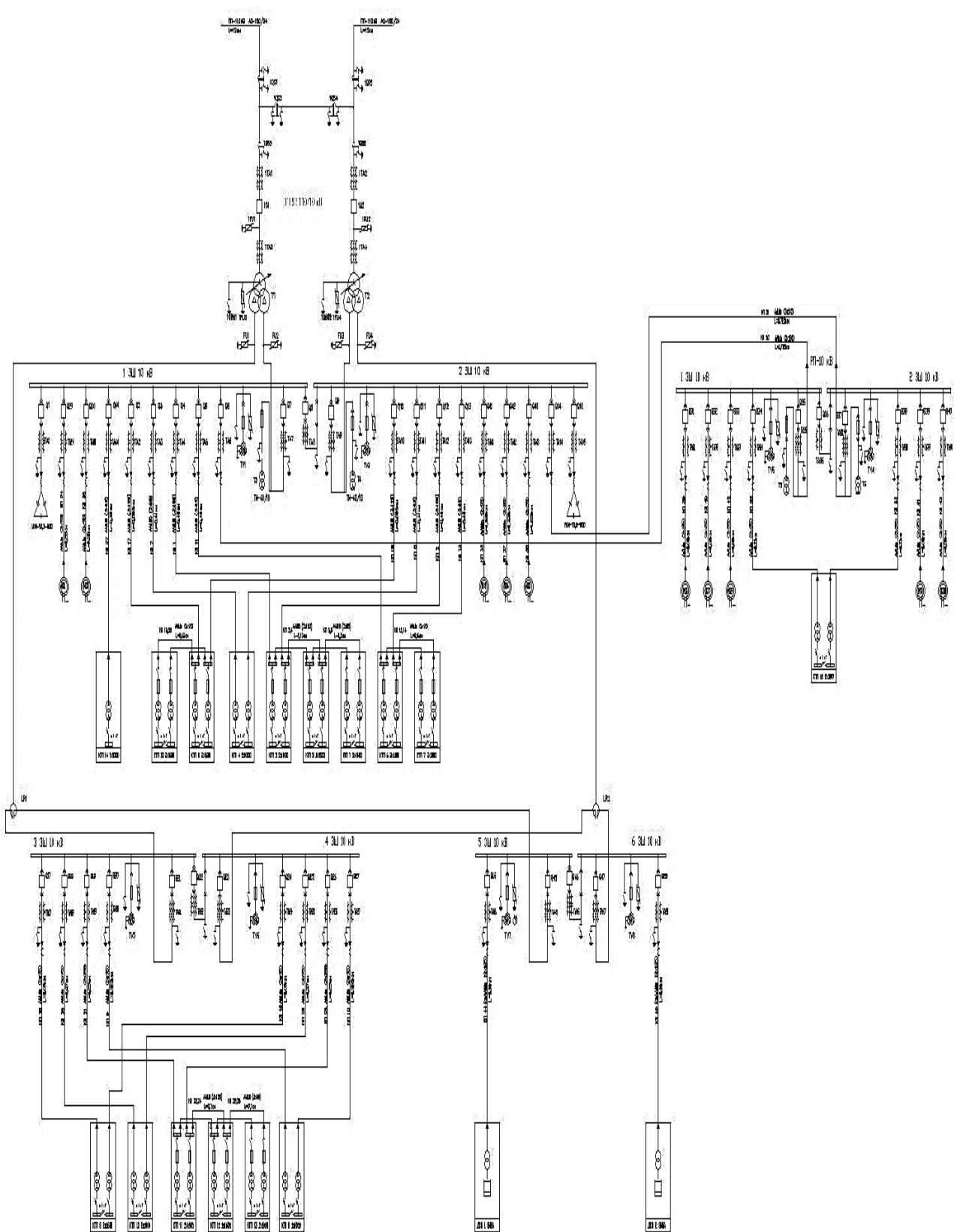


Рисунок 1.3. – Живлення заводу

### **Висновки по першому розділу**

Приведено склад електрообладнання заводу, варіант розташування технологічного обладнання цеху, картограма електричних навантажень та розміщення основних елементів електропостачання заводу.

## РОЗДІЛ 2

### ВИБІР АПАРАТІВ І ПРОВІДНИКІВ ПРОЕКТОВАНОЇ МЕРЕЖІ

#### 2.1 Вибір перерізу провідників ПЛ 110кВ

Напруга 110 кВ надходить на ГПП заводу по дволанцюговій повітряній лінії електропередач від РП вузлової розподільної підстанції (ВРП). Відстань від ВРП до ГПП заводу - 12 км.

Вибір перерізу проводів ПЛ - 110 кВ які живлять трансформатори ГПП здійснюється за чотирма критеріями [5]:

- по економічній щільності струму;
- по нагріву;
- по механічній стійкості;
- по умові корони.

