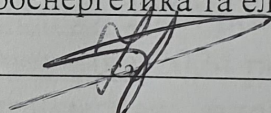


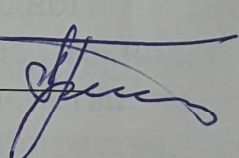
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного  
менеджменту

Бакалаврська дипломна робота на тему:

Розробка системи електропостачання  
приватного акціонерного товариства «Володарка»

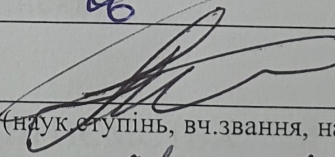
Виконав: студент 4 курсу, групи Е-206  
спеціальності 141 – «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
за ОП «Електроенергетика та електротехніка».

Руденко О.І. 

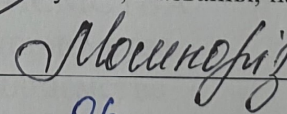
Керівник: д.т.н., проф. каф. ЕСЕМ  
Бурбело М.Й. 

« 14 » 06 2024 р.

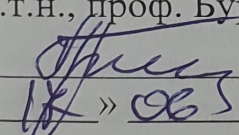
Рецензент

  
(наук. ступінь, вч. звання, назва кафедри)

Зав. каф. ЕЕМСК,

доц., к.т.н.  all. all.  
« 18 » 06 2024 р.

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри ЕСЕМ  
д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

  
« 18 » 06 2024 р.

Вінниця – 2024 року



ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного  
менеджменту  
Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. М. Й. Бурбело

« 11 » 03 2024 року

**ЗАВДАННЯ  
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

Руденко Олександр Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Володарка»  
керівник роботи Бурбело Михайло Йосипович д.т.н., проф., каф. ЕСЕМ  
затверджені наказом по ВНТУ від «11» «березня» 2024 року № 80
2. Термін подання студентом роботи «11» «червня» 2024 року.
3. Вихідні дані до роботи: Генплан підприємства; план одного із цехів з технологічними плануваннями, відомості про особливості технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства та цеху; відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація

Вступ

**1 ХАРАКТЕРИСТИКА СПОЖИВАЧІВ ПІДПРИЄМСТВА**

1.1 Характеристики технологічних процесів підприємства

1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства

**2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА**

2.1 Розрахунок навантажень цехової мережі

2.2 Вибір схеми цехової мережі

2.3 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі

2.4 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В

2.5 Розрахунок навантажень підприємства

2.6 Вибір оптимальної напруги живлення

2.7 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення

2.8 Вибір і розміщення цехових ТП

2.9 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

2.10 Розрахунок струмів КЗ загальнозаводської мережі



### 3 ВИКОРИСТАННЯ СТАТКОМ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОСТІ

#### 3.1 Основні властивості СТАТКОМ

#### 3.2 Система управління СТАТКОМ

#### 3.3 Оптимальні схематичні рішення STATCOM

#### 3.4 Підвищення енергоефективності підприємства засобами STATCOM

### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

#### 4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

#### 4.3 Пожежна безпека

### Висновки

### Література

### Додаток

– Генплан підприємства із картограмою навантажень і розподільною мережею

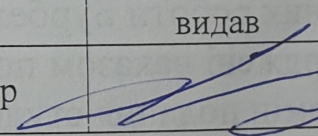
– Однолінійна схема електропостачання підприємства

– План цеху і силової мережі

– Розрахунково-монтажна таблиця

– Креслення із спецпитання

### 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата                                                                          |  |
|---------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
|               |                                           | завдання<br>видав                                                                     |  |
| Охорона праці | Кобилянський О.В., д.п.н., професор       |  |  |

7. Дата видачі завдання «03» «травня» 2024 року.

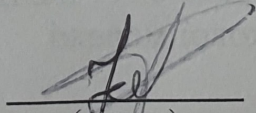
### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

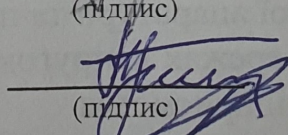
| № з/п | Назва етапів роботи                                | Строк виконання етапів роботи |
|-------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1     | Аналіз системи електропостачання підприємства      | 29.05.24                      |
| 2     | Дослідження з актуальної для підприємства тематики | 07.06.24                      |
| 3     | Охорона праці                                      | 10.06.24                      |
| 4     | Графічна частина                                   | 11.06.24                      |

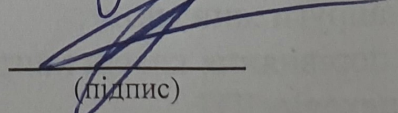
Студент

Керівник бакалаврської  
дипломної роботи

Нормоконтроль

  
(підпис)

  
(підпис)

  
(підпис)

Руденко О.  
(прізвище та ініціали)

Бурбело М.  
(прізвище та ініціали)

Войтюк Ю.  
(прізвище та ініціали)

УДК 621.311

## АНОТАЦІЯ

Руденко Олександр Іванович. Розробка системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Володарка». Бакалаврська дипломна робота. Спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕЕМ, 2024 – 75с.

В даній роботі було здійснено розробку проекту системи електропостачання підприємства та системи живлення цехової мережі.

В науково-дослідній частині роботи було визначено вимоги до пристроїв СТАТКОМ та системи керування ним для роботи в різних режимах в мережі. Досліджено алгоритм керування СТАТКОМ в мережі, ефективність якого дозволила використовувати СТАТКОМ в аварійних та післяаварійних режимах в мережі; успішно вирішено задачі регулювання напруги та симетрування напруги в енергосистемі з використанням СТАТКОМ. Дослідження показало високу ефективність роботи СТАТКОМ з розробленою системою керування. Розраховано економічний ефект від використання пристроїв СТАТКОМ в мережі даного підприємства.

Здійснено аналіз питань пов'язаних з охороною праці та пожежної безпеки для технологічних процесів даного підприємства.

Ключові слова: підстанція, реактивна потужність, електричні мережі.

Рисунків – 25

Таблиць – 24

Бібліографій – 39

## **ABSTRACT**

Oleksandr Ivanovych Rudenko. Development of the power supply system of the Volodarka private joint-stock company. Bachelor thesis. Specialties 141 – Power engineering, electrical engineering and electromechanics. – ESEEM Department – Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2024 – 73p.

In this work, the project of the power supply system of the enterprise and the power supply system of the workshop network was developed.

In the research part of the work, the requirements for STATKOM devices and its control system for operation in different modes in the network were determined. The STATCOM control algorithm in the network was studied, the effectiveness of which allowed the use of STATCOM in emergency and post-emergency modes in the network; the problems of voltage regulation and voltage balancing in the power system using STATKOM were successfully solved. The study showed the high efficiency of STATKOM with the developed control system. The economic effect of using STATKOM devices in the network of this enterprise is calculated.

The analysis of issues related to labor protection and fire safety for the technological processes of this enterprise was carried out.

Keywords: substation, reactive power, electrical networks.

Drawings – 25

Tables - 24

Bibliographies – 39

## ЗМІСТ

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                  | 5  |
| 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СПОЖИВАЧІВ ПІДПРИЄМСТВА.....                               | 7  |
| 1.1 Характеристики технологічних процесів підприємства .....                | 7  |
| 1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства.....                 | 8  |
| 2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА .....                       | 10 |
| 2.1 Розрахунок навантажень цехової мережі .....                             | 10 |
| 2.2 Вибір схеми цехової мережі .....                                        | 12 |
| 2.3 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі..... | 12 |
| 2.4 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В .....                | 14 |
| 2.5 Розрахунок навантажень підприємства .....                               | 18 |
| 2.6 Вибір оптимальної напруги живлення.....                                 | 19 |
| 2.7 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення.....              | 20 |
| 2.8 Вибір і розміщення цехових ТП .....                                     | 22 |
| 2.9 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі.....                | 25 |
| 2.10 Розрахунок струмів КЗ загальнозаводської мережі .....                  | 28 |
| 3 ВИКОРИСТАННЯ СТАТКОМ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОСТІ .....                         | 31 |
| 3.1 Основні властивості СТАТКОМ .....                                       | 31 |
| 3.2 Система управління СТАТКОМ .....                                        | 33 |
| 3.3 Оптимальні схематичні рішення STATCOM.....                              | 40 |
| 3.4 Підвищення енергоефективності підприємства засобами STATCOM .....       | 43 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....                                                       | 47 |
| 4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту .....                 | 47 |
| 4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць .....          | 47 |
| 4.1.2 Електробезпека.....                                                   | 50 |
| 4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії .....           | 51 |
| 4.2.1 мікроклімат.....                                                      | 51 |
| 4.2.2 Склад повітря робочої зони .....                                      | 52 |
| 4.2.3 Виробниче освітлення .....                                            | 52 |
| 4.2.3 Виробничий шум .....                                                  | 53 |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 Пожежна безпека .....                                                            | 54 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                        | 57 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                                     | 59 |
| ДОДАТКИ.....                                                                         | 63 |
| Додаток А – Вихідні дані.....                                                        | 64 |
| Додаток Б – Протокол перевірки кваліфікаційної роботи .....                          | 66 |
| Додаток В – План підприємства із силовими розподільчими, та живильними мережами..... | 67 |
| Додаток Г – Однолінійна схема електропостачання підприємства .....                   | 68 |
| Додаток Д – План електропостачання цеху.....                                         | 69 |
| Додаток Є – Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху.....                | 70 |
| Додаток Ж – Алгоритм управління СТАТКОМ .....                                        | 71 |
| Додаток З – Структурна схема СТАТКОМ .....                                           | 72 |
| Додаток К – Економічний ефект від використання СТАТКОМ .....                         | 73 |

## ВСТУП

Актуальність роботи. Впровадження на етапі проектування чи капітального ремонту надійних і економічних конфігурацій схем електропостачання, сучасних високоекономічних способів передачі електроенергії від джерел її генерації до вузлів її споживання, забезпечення виконання балансу реактивної потужності, впровадження заходів по зниженню пікового навантаження шляхом вирівнювання графіку навантаження і можлива мінімізація втрат досягається шляхом оптимізації методів при проектуванні систем електропостачання підприємств [1,5].

Компенсація реактивної потужності є особливо важливою і необхідною умовою для ефективного, економічного та якісного функціонування системи електропостачання. Тому оптимальне керування потужністю компенсуючих пристроїв є важливим і актуальним завданням [1, 2].

Для забезпечення балансу реактивної потужності електроенергетичної системи без заподіяння економічних збитків споживачам електроенергії та контролю якості електроенергії з боку постачальника електроенергії на прийнятному рівні, компенсація реактивної потужності, що забезпечується автоматизованими конденсаторними установками.

Мета роботи: впровадити технічні рішення для організації модернізованої системи електропостачання ПАТ «Володарка».

Щоб досягти поставленої у роботі мети потрібно розрахувати та вирішити наступні задачі на основі сучасних методів проектування СЕП:

- визначити необхідну кількість, тип та встановлену потужність трансформаторних підстанцій, які здатні забезпечити оптимальне електропостачання;

- обрати тип, визначити переріз, та спроектувати спосіб прокладення ліній живлення, для досягнення необхідного рівня надійності та ефективності електропостачання;



- визначити оптимальне розташування трансформаторних підстанцій на території підприємства з врахуванням можливості задіяння даної області території підприємства для розміщення там ТП чи ЦРП;

- здійснити проект цехової мережі, яка буде відповідати нормам надійності та економічності.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ПАТ «Володарка».

Предмет дослідження – основні елементи проекту системи електропостачання та електричні режими в них.

Наукова новизна одержаних результатів.

Розроблено проект електропостачання ПАТ «Володарка» використовуючи проектування та впровадження автоматизованої системи електропостачання, яка володіє оптимальними показниками надійності, економічності та оптимальних режимів роботи пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності для покращення параметрів економічності підприємства та параметрів якості споживаної електроенергії.

Практична реалізація отриманих проектних рішень робить систему електропостачання ПАТ "Володарка" технічно та економічно оптимальною з точки зору як проектування, так і експлуатації. Використання обладнання STATCOM в системі електропостачання підприємства знижує втрати ефективної енергії, покращує якість електроенергії та здатна зменшити кількість аварійних відключень та простою електрообладнання.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СПОЖИВАЧІВ ПІДПРИЄМСТВА

## 1.1 Характеристики технологічних процесів підприємства

ПАТ “Володарка” являється швейним виробничим підприємством, яке спеціалізується на виготовленні верхнього, чоловічого та жіночого, одягу. Продукція підприємства реалізується на вітчизняному так і європейському ринку товарів.

Спрощена схема виробництва продукції зображена на рисунку 1.1.

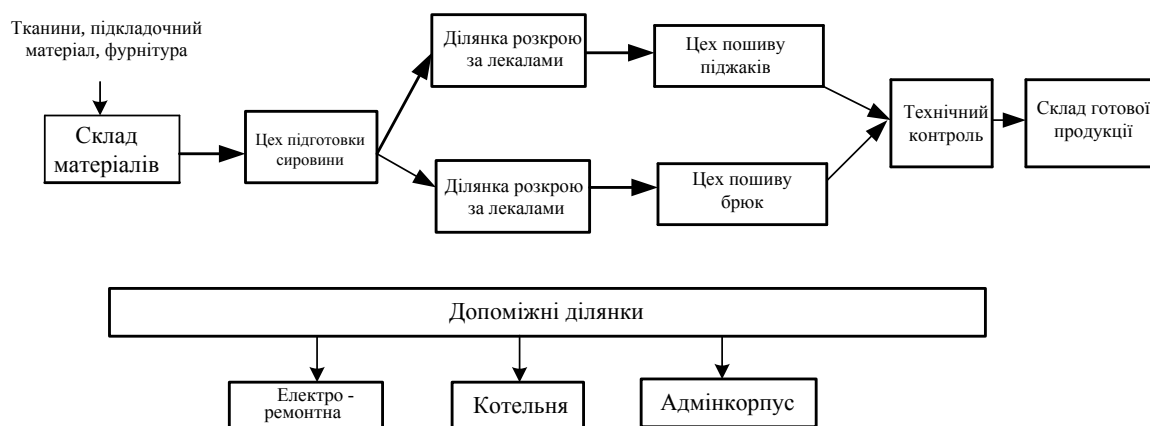


Рисунок 1.1 - Спрощена схема технологічного процесу

На сьогоднішній день підприємство має у своєму складі унікальні швейні технології високого світового рівня, що дозволяє підвищувати об’єми виробництва та інші економічні показники і ефективно використовувати ресурси.

За останні роки, в результаті модернізації, підприємству вдалося збільшити виробництво продукції та продуктивність праці. Сьогодні на підприємстві працюють 2000 працівників, які за рік випускають близько 800 тис. штук швейних виробів.