Вибір кабелю ЛЕП 110 кВ по економічній щільності струму [4]:

$$F_e = \frac{I_{\text{норм}}}{J_e}, \quad (2.1)$$

де  $I_{\text{норм}}$  - розрахунковий струм ПЛ в нормальному режимі, А;

$J_e$  — нормована економічна щільність струму, А/мм<sup>2</sup>.

$$I_{\text{норм}} = \frac{k_{\text{з.норм}} \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}. \quad (2.2)$$

$k_{\text{з.норм}} = 0,7$  — коефіцієнт завантаження трансформатора в нормальному режимі;

$S_{\text{ном.т}} = 40000$  кВА - номінальна потужність трансформатора.

$$I_{\text{норм}} = \frac{0,7 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 146,96 \text{ А.}$$

Економічна щільність струму залежить від річної кількості годин використання максимуму навантаження підприємства - і матеріалу провідника. Для заводу виробництва автозапчастин  $T_M = 4960$  год.

Для алюмінієвих проводів при  $T_M = 3000 \div 5000$  год.

$$F_e = \frac{I_{\text{норм}}}{J_e} = \frac{146,96}{1,1} = 133,6 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель АС-150/24 (Переріз  $F = 150 \text{ мм}^2$ , діаметр кабелю  $d = 8,4 \text{ мм}$ , тривало допустимий струм  $I_{\text{т.д}} = 445 \text{ А}$ , питомі активний і індуктивний опір  $R_0 = 0,194 \text{ Ом/км}$ ,  $X_0 = 0,415 \text{ Ом/км}$ ).

Вибір кабелю ЛЕП 110 кВ по нагріву:

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{т.д}}, \quad (2.3)$$

де  $I_{\text{max}}$  розрахунковий струм ПЛ в післяаварійному режимі, А;

$I_{\text{т.д}}$  - тривало допустимий струм ПЛ, А;

$$I_{\text{max}} = \frac{k_{\text{з.ав}} \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}. \quad (2.4)$$

$k_{\text{п.ав}} = 1,4$  - допустимий коефіцієнт перенавантаження трансформатора в аварійному або ремонтному режимах;

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 293,924 \text{ A.}$$

Перевірка умови:

$$I_{\max} = 293,924 \text{ A} \leq I_{\text{т.д}} = 445 \text{ A.}$$

Вибір кабелю ЛЕП 110 кВ за умовою механічної міцності:

Перевірку по механічній міцності не проводимо, так як, згідно ПУЕ, мінімальний переріз кабелю для повітряної лінії 110 кВ - 35 мм<sup>2</sup>.

Вибір кабелю ЛЕП 110 кВ за умовою корони:

Перевірку за умовами корони не виробляємо, так як, згідно ПУЕ, мінімальний переріз проводу для повітряних ліній 110 кВ - 70 мм<sup>2</sup>.

Остаточню вибираємо кабель АС-150/24 (Переріз  $F = 150 \text{ мм}^2$ , діаметр кабелю  $d = 22,8 \text{ мм}$ , тривало допустимий струм  $I_{\text{т.д}} = 445 \text{ А}$ , питомі активний і індуктивний опір  $R_0 = 0,194 \text{ Ом/км}$ ,  $X_0 = 0,415 \text{ Ом/км}$ ).

Так як район, в якому знаходиться завод з чистою атмосферою і звичайними польовими забрудненнями атмосфери, вибираємо по 8 підвісних ізоляторів в гірлянді типу ПФ6-В.

## 2.2 Вибір устаткування ВРП 110 кВ

Розподільні пристрої, розташовані на відкритому повітрі (напругою 35 кВ і вище), називаються відкритими розподільчими (ВРП).

ВРП повинні забезпечувати надійність роботи, безпеку та зручність обслуговування при мінімальних витратах на споруду, можливість подальшого розширення.

Вибір схеми ВРП 110 кВ залежить від схеми живлення ГПП від

енергосистеми і потужності трансформаторів ГПП [16].

Схема живлення ГПП - радіальна.

При невеликій кількості приєднань на стороні 35-110 кВ застосовують спрощені схеми з невеликим числом вимикачів.

В РП високої напруги 110 кВ вибираємо схему: два блоки з вимикачами і неавтоматичним перемикачем з боку лінії.

До складу обладнання ВРП входять високовольтні вимикачі, роз'єднувачі, обмежувачі пренапруги, трансформатори струму та інші апарати.

Вибір високовольтних вимикачів проводять по:

- номінальній напрузі.

Номінальна напруга мережі, в якій установлюється вимикач:

$$U_{\text{м.ном}} \leq U_{\text{ном}}, \quad (2.5)$$

де  $U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга вимикача, В.

- номінальному тривалому струмі.

Розрахунковий струм тривалого режиму ланцюга, в якій встановлюється вимикач:

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}, \quad (2.6)$$

де  $I_{\text{ном}}$  – тривалий номінальний струм вимикача А.

- електродинамічній стійкості.

1) граничного періодичному струму КЗ.

Початковий періодичний надперехідний струм КЗ у вимикачі визначається:

$$I_{\text{п.о}} \leq I_{\text{пр.нс}}, \quad (2.7)$$

де  $I_{\text{пр.нс}}$  – граничний наскрізний струм, допустимий для даного вимикача, кА.

2) ударному струму КЗ.

Ударний струм КЗ в колі, де установлюється вимикач:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по}} \cdot K_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}, \quad (2.8)$$

де  $i_{\text{пр.с}}$  - номінальний струм електродинамічної стійкості вимикача, кА.

Вибір роз'єднувачів проводять по:

- номінальній напрузі (вибір проводиться аналогічно вибору вимикачів);
- номінальному тривалому струмі (вибір проводиться аналогічно вибору вимикачів);
- електродинамічної стійкості (перевірка за граничним періодичному струму КЗ проводиться як для вимикачів);
- термічній стійкості (вибір проводиться аналогічно вибору вимикачів).

Вибір трансформаторів струму проводять по:

- номінальній напрузі.

Вибір за напругою аналогічний вибору вимикачів [3].

- номінальному струму.

Тривалий робочий розрахунковий струм ланцюга, в яку включається трансформатор струму:

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном.1}}, \quad (2.9)$$

де  $I_{\text{ном.1}}$  - номінальний струм первинного ланцюга трансформатора струму (ТС)

Ударний струм короткого замикання [14]:

$$i_{уд} \leq \sqrt{2} \cdot K_{дин} \cdot I_{ном.1}, \quad (2.10)$$

де  $K_{дин}$  - кратність електродинамічної стійкості.

- термічній стійкості.

Тепловий імпульс:

$$B_K \leq (K_T \cdot I_{ном.1})^2 \cdot t_T, \quad (2.11)$$

де  $K_T$  - кратність термічної стійкості.

Вибір трансформаторів напруги проводять по:

- номінальній напрузі.

Номінальна напруга мережі та номінальна напруга ТН однакові:

$$U_{с.ном} = U_{ном}, \quad (2.12)$$

де  $U_{ном}$  - номінальна напруга вимикача, кВ.

- за конструкцією, схемі з'єднання обмоток і класу точності.

Розрахунковий струм тривалого режиму ланцюга, в якій встановлюється запобіжник:

$$I_{max} \leq I_{ном.зп}, \quad (2.13)$$

де  $I_{ном.зп}$  - номінальний тривалий струм запобіжника, А.

Обладнання ВРП показано в таблиці А1. додатку А

### 2.3 Вибір трансформатора власних потреб 10 кВ ГПП

Власні потреби підстанції складають ланцюги захисту і управління, обігрів приводів вимикачів, освітлення, опалення, обдув трансформаторів, вентиляція приміщень, акумуляторних батарей, система пожежогасіння, аварійне освітлення і т.д [3].

Для живлення споживачів власних потреб підстанцій передбачається установка двох трансформаторів власних потреб (ТВП), потужність яких вибирається відповідно з урахуванням допустимого перевантаження при відмовах і ремонтах одного з трансформаторів.

Навантаження власних потреб підстанції наведена в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Навантаження власних потреб підстанції

| Вид споживача                                    | Встановлення<br>потужність                    |                                 | $\cos\varphi$ ,<br>в.о | $\operatorname{tg}\varphi$ ,<br>в.о | Навантаження                    |                                  |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|                                                  | $P_{\text{уст}} \cdot n$ , кВт<br>× кількість | $P_{\Sigma\text{уст}}$ ,<br>кВт |                        |                                     | $P_{\Sigma\text{уст}}$ ,<br>кВт | $Q_{\Sigma\text{уст}}$ ,<br>кВар |
| Охолодження<br>трансформаторів ТДН-<br>40000/110 | 3 х 2                                         | 6                               | 0,85                   | 0,62                                | 6                               | 3,7                              |
| Підігрів приводів<br>розє'днувачів               | 0,6 х 6                                       | 3,6                             | 1                      | 0                                   | 3,6                             | 0                                |
| Підігрів вимикачів<br>ВМТ                        | 3 х 2                                         | 6                               | 1                      | 0                                   | 6                               |                                  |
| Опалення, освітлення,<br>вентиляція ОПУ и<br>ЗРУ | -                                             | 30                              | 1                      | 0                                   | 30                              | 0                                |
| Освітлення ВРП 110<br>кВ                         | 0,4 х 4                                       | 1,6                             | 0,8                    | 0,75                                | 1,6                             | 1,2                              |

|        |  |  |  |  |      |     |
|--------|--|--|--|--|------|-----|
| Всього |  |  |  |  | 47,2 | 4,9 |
|--------|--|--|--|--|------|-----|

Сумарне розрахункове навантаження споживачів власних потреб:

$$S_p = K_{\Pi} \cdot \sqrt{(P_{\Sigma \text{уст}})^2 + (Q_{\Sigma \text{уст}})^2}, \quad (2.13)$$

де  $K_{\Pi}$  - коефіцієнт попиту, враховує коефіцієнти одночасності і завантаження.

В орієнтовних розрахунках приймається  $K_{\Pi} = 0,8$ .

$$S_p = 0,8 \cdot \sqrt{47,2^2 + 4,9^2} = 37,96 \text{ кВА}.$$

Приймаємо два трансформатори ТМ-40/10.

Технічні дані трансформатора приведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 - Технічні дані трансформатора

| Тип трансформатора | $S_{\text{т.ном}}, \text{кВА}$ | Напруга обмоток, кВ |     | Втрати потужності, кВт             |                                    | $U_K, \%$ | $I_{\text{хх}}, \%$ |
|--------------------|--------------------------------|---------------------|-----|------------------------------------|------------------------------------|-----------|---------------------|
|                    |                                | ВН                  | НН  | $\Delta P_{\text{хх}}, \text{кВт}$ | $\Delta P_{\text{кз}}, \text{кВт}$ |           |                     |
| ТМ-40/10           | 40                             | 10                  | 0,4 | 0,49                               | 1,97                               | 4,5       | 2,6                 |

Трансформатори власних потреб приєднуємо через запобіжники ПКТ-101-10-31,5УЗ до введів 10 кВ головних трансформаторів до вимикачів введів в РП 10 кВ.