Тема розвитку швейної промисловості в Україні являється дуже актуальною. Розвиток швейної промисловості може принести високий прибуток державі. Тому підприємства даної галуззі потребують якісних і надійних систем електропостачання з можливістю їх подальшого розвитку та збільшені виробничих потужностей.

В дипломній роботі буде розглянуто електропостачання котельні. Необхідні дані про електричні навантаження котельні представлені в таблиці 1.2, план котельні зображено на рисунку 1.2.



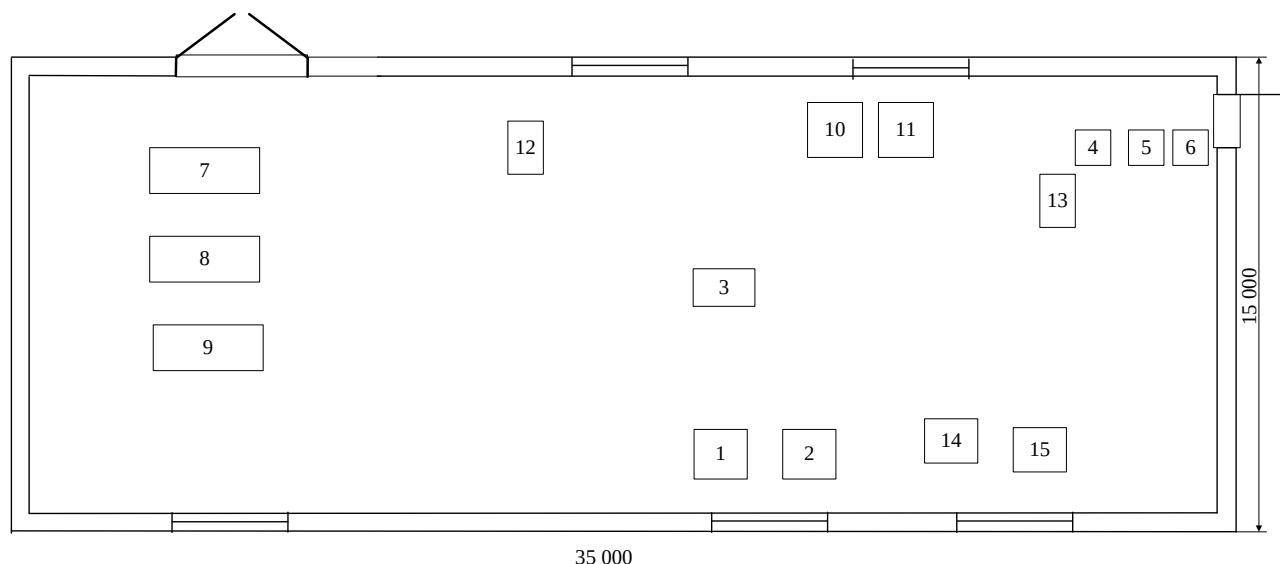


Рисунок 1.2 – План Котельні

Відносно величини електричних навантажень здійснюється вибір компонентів електромережі, налаштування параметрів захисту на різних рівнях, потужності пристроїв КРП, спосіб регулювання напруги, споживання електроенергії та втрати. Вірність визначення електричних навантажень являє собою вирішальне значення в процесі проектування.

Таблиця 1.2 – Відомості про ЕП Котельні

| №     | Найменування ЕП       | Р <sub>н</sub> , кВт |
|-------|-----------------------|----------------------|
| 1,2   | Насос сирої води      | 5,5                  |
| 3     | Рециркуляційний насос | 15                   |
| 4-6   | Насос                 | 45                   |
| 7-9   | Циркуляційний насос   | 30                   |
| 10,11 | Мережевий насос       | 45                   |
| 12    | Циркуляційний насос   | 7,5                  |
| 13    | Вентилятор            | 10                   |
| 14,15 | Господарський насос   | 15                   |

Висновки. Даний розділ дипломної роботи присвячено аналізу діяльності підприємства ПАТ «Володарка» та здійснено опис характеру електричних навантажень даного підприємства. Представлено дані про електричні навантаження котельні підприємства.

## 2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

### 2.1 Розрахунок навантажень цехової мережі

Для проекту електропостачання цехової мережі попередньо проводимо розрахунок навантажень відповідно [6] де описана таблична форма (форма Ф636-92). В таблиці 2.2 представлені результати даного розрахунку навантажень цехової мережі.

Усі ЕП Котельні будуть отримувати живлення від розподільчих пунктів РП 1,2. (рисунок 2.1), які отримують живлення від ТП .

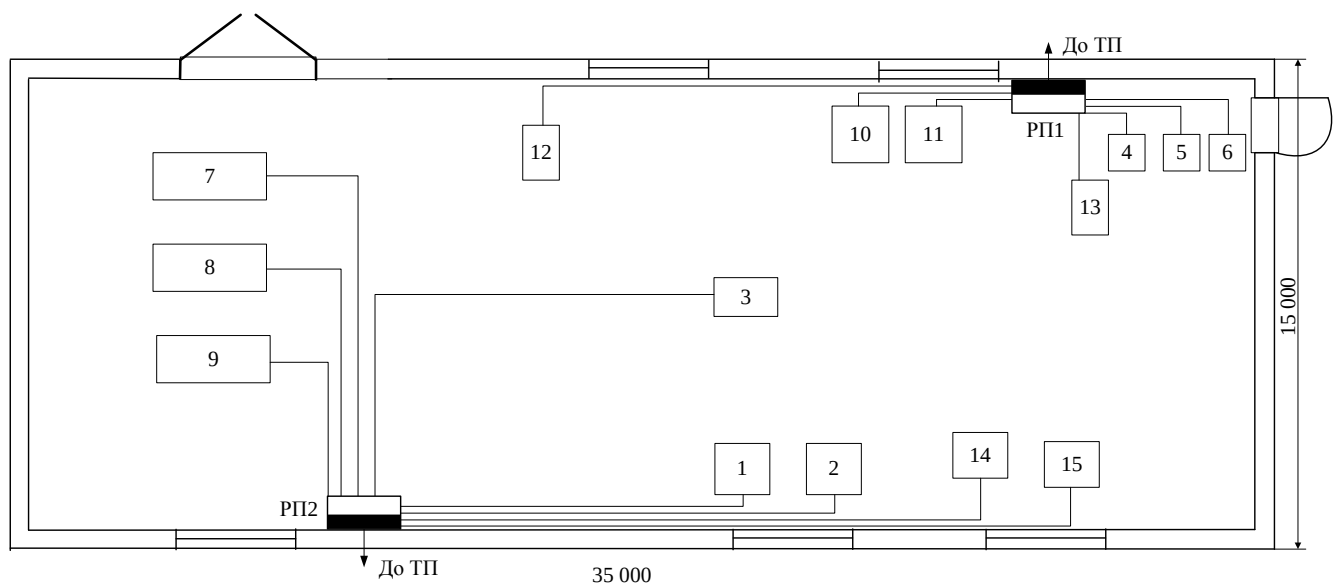


Рисунок 2.1 – План електропостачання цеху

В таблиці 2.1 наведені формули згідно [6] використовуючи які можна виконати розрахунок цехової мережі.