Так як ТВП потужністю 40 кВА, то їх встановлюють безпосередньо в окремих шафах КРП К-104М.

Номінальний розрахунковий струм протікає на стороні 10 кВ трансформатора власних потреб:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{Т.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (2.14)$$

де  $S_{\text{Т.ном}}$  - номінальна потужність трансформатора власних потреб, кВА;

$$I_{\text{ном}} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2,31 \text{ А}.$$

Вторинною напругою 380/220 В від ТВП живиться щит власних потреб, що виконується за схемою одиночної системи збірних шин, секціонування автоматичним вимикачем (автоматом).

Щит власних потреб встановлюється в закритому приміщенні загальнопідстанційного пункту управління.

Схема живлення власних потреб ГПП наведена на рисунку 2.1

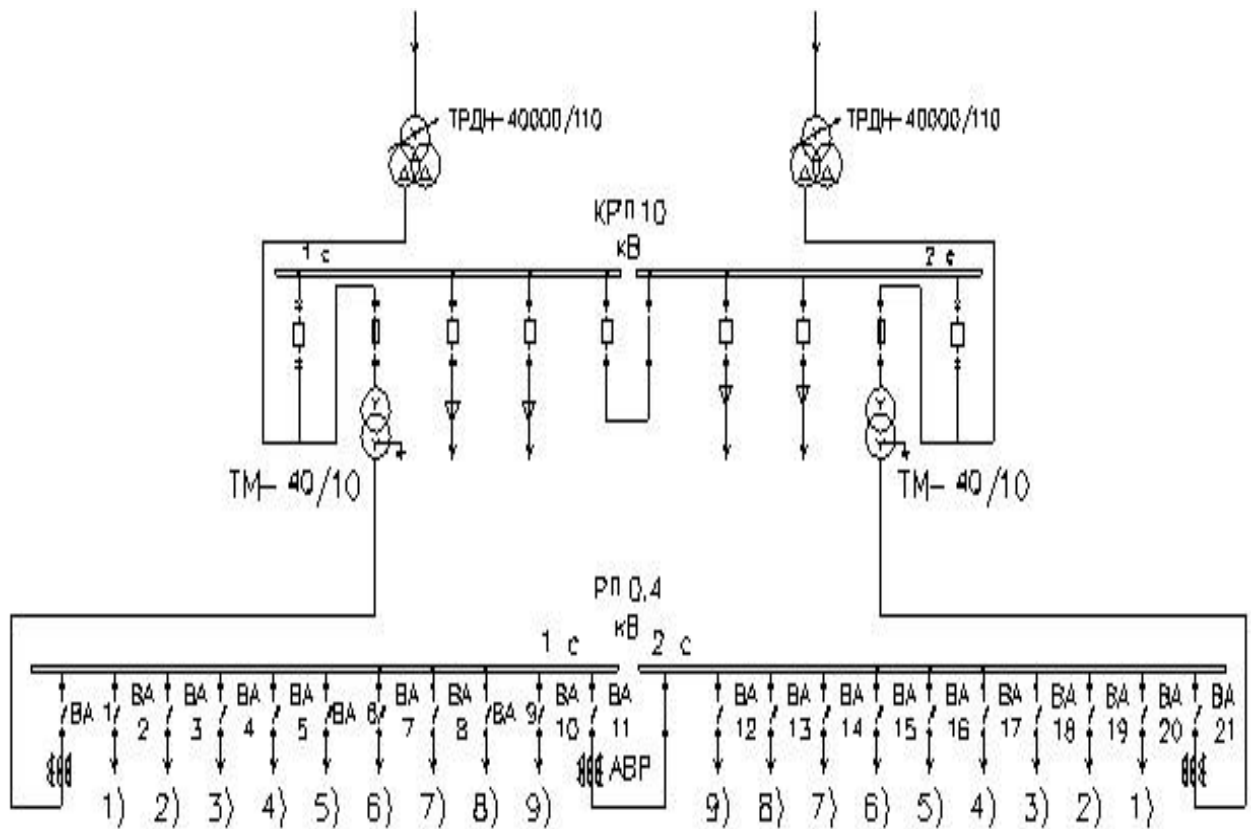


Рисунок 2.1

Пояснення до рисунку 2.1:

- 1) Охолодження трансформаторів ТРДН-40000/110;
- 2) Підігрів приводів роз'єднувачів;
- 3) Підігрів приводів відокремлювачів;
- 4) Підігрів приводів короткозамикачів;
- 5) Розетки;
- 6) Опалення, освітлення, вентиляція ОПУ;
- 7) Освітлення ВРП 110 кВ;
- 8) Зарядний пристрій УЗ-402;
- 9) Блок живлення БПРУ-66.