Таблиця 2.1 – Послідовність формул для розрахунку навантажень цехової мережі

| Назва параметра                                       | Формула                                                              | Приклад розрахунку для РП-1                                                                                  |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Розрахункове активне навантаження окремого ЕП, кВт    | $P_p = P_H$                                                          |                                                                                                              |
| Розрахункове реактивне навантаження окремого ЕП, квар | $Q_p = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi_H$                        |                                                                                                              |
| Середня активна потужність, кВт                       | $P_C = K_B \cdot P_H$                                                | $P_C = 3 \cdot 45 \cdot 0,6 + 2 \cdot 45 \cdot 0,55 + 1 \cdot 7,5 \cdot 0,5 + 1 \cdot 10 \cdot 0,7 = 141,25$ |
| Середня реактивна потужність, квар                    | $Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \phi$                             | $Q_C = 811,02 + 49,51,17 + 3,75 \cdot 1,02 + 7 \cdot 1,02 = 151,48$                                          |
| Груповий коефіцієнт використання                      | $K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}}$ | $K_B = \frac{81 + 49,5 + 3,75 + 7}{135 + 90 + 7,5 + 10} = 0,58$                                              |

## Продовження таблиці 2.1

|                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ефективне число ЕП, шт.                                       | $n_e = \left( \sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2 / \sum_{i=1}^n P_{Hi}^2$                                                                                                                                                                            | $n_e = \frac{(3 \cdot 45 + 2 \cdot 45 + 7,5 + 10)^2}{3 \cdot 45^2 + 2 \cdot 45^2 + 7,5^2 + 10^2} = 5$ |
| Розрахунковий коефіцієнт, береться з [6] таблиці 1.1          | $K_p = f(K_B; n_e)$                                                                                                                                                                                                                             | $K_p = 1,08$                                                                                          |
| Розрахункове активне навантаження для живлячої мережі, кВт    | $P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}$                                                                                                                                                                                              | $P_p = 1,08 \cdot 141,25 = 152,55$                                                                    |
| Розрахункове реактивне навантаження для живлячої мережі, квар | $Q_p = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \cdot \operatorname{tg} \varphi, & \text{при } n_e \leq 10, \\ 1,0 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \cdot \operatorname{tg} \varphi, & \text{при } n_e > 10; \end{cases}$ | $Q_p = 1,1 \cdot 151,48 = 166,62$                                                                     |
| Значення повної розрахункової потужності, кВА                 | $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$                                                                                                                                                                                                                    | $S_p = \sqrt{152,55^2 + 166,62^2} = 225,91$                                                           |
| Розрахунковий струм лінії, А                                  | $I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H}$                                                                                                                                                                                                                | $I_p = \frac{225,91 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 343,23$                                         |

У таблиці 2.2 представлено результати визначення навантажень усього цеху.

Таблиця 2.2 – Електричні навантаження мережі Котельні

| Вихідні дані              |    |                      |                          |                |      |      | Розрахункові величини               |                |                                 | n <sub>e</sub> | K <sub>p</sub> | Розрахункові навантаження |                       |                      |                    |
|---------------------------|----|----------------------|--------------------------|----------------|------|------|-------------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| Завдання технологів       |    |                      |                          | Довідкові дані |      |      | n × K <sub>B</sub> × P <sub>H</sub> | Q <sub>H</sub> | n × P <sub>H</sub> <sup>2</sup> |                |                | P <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , квар | S <sub>p</sub> , кВА | I <sub>p</sub> , А |
| Найменування ЕП           | n  | P <sub>H</sub> , кВт | n × P <sub>H</sub> , кВт | K <sub>B</sub> | cosφ | tgφ  |                                     |                |                                 |                |                |                           |                       |                      |                    |
| 1                         | 2  | 3                    | 4                        | 5              | 6    |      | 7                                   | 8              | 9                               | 10             | 11             | 12                        | 13                    | 14                   | 15                 |
| РП 1                      |    |                      |                          |                |      |      |                                     |                |                                 |                |                |                           |                       |                      |                    |
| 4-6 Насос                 | 3  | 45                   | 135                      | 0,6            | 0,7  | 1,02 | 81,00                               | 82,64          | 6075,00                         |                |                |                           |                       |                      |                    |
| 10,11 Мережевий насос     | 2  | 45                   | 90                       | 0,55           | 0,65 | 1,17 | 49,50                               | 57,87          | 4050,00                         |                |                |                           |                       |                      |                    |
| 12 Циркуляційний насос    | 1  | 7,5                  | 7,5                      | 0,5            | 0,7  | 1,02 | 3,75                                | 3,83           | 56,25                           |                |                |                           |                       |                      |                    |
| 13 Вентилятор             | 1  | 10                   | 10                       | 0,7            | 0,7  | 1,02 | 7,00                                | 7,14           | 100,00                          |                |                |                           |                       |                      |                    |
| Всього РП 1               | 7  |                      | 242,5                    | 0,58           |      |      | 141,25                              | 151,48         | 10281,25                        | 5              | 1,08           | 152,55                    | 166,62                | 225,91               | 343,23             |
| РП 2                      |    |                      |                          |                |      |      |                                     |                |                                 |                |                |                           |                       |                      |                    |
| 1,2 Насос сирі води       | 2  | 5,5                  | 11                       | 0,55           | 0,65 | 1,17 | 6,05                                | 7,07           | 60,50                           |                |                |                           |                       |                      |                    |
| 3 Рециркуляційний насос   | 1  | 15                   | 15                       | 0,5            | 0,6  | 1,33 | 7,50                                | 10,00          | 225,00                          |                |                |                           |                       |                      |                    |
| 7-9 Циркуляційний насос   | 3  | 30                   | 90                       | 0,55           | 0,65 | 1,17 | 49,50                               | 57,87          | 2700,00                         |                |                |                           |                       |                      |                    |
| 14,15 Господарський насос | 2  | 15                   | 30                       | 0,5            | 0,65 | 1,17 | 15,00                               | 17,54          | 450,00                          |                |                |                           |                       |                      |                    |
| Всього РП 2               | 8  |                      | 146                      | 0,53           |      |      | 78,05                               | 92,48          | 3435,50                         | 6              | 1,13           | 88,20                     | 101,73                | 134,64               | 204,56             |
| Всього цеху               | 15 |                      | 388,5                    | 0,55           |      |      | 214,80                              | 238,70         | 13716,75                        | 11             | 1              | 214,80                    | 238,70                | 321,12               | 487,88             |

## 2.2 Вибір схеми цехової мережі

Щоб захистити ліній живлення електроприймачів Котельні доцільно обрати автоматичні вимикачі (АВ) від виробника ЕТІ типу ЕВ та ЕВ2. Дані вимикачі побудовані на базі напівпровідникового чи теплового і електромагнітного розчіплювача для виявлення та вимкнення струмів КЗ.

Дотримуючись вимог, які наведені в [1] здійснюємо вибір наступних способів прокладки ліній живлення, які виконані провідниками та кабелями:

від ТП до РП 1,2 кабелем марки АВВГ прокладених в землі.

Від РП 1,2 до ЕП кабелями АВВГ прокладених відкрито.

Переріз ліній живлення вибирається за допустимим струмом.