## 2.4 Вибір перерізу кабельних ліній 10 кВ

Вибір перерізів кабелів 10 кВ проводиться за трьома критеріями, остаточний переріз вибираємо найбільшим з трьох [16]:

Вибір кабельних ліній 10 кВ здійснюється за трьома критеріями:

- за економічної щільності струму;
- по нагріванню;
- по термічній стійкості до струмів КЗ.

Розрахунок кабельної лінії по економічній щільності струму:

$$F_e = \frac{I_{\text{норм}}}{J_e}, \quad (2.15)$$

де  $I_{\text{норм}}$  - розрахунковий струм КЛ в нормальному режимі, А;

$J_e$  - нормована економічна щільність струму, А/мм<sup>2</sup>.

$$I_{\text{норм}} = \frac{k_{\text{з.норм}} \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}. \quad (2.16)$$

$k_{\text{з.норм}}$  - коефіцієнт завантаження трансформатора в нормальному режимі;

$S_{\text{ном.т}}$  - номінальна потужність трансформатора, кВА;

При довжині кабелю менше 100 метрів вибір з економічної щільності не проводиться.

Розрахунок кабельної лінії по нагріванню [14]:

$$I_{\text{max}} \leq K_{\text{п}} \cdot I_{\text{т.д}},$$

де  $I_{\max}$  - розрахунковий струм КЗ в післяаварійному режимі, А;

$I_{\text{т.д}}$  - тривало-допустимий струм КЛ, А;

$K_{\Pi} = 1,3$  - коефіцієнт, що враховує можливість перевантаження кабелю з паперовою ізоляцією на 30 %;

$K_{\Pi} = 1,1$  - коефіцієнт, що враховує можливість перевантаження кабелю з пластмасовою ізоляцією на 10 %.

Для вибору кабелів які живлять синхронні двигуни коефіцієнт перевантаження дорівнює  $K_{\Pi} = 1$ .

$$I_{\max} = \frac{k_{\text{п.ав}} \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (2.17)$$

$k_{\text{п.ав}}$  - допустимий коефіцієнт перевантаження трансформатора в аварійному або ремонтному режимах;

$S_{\text{ном.т}}$  - номінальна потужність трансформатора, кВА;

Вибір кабельної лінії від ГПП до ТП-8.

За економічною щільністю струму:

Розрахунковий струм КЛ яка живить ТП-8 в нормальному режимі:

$$I_{\text{норм}} = \frac{0,8 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 73,9 \text{ А},$$

$k_{\text{з.норм}} = 0,8$  - коефіцієнт завантаження трансформатора в нормальному режимі;

$S_{\text{ном.т}} = 1600 \text{ кВА}$  - номінальна потужність трансформатора ТП-1.

Економічна щільність струму залежить від річної кількості годин використання максимуму навантаження підприємства -  $T_M$  і матеріалу провідника. Для заводів приладобудівної галузі промисловості  $T_M = 4960$  год.

Для кабелів з алюмінієвими жилами при  $T_M = 3000 \div 5000$  год  $J_e = 1,4 \text{ А/мм}^2$ .

$$F_e = \frac{I_{\text{норм}}}{J_e} = \frac{73,9}{1,4} = 52,786 \text{ мм}^2.$$

Для живлення ТП-8 приймаємо кабель трижильний марки ААШв (з алюмінієвими жилами, в алюмінієвій оболонці, з подушкою з одного шару пластмасових стрічок, броньований в захисній оболонці) перерізом  $F = 3 \times 50 \text{ мм}^2$ , з тривало допустимим струмом  $I_{\text{т.д}} = 155 \text{ А}$ . Прокладка кабелів здійснюється в траншеї.

Розрахунок кабельної лінії по нагріву:

Розрахунковий струм КЛ яка живить ТП-8 в аварійному режимі:

$$I_{\text{max}} = \frac{k_{\text{п.ав}} \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 129,326 \text{ А},$$

$k_{\text{п.ав}} = 1,4$  - допустимий коефіцієнт перевантаження трансформатора в аварійному або ремонтних режимах;

Перевірка умови:

$$I_{\text{max}} = 129,326 \text{ А} \leq I_{\text{т.д}} = 155 \text{ А}.$$

Умова виконується.

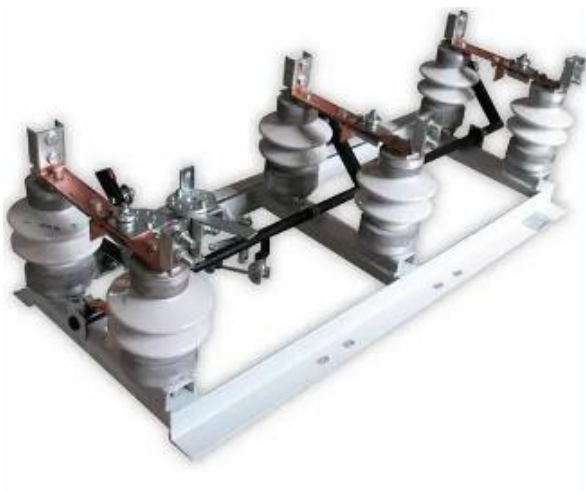
Результати вибору і розрахунку кабелів зведені в таблиці 2.4 та 2.5.