## 2.3 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі

В таблиці 2.3 показано приклад вибору АВ для захисту лінії яка живить ЕП-1:

Таблиця 2.3 –Параметри вибору АВ 0,4 кВ

| Назва параметра                                  | Формула                                                                                                                                                                 | Приклад вибору                                                       |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Розрахунковий струм окремої лінії живлення ЕП, А | $I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n}$                                                                                                             | $I_p = \frac{5,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 12,23$ |
| Пусковий струм береться наближено, А             | $I_p = \begin{cases} 5 \cdot I_p & \text{для АД з КЗ рот. чи СД;} \\ 2,5 \cdot I_p & \text{для АД з ФР;} \\ 3 \cdot I_p & \text{для ДПС та звар. Т – рів;} \end{cases}$ | $I_n = 5 \cdot 12,23 = 48,91$                                        |
| Номінальний струм розчіплювача, А                | $I_{n.розч} \geq K_{відс} \cdot I_p$                                                                                                                                    | $I_{n.розч} \geq 1 \cdot 12,23 = 12,23$                              |
| Струм спрацювання відсічки, А                    | $I_{с.в} = K_n \cdot I_n$                                                                                                                                               | $I_{с.відс} \geq 1,5 \cdot 48,91 = 73,36$                            |
| Номінальний струм відключення, А                 | $I_{н.відк} \geq I_{К.мах}^{(3)}$                                                                                                                                       |                                                                      |

Опираючись на визначені значеннями струмів, для виконання захисту лінії від РП-2 до ЕП-1, вибираємо автоматичний вимикач типу ЕВ 100/3L 25А 3р економ серії з номінальним струмом вимикача рівним 25 А, номінальним струмом розчіплювача рівний 25 А та струмом відсічки рівний 125 А. Для захисту ліній і обладнання інших ЕП цехової мережі автоматичні вимикачі знаходимо аналогічним чином



Від ТП до РП2 здійснюємо вибір перерізу кабельної лінії за умови допустимого нагріву:

$$I_{\text{доп}} \geq I_M = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{134,64}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 204,56 \text{ (A)}.$$

В якості лінії живлення від ТП до РП1 доцільно обрати кабель марки АВВГ з перерізом жил 3x50+1x25. Допустимий тривалий струм складає  $I_{\text{доп}} = 240 \text{ (A)}$ . Та проводимо перевірки кабелю за наступними відношеннями:

$$I_{\text{доп}} = 240 \geq I_M = 204,56 \text{ (A)};$$

$$I_{\text{доп}} = 240 \geq I_{\text{н.розчип}} = 225 \text{ (A)}.$$

Аналогічно проводимо вибір переріз усіх інших кабелів, а результати даного вибору і перевірки заносимо в таблицю 2.4.

Визначаємо втрати напруги на ЕП-1:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_{\text{ПІТ}} + Q_p \cdot X_{\text{ПІТ}}}{U_H} \cdot l; \quad (2.1)$$

$$\Delta U_{\text{ТП-РП2}} = \frac{83,11 \cdot 0,769 + 95,94 \cdot 0,066}{380} \cdot 50 = 9,2 \text{ (В)},$$

$$\Delta U_{\text{РП2-ЕП1}} = \frac{5,5 \cdot 6,41 + 5,5 \cdot 1,17 \cdot 0,094}{380} \cdot 10 = 0,94 \text{ (В)},$$

$$\Delta U_{\text{ТП-ЕП1}} = \Delta U_{\text{ТП-РП2}} + \Delta U_{\text{РП2-ЕП1}} = 9,2 + 0,94 = 10,14 \text{ (В)}.$$

$$\Delta U_{\% \text{ТП-ЕП1}} = \frac{10,14}{380} \cdot 100\% = 2,7 - \text{ дана втрата напруги є допустима.}$$

Виберемо автоматичний вимикач для лінії від ТП до РП-1.

Згідно [4], с. 75 пусковий струм визначаємо за формулою:

$$I_{\text{п}} = I_p - K_B \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}}; \quad (2.2)$$

де  $I_{\text{н.макс}}$ ,  $I_{\text{п.макс}}$  - номінальний і пусковий струми.

$$I_{\text{п}} = I_M - K_B \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}} = 343,23 - 0,6 \cdot 92,9 + 371,79 = 1029,7 \text{ (A)}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач ЕВ2 600/3L 350А 3р з номінальним струмом  $I_{\text{ном.В}} = 350 \text{ А}$  і номінальним струмом розчеплювача  $I_{\text{н.розч}} = 350 \text{ А}$  та струмом спрацювання відсічки 2200 А.

$$I_{н.розч} = 350 \geq K_{відс} I_M = 1 \cdot 343,23 = 343,23 \text{ (A)},$$

$$I_{с.в} = 2200 \geq K_H \cdot I_{п} = 2,1 \cdot 1029,7 = 2162,7 \text{ (A)}.$$

Аналогічно проводимо вибір АВ та КЛ для інших ЕП та РП цехової мережі, а результати даного вибору і перевірки заносимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Кабельні лінії та автоматичні вимикачі цехової мережі

| Найменування ЕП           | $I_p$ , А | $I_{п}$ , А | Тип АВ             | $I_{ном}$ , А | $I_{розч}$ , А | $I_{св}$ , А | Тип ЛЖ | S, мм <sup>2</sup> | спос. прок. | $I_{доп}$ , А |
|---------------------------|-----------|-------------|--------------------|---------------|----------------|--------------|--------|--------------------|-------------|---------------|
| Всього РП 1               | 343,2     | 1029,7      | ЕВ2 600/3Е 350А 3р | 350           | 350            | 1200         | АВВГ   | 3х150+1х70         | відкрито    | 370           |
| Всього РП 2               | 192,8     | 517,9       | ЕВ2 400/3Е 225А 3р | 225           | 225            | 1000         | АВВГ   | 3х50+1х16          | відкрито    | 240           |
| 1,2 Насос сирій води      | 12,23     | 48,9        | ЕВ2S160/3LA 25А 3р | 25            | 25             | 125          | АПВ    | 4х6                | відкрито    | 27            |
| 3 Рециркуляційний насос   | 36,1      | 144,5       | ЕВ2S160/3LA 40А 3р | 40            | 40             | 200          | АПВ    | 4х10               | відкрито    | 42            |
| 4-6 Насос                 | 92,9      | 371,5       | ЕВ2 250/3Е 125А 3р | 125           | 125            | 750          | АВВГ   | 3х25+1х10          | відкрито    | 135           |
| 7-9 Циркуляційний насос   | 66,7      | 266,7       | ЕВ2 250/3Е 125А 3р | 125           | 125            | 750          | АВВГ   | 3х25+1х10          | відкрито    | 135           |
| 10,11 Мережевий насос     | 100,      | 400,1       | ЕВ2 250/3Е 125А 3р | 125           | 125            | 750          | АВВГ   | 3х25+1х10          | відкрито    | 135           |
| 12 Циркуляційний насос    | 15,4      | 61,9        | ЕВ2S160/3LA 25А 3р | 25            | 25             | 125          | АПВ    | 4х6                | відкрито    | 27            |
| 13 Вентилятор             | 20,6      | 82,5        | ЕВ2S160/3LA 25А 3р | 25            | 25             | 125          | АПВ    | 4х6                | відкрито    | 27            |
| 14,15 Господарський насос | 33,35     | 133,3       | ЕВ2S160/3LA 40А 3р | 40            | 40             | 200          | АПВ    | 4х10               | відкрито    | 42            |

В цій частині робрти були розраховані навантаження та обрано основне обладнання цехової мережі Котельні (№5 на генплані підприємства).

## 2.4 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В

Виконаємо розрахунок струмів короткого замикання для ділянки С-ТП-РП2-ЕПЗ. Складемо розрахункову схему.

Складаємо схему заміщення (рисунок 2.2).

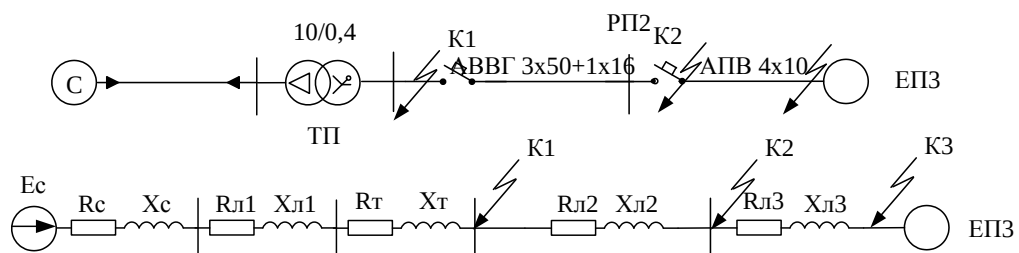


Рисунок 2.2 – Схема заміщення СЕП цеху

Номінальний коефіцієнт трансформації даної схеми буде складати:

$$t_T = \frac{U_{BH}}{U_{HH}} = \frac{10}{0,4} = 25. \quad (2.21)$$

Визначаємо опір системи:

$$Z_c = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_K} \cdot \frac{1}{t_r^2} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1}{25^2} = 1,016 \text{ (МОм)}. \quad (2.22)$$

Активний і реактивний опір системи знаходиться:

$$X_c = 0,955 \cdot Z_c = 0,955 \cdot 1,016 = 0,97 \text{ (МОм)};$$

$$R_c = 0,1 \cdot X_c = 0,1 \cdot 0,97 = 0,097 \text{ (МОм)};$$

Знаходимо опори лінії:

$$R_{L1} = r_{\text{пит}} \cdot L_1 \cdot \frac{1}{t_r^2} = 0,549 \cdot 900 \cdot \frac{1}{25^2} = 0,79 \text{ (МОм)}; \quad (2.23)$$

$$X_{L1} = x_{\text{пит}} \cdot L_1 \cdot \frac{1}{t_r^2} = 0,065 \cdot 900 \cdot \frac{1}{25^2} = 0,093 \text{ (МОм)};$$

$$R_{L2} = r_{\text{пит}} \cdot L_2 = 3,84 \cdot 40 = 153,6 \text{ (МОм)};$$

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{220}{\frac{37,82}{3} + 5,92 \cdot 40} = 0,88 \text{ (кА)};$$

$$X_{L2} = x_{\text{пит}} \cdot L_2 = 0,088 \cdot 40 = 3,52 \text{ (МОм)};$$

$$R_{L3} = r_{\text{пит}} \cdot L_3 = 6,41 \cdot 16 = 39,74 \text{ (МОм)};$$

$$X_{L3} = x_{\text{пит}} \cdot L_3 = 0,094 \cdot 16 = 0,58 \text{ (МОм)}.$$

Визначаємо опір трансформатора:

$$R_T = 3,4 \text{ (МОм)};$$

$$X_T = 13,5 \text{ (МОм)}.$$

Струми кз:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}; \quad (2.24)$$

Струм для трифазного та однофазного КЗ т. 3:

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma} &= (R_c + R_{L1} + R_T + R_{L2} + R_{L3}) + \\ &+ j(X_c + X_{L1} + X_{L2} + X_T + X_{L3}) \\ Z_{\Sigma} &= (0,097 + 0,79 + 3,4 + 153,6 + 39,74) + \\ &+ j(0,97 + 0,093 + 13,5 + 3,52 + 0,58) \\ Z_{\Sigma} &= 197,6 + j18,7 \text{ (МОм)}; \end{aligned}$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 198,5} = 1,21 \text{ (кА)}.$$

КЗ в точці 2:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 158,9} = 1,52 \text{ (кА)};$$

КЗ в точці 1:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 15,2} = 15,9 \text{ (кА)};$$

Визначимо струм однофазного КЗ:

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{\Phi, \text{НОМ}}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{\Phi-H} \cdot 1}; \quad (2.25)$$

$$Z_{\Sigma}^{(1)} = 3Z_T = 3 \cdot \frac{U_K}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{\text{НОМ.ТР}}} = 3 \cdot \frac{5,5}{100} \cdot \frac{380^2}{630} = 37,82 \text{ (Ом)}; \quad (2.26)$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{220}{\frac{37,82}{3} + 5,92 \cdot 40} = 0,88 \text{ (кА)};$$

Струм однофазного КЗ на затискачах ЕП-3:

$$I_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{U_{\Phi, \text{НОМ}}}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{\Phi-H} \cdot 1}; \quad (2.27)$$

$$I_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{220}{\frac{37,82}{3} + 5,92 \cdot 40 + 9,88 \cdot 16} = 0,54 \text{ (кА)};$$

Перевіримо чи виконується умова:





## 2.5 Розрахунок навантажень підприємства

Формули для розрахунку навантаження цехів та підприємства в цілому представлені в таблиці 2.6

Таблиця 2.6 – Послідовність формул для розрахунку навантажень

| Назва параметра                                                     | Формула                                                                                                                                                                                                                  | Приклад розрахунку для цеху №10 (Розкрійний цех)  |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Середня активна потужність силового обладнання підприємства, кВт    | $P_C = K_{\Pi} \cdot P_H$                                                                                                                                                                                                | $P_C = 0,6 \cdot 247 = 148,2$                     |
| Середня реактивна потужність силового обладнання підприємства, квар | $Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi$                                                                                                                                                                              | $Q_C = 148,2 \cdot 1,02 = 151,2$                  |
| Розрахункова активна потужність електричного освітлення, кВт        | $P_O = P_{\text{пит.о}} \cdot K_{\text{по}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot F$                                                                                                                                                | $P_O = 0,02 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 648 = 14,0$ |
| Розрахункова реактивна потужність електричного освітлення, квар     | $Q_O = P_O \cdot \operatorname{tg} \phi_O$                                                                                                                                                                               | $Q_O = 14,8 \cdot 0,43 = 6,02$                    |
| Питома густина освітлювального навантаження                         | $P_{\text{пит.о}} = 0,011 \div 0,022$                                                                                                                                                                                    | $P_{\text{пит.о}} = 0,02$                         |
| Коефіцієнт попиту освітлювального навантаження                      | $K_{\text{по}} = \begin{cases} 0,95 - \text{великі виробничі приміщення;} \\ 0,8 - \text{порівняно невеликі виробничі приміщення;} \\ 0,6 - \text{склади, підстанції;} \\ 1,0 - \text{аварійне освітлення.} \end{cases}$ |                                                   |
| Коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі          | $K_{\text{пра}} = \begin{cases} 1,1 - \text{ДРЛ;} \\ 1,2 - \text{люмінесцентні - стартерні;} \\ 1,3 - 1,35 - \text{люмінесцентні - безстартерні.} \end{cases}$                                                           |                                                   |
| Розрахункова активна потужність, кВт                                | $P_P = P_C + P_O$                                                                                                                                                                                                        | $P_P = 148,2 + 14,0 = 162,2$                      |
| Розрахункова реактивна потужність, квар                             | $Q_P = Q_C + Q_O$                                                                                                                                                                                                        | $Q_P = 151,2 + 6,02 = 157,2$                      |
| Розрахункова максимальна активна потужність усієї мережі, кВт       | $P_{P\Sigma} = K_O \left( \sum_{i=1}^N P_{Pi} + P_{Pi_i} + P_{P3} \right) + P_{O\Sigma}$                                                                                                                                 |                                                   |
| Розрахункова максимальна реактивна потужність усієї мережі, квар    | $Q_{P\Sigma} = K_O \left( \sum_{i=1}^N Q_{Pi} + Q_{Pi_i} + Q_{P3} \right)$                                                                                                                                               |                                                   |
| Сумарне навантаження підприємства, кВА                              | $S_{P\Sigma} = \sqrt{P_{P\Sigma}^2 + Q_{P\Sigma}^2}$                                                                                                                                                                     | $S_{P\Sigma} = \sqrt{162,2^2 + 157,2^2} = 225,9$  |