Таблиця 2.4 – Вибір перерізу кабелів 10 кВ

| №<br>лінії | Кабель в колі |                    | I <sub>max</sub> , А | I <sub>норм</sub> , А | Вибір перерізу<br>кабелю по<br>економічній<br>щільності, мм <sup>2</sup> |                                                                | Вибір<br>перерізу по<br>нагріву |                      | Вибір<br>перерізу по<br>термічній<br>стійкості до<br>СКЗ |                                       | Кінце<br>вий<br>перер<br>із,<br>мм <sup>2</sup> | I <sub>т.д</sub> , А |
|------------|---------------|--------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------|
|            | звідки        | куди               |                      |                       | Розрахунк<br>ове<br>значення<br>F <sub>э.розр</sub> , мм <sup>2</sup>    | Стандарт<br>не<br>значення<br>F <sub>э</sub> , мм <sup>2</sup> | F,<br>мм <sup>2</sup>           | I <sub>д.д</sub> , А | t <sub>п</sub> , с                                       | F <sub>min</sub> ,<br>мм <sup>2</sup> |                                                 |                      |
| 1, 2       | ГПП           | КТП-3              | 387,979              | 221,703               | 158,36                                                                   | 150                                                            | 185                             | 390                  | 0,275                                                    | 95                                    | 185                                             | 390                  |
| 3, 4       | КТП-3         | КТП-2              | 258,653              | 147,802               | 105,57                                                                   | 95                                                             | 120                             | 260                  | 0,275                                                    | 95                                    | 120                                             | 260                  |
| 5, 6       | КТП-2         | КТП-1              | 129,326              | 73,901                | 52,79                                                                    | 50                                                             | 50                              | 155                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 7, 8       | ГПП           | КТП-4              | 80,829               | 46,188                | 32,99                                                                    | 35                                                             | 25                              | 105                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 9, 10      | ГПП           | КТП-5              | 80,829               | 46,188                | 32,99                                                                    | 35                                                             | 25                              | 105                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 11, 12     | ГПП           | КТП-6              | 161,658              | 92,376                | 65,98                                                                    | 70                                                             | 70                              | 190                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 13, 14     | КТП-6         | КТП-7              | 80,829               | 46,188                | 32,99                                                                    | 35                                                             | 25                              | 105                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 15, 16     | ГПП           | КТП-8              | 129,326              | 73,901                | 52,79                                                                    | 50                                                             | 50                              | 155                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 17, 18     | ГПП           | КТП-9              | 258,653              | 147,802               | 105,57                                                                   | 95                                                             | 120                             | 260                  | 0,275                                                    | 95                                    | 120                                             | 260                  |
| 19, 20     | КТП-9         | КТП-10             | 129,326              | 73,901                | 52,79                                                                    | 50                                                             | 50                              | 155                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 21, 22     | ГПП           | КТП-11             | 387,979              | 221,703               | 158,36                                                                   | 150                                                            | 185                             | 390                  | 0,275                                                    | 95                                    | 185                                             | 390                  |
| 23, 24     | КТП-11        | КТП-12             | 258,653              | 147,802               | 105,57                                                                   | 95                                                             | 120                             | 260                  | 0,275                                                    | 95                                    | 120                                             | 260                  |
| 25, 26     | КТП-12        | КТП-13             | 129,326              | 73,901                | 52,79                                                                    | 50                                                             | 50                              | 155                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 27         | ГПП           | КТП-14             | 80,829               | 46,188                | 32,99                                                                    | 35                                                             | 25                              | 105                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 28, 29     | ГПП           | КТП-15             | 80,829               | 46,188                | 32,99                                                                    | 35                                                             | 25                              | 105                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 30, 31     | ГПП           | РП                 | 311,769              | 161,658               | 115,47                                                                   | 120                                                            | 185                             | 390                  | 0,275                                                    | 95                                    | 185                                             | 390                  |
| 32, 33     | РП            | КТП-16             | 80,829               | 46,188                | 32,99                                                                    | 35                                                             | 25                              | 105                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 34 - 38    | ГПП           | СД 5.1 –<br>СД 5.5 | 92,376               | 92,376                | 65,98                                                                    | 50                                                             | 25                              | 105                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 39 - 43    | РП            | СД 9.1 –<br>СД 9.5 | 57,735               | 57,735                | 41,24                                                                    | 35                                                             | 25                              | 105                  | 0,275                                                    | 95                                    | 95                                              | 225                  |
| 44, 45     | ГПП           | ДСП                | 462,428              | 462,428               | 330,31                                                                   | 2x185                                                          | 2x150                           | 560                  | 0,275                                                    | 95                                    | 2x185                                           | 640                  |