Використовуючи формули в таблиці 2.6 здійснюємо розрахунок навантажень підприємства за допомогою Excel, а результати зводимо у таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок електричних навантажень підприємства

| №  | Назва цеху              | Силове навантаження |                |                |                |             |              | Освітлювальне навантаження |                                            |                 |                  |             | Сумарне навантаження |              |             |
|----|-------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|--------------|----------------------------|--------------------------------------------|-----------------|------------------|-------------|----------------------|--------------|-------------|
|    |                         | $P_n$ , кВт         | $K_{\text{п}}$ | $\cos \varphi$ | $\tan \varphi$ | $P_c$ , кВт | $Q_c$ , квар | $F, \text{м}^2$            | $\Gamma_{\text{п.т.}}$ , Вт/м <sup>2</sup> | $K_{\text{по}}$ | $K_{\text{пра}}$ | $P_o$ , кВт | $P_p$ , кВт          | $Q_p$ , квар | $S_p$ , кВА |
| 1  | Склад готової продукції | 18,4                | 0,4            | 0,8            | 0,75           | 7,4         | 5,5          | 360                        | 0,01                                       | 0,60            | 1                | 2,2         | 9,5                  | 6,4          | 11,5        |
| 2  | Цех №5 (пошив           | 148                 | 0,4            | 0,6            | 1,33           | 59,2        | 78,9         | 360                        | 0,02                                       | 0,95            | 1                | 6,8         | 66,0                 | 81,9         | 105,2       |
| 3  | Експериментальний       | 33,9                | 0,5            | 0,7            | 1,02           | 17,0        | 17,3         | 324                        | 0,02                                       | 0,95            | 1                | 6,2         | 23,1                 | 19,9         | 30,5        |
| 4  | Цех підготовки          | 67                  | 0,4            | 0,6            | 1,33           | 26,8        | 35,7         | 576                        | 0,02                                       | 0,95            | 1                | 10,9        | 37,7                 | 40,4         | 55,3        |
| 5  | Котельня                |                     |                |                |                | 214,8       | 238,7        | 540                        | 0,02                                       | 0,80            | 1                | 8,6         | 223,4                | 242,4        | 329,7       |
| 6  | Транспортна прохідна    | 2,6                 | 0,4            | 0,7            | 1,02           | 1,0         | 1,1          | 135                        | 0,01                                       | 0,80            | 1                | 1,1         | 2,1                  | 1,5          | 2,6         |
| 7  | Адмін. Корпус           | 27,5                | 0,6            | 0,7            | 1,02           | 16,5        | 16,8         | 324                        | 0,01                                       | 0,90            | 1                | 2,9         | 19,4                 | 18,1         | 26,5        |
| 8  | Склад фурнітури         | 38                  | 0,4            | 0,5            | 1,73           | 15,2        | 26,3         | 180                        | 0,01                                       | 0,65            | 1                | 1,2         | 16,4                 | 26,8         | 31,4        |
| 9  | Гуртожиток              | 23                  | 0,6            | 0,7            | 1,02           | 13,8        | 14,1         | 693                        | 0,01                                       | 0,85            | 1                | 5,9         | 19,7                 | 16,6         | 25,8        |
| 10 | Розкрійний цех          | 247                 | 0,6            | 0,7            | 1,02           | 148,2       | 151,2        | 648                        | 0,02                                       | 0,90            | 1,2              | 14,0        | 162,2                | 157,2        | 225,9       |
| 11 | Склад готової продукції | 135                 | 0,4            | 0,8            | 0,75           | 54,0        | 40,5         | 756                        | 0,02                                       | 0,90            | 1,2              | 16,3        | 70,3                 | 47,5         | 84,9        |
| 12 | Столова, заготівельна   | 248                 | 0,6            | 0,6            | 1,33           | 148,8       | 198,4        | 432                        | 0,02                                       | 0,90            | 1,2              | 9,3         | 158,1                | 202,4        | 256,9       |
|    | Всього по підприємству  | 988,4               |                |                |                | 722,6       | 824,5        | 5328                       |                                            |                 |                  | 85,45       | 771,97               | 818,25       | 1124,93     |

## 2.6 Вибір оптимальної напруги живлення

Для того, щоб визначити клас оптимальної напруги, якої буде здійснено живлення підприємства беручи до уваги такі параметри підприємства, як потужність споживання а також довжина кабельної лінії від ТП підприємства до живлячої підстанції необхідно використати наступну формулу:

$$U_{\text{ек}} = 4,34 \sqrt{L + 16 \cdot P_p}, \quad (2.17)$$

Формулу доцільно використати при проектних умовах коли  $L \leq 250$  км, а  $P_p \leq 60$  МВт [12].

Отже значення економічної напруги буде рівним:

$$U_{\text{ек}} = 4,34 \sqrt{3,0 + 16 \cdot 0,772} = 17,0 \text{ (кВ)}.$$

Вибираємо два класи стандартних напруг, по нижньому значенню 10 кВ від довжиною лінії 3,0 км та по вищому значенню 35 кВ від ПС довжиною лінії 3 км. Вибір оптимальнішого варіанту буде полягати у врахуванні витрат, пов'язаних з капітальними інвестиціями, витратами на технічне обслуговування.

## 2.7 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення

Для цього розрахунку необхідно вибрати обладнання. Цей вибір здійснюється за значенням допустимого струму лінії, для чого знаходиться значення розрахункового струму лінії живлення для розрахункового навантаження і класу напруги:

$$I_p = \frac{S_p / 2}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}} \text{ (A)}, \quad (2.18)$$

$$I_{p35} = \frac{1124,93 / 2}{\sqrt{3} \cdot 35} = 9,28 \text{ (A)},$$

$$I_{p10} = \frac{1124,93 / 2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 32,47 \text{ (A)}.$$

Для КЛ на напрузі 10 кВ доцільно приймаємо кабель з ізоляцією ЗШП типу АПвЭгаПу-10 3×35 так, як даний переріз являється мінімальним для даного класу напруги [16], допустимий струм при прокладанні у землі  $119 \text{ A} > 32,47 \text{ A}$ .

А для КЛ 35 кВ приймаємо кабель з ізоляцією ЗШП типу АПвЭгаПу-35 3х50 так, як даний переріз являється мінімальним для даного класу напруги, допустимий струм складає  $140 \text{ A} > 9,28 \text{ A}$ .