Таблиця 2.5 – Характеристики кабелів 10 кВ

| №<br>лінії | Кабель в колі |                    | Перері<br>з<br>кабеля,<br>мм <sup>2</sup> | I <sub>т.д</sub> , А | Марка<br>кабелю | Кількі<br>сть,<br>шт | Довжин<br>а, км | R <sub>0</sub> ,<br>Ом/км | X <sub>0</sub> ,<br>Ом/км | Спосіб<br>прокладки |
|------------|---------------|--------------------|-------------------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
|            | звідки        | Куди               |                                           |                      |                 |                      |                 |                           |                           |                     |
| 1, 2       | ГПП           | КТП-3              | 185                                       | 390                  | ААШв (3х185)    | 2                    | 0,48            | 0,162                     | 0,077                     | В траншеї           |
| 3, 4       | КТП-3         | КТП-2              | 120                                       | 260                  | ААШв (3х120)    | 2                    | 0,13            | 0,245                     | 0,081                     | В траншеї           |
| 5, 6       | КТП-2         | КТП-1              | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 2                    | 0,2             | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 7, 8       | ГПП           | КТП-4              | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 2                    | 0,41            | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 9, 10      | ГПП           | КТП-5              | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 2                    | 0,385           | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 11, 12     | ГПП           | КТП-6              | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 2                    | 0,4             | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 13, 14     | КТП-6         | КТП-7              | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 2                    | 0,16            | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 15, 16     | ГПП           | КТП-8              | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 2                    | 0,09            | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 17, 18     | ГПП           | КТП-9              | 120                                       | 260                  | ААШв (3х120)    | 2                    | 0,065           | 0,245                     | 0,081                     | В траншеї           |
| 19, 20     | КТП-9         | КТП-10             | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 2                    | 0,06            | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 21, 22     | ГПП           | КТП-11             | 185                                       | 390                  | ААШв (3х185)    | 2                    | 0,29            | 0,162                     | 0,077                     | В траншеї           |
| 23, 24     | КТП-11        | КТП-12             | 120                                       | 260                  | ААШв (3х120)    | 2                    | 0,1             | 0,245                     | 0,081                     | В траншеї           |
| 25, 26     | КТП-12        | КТП-13             | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 2                    | 0,1             | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 27         | ГПП           | КТП-14             | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 2                    | 0,36            | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 28, 29     | ГПП           | КТП-15             | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 2                    | 0,27            | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 30, 31     | ГПП           | РП                 | 185                                       | 390                  | ААШв (3х185)    | 2                    | 0,725           | 0,162                     | 0,077                     | В траншеї           |
| 32, 33     | РП            | КТП-16             | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 2                    | 0,11            | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 34 - 38    | ГПП           | СД 5.1 –<br>СД 5.5 | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 5                    | 0,22            | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 39 - 43    | РП            | СД 9.1 –<br>СД 9.5 | 95                                        | 225                  | ААШв (3х95)     | 5                    | 0,08            | 0,312                     | 0,083                     | В траншеї           |
| 44, 45     | ГПП           | ДСП                | 2х185                                     | 640                  | ААШв (3х185)    | 4                    | 0,1             | 0,162                     | 0,077                     | По констр.          |







### **Висновки по розділу**

У другому розділі було проведено розрахунок перерізу кабелю ПЛ 110 кВ, вибір устаткування ВРП 110 кВ. Також було здійснено вибір трансформатора власних потреб, та схему живлення споживачів. Проведено вибір перерізу кабельних ліній 10кВ за трьома критеріями: по нагріванню, економічності щільності струму та по термічній стійкості до струмів КЗ.

### 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 3.1. Загальні положення

Охорона праці – являє собою систему заходів та засобів спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [4].

У таблиці 3.1 наведені [4] гранично припустимі значення струмів залежно від часу протікання їх через тіло людини для шляхів «рука - рука», «рука - ноги».

Таблиця 3.1 – Гранично припустимі значення струмів частотою 50 Гц

|                                  |           |      |     |     |     |     |     |     |     |     |    |   |
|----------------------------------|-----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|---|
| $t, c$                           | 0,01–0,08 | 0,01 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1  | 1 |
| Для промислових електроустановок |           |      |     |     |     |     |     |     |     |     |    |   |
| $I, mA$                          | 650       | 400  | 190 | 160 | 140 | 125 | 105 | 90  | 75  | 65  | 50 | 6 |
| Для побутових електроустановок   |           |      |     |     |     |     |     |     |     |     |    |   |
| $I, mA$                          | 220       | 200  | 100 | 70  | 55  | 50  | 40  | 35  | 30  | 27  | 25 | 2 |

З урахуванням зазначених вище факторів можливі такі види дії електричного струму на організм людини [4]:

- біологічна – ураження таких систем життєдіяльності, як нервова, серцева та дихання;
- теплова – опіки;
- механічна – розриви тканин тіла.

Згідно з класифікацією приміщень [1] даний виробничий цех відносимо до приміщення з підвищеною небезпекою, адже в цеху є можлива небезпека ураження струмом через струмопровідну металеву підлогу, а також дотику до гострих елементів станків, які обертаються.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що працівники які перебувають в тому чи іншому підприємстві, установі, повинні керуватися певними правилами, ці ж правила і закладені в документах [1] з охорони праці.

### **3.2. Заходи щодо техніки безпеки при роботі в цеху**

#### **3.2.1. Загальні вимоги безпеки**

Згідно вимог, що встановлені в досліджуваному цеху [1]:

- допускаються до самостійної роботи особи віком не молодші вісімнадцяти років, які пройшли попередній медогляд, попереднє професійне навчання і контроль знань з питань охорони праці, пройшли вступний інструктаж та первинний інструктаж по охороні праці на робочому місці.

Виконання вимог безпеки передбачає виключення:

- дотикання до робочого інструменту верстата;
- виліт з верстата різального інструменту або його частин, а також заготовок і деталей, що обробляються;
- попадання у верстатника або інших осіб, що знаходяться поруч з верстатом, ошурків і зрізків матеріалу, що обробляється;
- травмування при встановленні і заміні різальних інструментів;
- доторкання до механізмів, що рухаються, електроприладів і інструменту, що обертаються.

#### **3.2.2. Вимоги безпеки, щодо аварійних ситуацій.**

У разі виникнення аварійних ситуацій [3]:

- при заклинюванні деталі, що оброблюється, треба спочатку вимкнути та знеструмити обладнання, а потім витягнути деталь;
- вимкнути верстат у випадку припинення подавання електроенергії або після його автоматичного вимикання запобіжним пристроєм;
- у всіх випадках аварії з обладнанням або отриманням робітником травми вимкнути верстат, травмованому робітнику надати першу допомогу, в

разі потреби викликати лікаря. Зберегти обставини пригоди недоторканими і повідомити про випадок майстра.

### **Висновки по третьому розділу**

В третьому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто:

- загальні положення з охорони праці;
- заходи щодо техніки безпеки при роботі в цеху;
- пропозиції щодо безпеки перед початком роботи;
- пропозиції щодо безпеки в аварійних ситуаціях.

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

В роботі було проведено розрахунок перерізу кабелю ПЛ 110 кВ, вибір устаткування ВРП 110 кВ. Також було здійснено вибір трансформатора власних потреб, та схему живлення споживачів. Проведено вибір перерізу кабельних ліній 10кВ за трьома критеріями: по нагріванню, економічності щільності струму та по термічній стійкості до струмів КЗ.

В кваліфікаційної роботи також були розглянуті:

- загальні положення з охорони праці;
- заходи щодо техніки безпеки при роботі в цеху;
- пропозиції щодо безпеки перед початком роботи;
- пропозиції щодо безпеки в аварійних ситуаціях.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Улаштування електроустановок./ Наказ Міненерговугілля України від 21.07.2017 № 476
2. Ю.Ф. Романюк. Електричні мережі та системи. Навчальний підручник. – Київ: “Знання”, 2007. – 292 с.
3. Лисяк В.Г. Оптимальні режими вузлів навантаження електропостачальних систем. Навчальний посібник, – Львів: “ННІ” 2007. – 251 с.
4. П.М. Монтік Електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник – Львів: “Новий Світ”, 2011. – 487 с.
5. Електричні мережі та системи.: Навч. посібник для студ. електроенерг. спец. / М. С. Сегеда; Державний ун-т "Львівська політехніка". - Л.: Каменяр, 1999. - 296 с. - Бібліогр.: с.292-296. - ISBN 5-7745-0766-1
6. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни "Проектування електричних систем": для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / Вінницький держ. технічний ун-т; уклад. Ж. І. Остапчук. - Вінниця: [б.в.], 1998. - 46 с.
7. Автоматика електроенергетичних систем. Практикум з дисципліни "Релейний захист та системна автоматика": Навч. посіб. для студ. спец. "Електричні мережі та системи"/О. Є. Рубаненко; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 1999. - 63 с.
8. Релейний захист та автоматика в електроенергетиці: Навч. посіб. для студ. спец. "Електрична частина електричних станцій", "Електричні мережі та системи", "Електротехнічні системи та системи електроспоживання" / В. М. Кутін [та ін]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 104 с.

9. Методичні вказівки до вибору схем розподільних пристроїв підстанцій напругою 35-750 кВ з курсу "Електричні системи та мережі" для студентів спеціальності "Електричні системи та мережі"/ Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т"; уклад. В. П. Волков. - Х.: НТУ "ХПІ", 2001. - 19 с.

10. Конструкції повітряних ліній електропередачі. Курсове проектування: навч. посібник для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 107 с.: рис. - Бібліогр.: с. 106-107

11. Експлуатація повітряних ліній електропередачі: навч. посіб. для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 129 с.: рис. - Бібліогр.: с. 129

12. Електромонтажні роботи. Електричні мережі до 1000 В: Навч. посібник для студ. електротехн. спец. з дисципліни "Робоча професія" / О. Д. Демов [і др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 55 с.

13. Електричні системи та мережі [Текст]: методичні вказівки до виконання курсового проекту для студ. спец. 7.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" денної та заоч. форм навчання / Національний ун-т харчових технологій ; уклад. С. Є. Вакуленко. - К.: НУХТ, 2002. - 51 с.: рис. - Бібліогр.: с. 51-52

14. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні: навч. посібник для студ. спец. 7.090601 - "Електричні станції, 7.090602 - "Електричні системи і мережі" / Ю. В. Лук'яненко [та др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 111 с.: рис. - Бібліогр.: с.111.

15. Денисюк А.Ю., Хливнюк М.Г., Шестак І.М. Комп'ютерна електроніка: Навч. Посіб. - Житомир: ЖВІ, 2017. - с. 33-44.

16. Електричні мережі систем електропостачання [Текст] : навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Г. Г. Півняк [та ін.]; ред. Г. Г. Півняк; Національний гірничий ун-т. - Д.: НГУ, 2003. - 316 с.: рис. - Бібліогр.: с. 311. - ISBN 966-8271-45-9