Визначення капітальних інвестицій представлено у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Розрахунок капітальних вкладень для обох варіантів

| Перелік елементів схем        | Вартість                | 10 кВ     |          | 35 кВ     |          |
|-------------------------------|-------------------------|-----------|----------|-----------|----------|
|                               |                         | Кількість | Вартість | Кількість | Вартість |
| Лінії електропередавання, км  | тис.грн. за 1 км КЛ     | км        | тис.грн. | км        | тис.грн. |
| КЛ 10 кВ АПвЭгаПу 3×35        | 419,00                  | 6         | 2514,00  |           |          |
| КЛ 35 кВ АПвЭгаПу 3×50        | 592,20                  |           |          | 6         | 3553,19  |
| ВСЬОГО по лініях              |                         |           | 2514,00  |           | 3553,19  |
| Підстанції                    | тис.грн. за одиницю ПС. | штук      | тис.грн. | штук      | тис.грн. |
| Спорудження ПС 35 кВ 630 кВ*А | 462                     |           |          | 2         | 924      |
| Розширення РП-10 кВ           | 12,7                    | 2         | 25,4     |           |          |
| Спорудження РП-10 кВ          | 86,4                    | 1         | 86,4     |           |          |
| ВСЬОГО по ПС                  |                         |           | 111,8    |           | 924      |
| ВСЬОГО                        |                         |           | 2625,80  |           | 4477,19  |

Для визначення величини втрат електроенергії використовується наступне рівняння з урахуванням параметрів джерела живлення.:

$$\Delta W_a = \Delta P_m \cdot \tau = 3I_m^2 R_e \cdot 10^{-3} \cdot \tau \text{ (кВт}\cdot\text{год/рік)}; \quad (2.19)$$

Тоді величина втрат в лінях живлення відносно класу напруги становитиме:

$$C_{\Delta W_{10}} = 2 \cdot 3 \cdot 32,47^2 \cdot 0,868 \cdot 3,0 \cdot 10^{-6} \cdot 2886,21 \cdot 6,649 = 158,09 \text{ (тис.грн./рік)},$$

$$C_{\Delta W_{35}} = 2 \cdot 3 \cdot 9,28^2 \cdot 0,641 \cdot 3,0 \cdot 10^{-6} \cdot 2886,21 \cdot 5,195 = 7,45 \text{ (тис.грн./рік)}.$$

Для подальшого розрахунку необхідно визначити річні витрати відповідно варіанту класу напруги таблиця 2.9.

Таблиця 2.9 – Витрати протягом року обох варіантів

| Перелік поточних витрат                                            | Варіанти |        |
|--------------------------------------------------------------------|----------|--------|
|                                                                    | 10 кВ    | 35 кВ  |
| Щорічні витрати на технічне обслуговування і ремонт, в тому числі: |          |        |
| ПЛ – 35 кВ, 1,2% від К                                             |          | 42,64  |
| ПЛ 10 кВ, 3,8% від К                                               | 60,34    |        |
| ПС 35 кВ, 2,4% від К                                               |          | 22,18  |
| ПС 10 кВ, 4,3% від К                                               | 112,91   |        |
| Всього щорічні витрати на обслуговування, ВО тис.грн.              | 173,25   | 64,81  |
| Амортизація, в тому числі:                                         |          |        |
| ПЛ – 35 кВ, 2% від К                                               |          | 71,06  |
| ПЛ 10 кВ, 3% від К                                                 | 50,28    |        |
| ПС 35 кВ, 3,6% від К                                               |          | 161,18 |
| ПС 10 кВ, 3,6% від К                                               | 94,53    |        |
| Всього щорічні витрати на амортизацію, Ва тис.грн.                 | 144,81   | 232,24 |
| Тариф на ЕЕ, грн./кВт*год                                          | 6,649    | 5,195  |
| Вартість втрат електроенергії в ЛЕП, ВΔW тис.грн.                  | 158,09   | 7,45   |
| ВСЬОГО щорічні витрати (В) тис.грн.                                | 476,15   | 304,50 |

Загальні зведені річні витрати розраховуються за наступним співвідношенням:

$$З = E_H \cdot K + B; \quad (2.20)$$

Враховуємо різницю на оплату електроенергії протягом року відносно об'єму спожитої підприємством енергії [15] (6,649–5,195=1,454 грн./кВт·год.) тоді загальна переплата за спожиту електроенергію буде 1,454·771,97·4500= 5050,999 тис.грн./рік, при цьому зведені річні витрати будуть рівні:

$$З_{10} = 0,1 \cdot 2625,8 + 476,15 + 5050,999 = 5789,73 \text{ (тис.грн.)},$$

$$З_{110} = 0,1 \cdot 4477,19 + 304,5 = 752,22 \text{ (тис.грн.)},$$

Враховуючи вартість капітальних інвестицій та щорічні витрати, період окупності додаткових капітальних інвестицій складає такий термін:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{B_1 - B_2} = \frac{4477,19 - 2625,8}{(476,15 + 5050,999) - 304,5} = 0,95 \text{ (років)}. \quad (2.21)$$

Порівняльні розрахунки між двома варіантами показують, що варіант, де зовнішня лінія електропередачі розрахована на напругу 35 кВ, є більш вигідним. Однак необхідно враховувати, що підприємство розташоване в забудові м. Вінниця. При цьому приймається остаточне рішення проектувати електропостачання на напругу 10 кВ, оскільки поблизу підприємства вже є підстанція 10 кВ, від якої підприємство може отримати задовольнити потреби споживаного навантаження.

## 2.8 Вибір і розміщення цехових ТП

Значення густини питомого навантаження на 1 м<sup>2</sup> площі цеху [10]:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}}; \quad (2.22)$$

Повна розрахункова потужність всіх цехів підприємства:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n S_{Pi} = 1124,93 \text{ (кВА)}.$$

Сумарна площа всіх цехів підприємства:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n F_i = 5328 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Значення питомої густини навантаження підприємства на 1 м<sup>2</sup> площі цехів:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{1124,93}{5328} = 0,19 \text{ (кВ} \cdot \text{А/м}^2\text{)}.$$

Для даної густини доцільно обрати трансформаторні підстанції з номінальною потужністю  $S_{\text{ном.т.}} = 1000$ .

Враховуючи, що у разі виходу з ладу системи електропостачання підприємством буде пронесено значні збитки пов'язані із недовідпуском продукції доцільно здійснити живлення підприємства двома незалежними лініями живлення, а

в якості ТП використати двотрансформаторні підстанції такої потужності, щоб в ситуації виходу з ладу одного трансформатора, трансформатор яки залишиться в роботі зможе взяти навантаження підприємства на себе на час ремонту. Таке виконання СЕП підвищить надійність і мінімізує збитки пов'язані з недовідпуском продукції із за ремонтного простою СЕП:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{1124,93}{2 \cdot 1000 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 0,66 \div 0,7 \text{ (шт.)};$$

Отже, щоб задовольнити виробничі потужності підприємства необхідно в СЕП використати одну двотрансформаторну підстанції з потужністю 2х1000 кВА [17].

Дані про фактичний коефіцієнт завантаження приведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

| № цеху              | Назва цеху                                  | Pr, кВт       | Qp, кВАp      | Sp, кВА        | St, кВА     | N, шт.   | Kз, в.о.    |
|---------------------|---------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|-------------|----------|-------------|
| 1                   | Склад готової продукції                     | 9,52          | 6,45          | 11,50          |             |          |             |
| 2                   | Цех №5 (пошив піджаків)                     | 66,04         | 81,87         | 105,19         |             |          |             |
| 3                   | Експериментальний цех                       | 23,11         | 19,94         | 30,52          |             |          |             |
| 4                   | Цех підготовки сировини                     | 37,74         | 40,44         | 55,32          |             |          |             |
| 5                   | Котельня                                    | 223,44        | 242,42        | 329,68         |             |          |             |
| 6                   | Транспортна прохідна                        | 2,12          | 1,53          | 2,61           |             |          |             |
| 7                   | Адмін. Корпус                               | 19,42         | 18,09         | 26,54          |             |          |             |
| 8                   | Склад фурнітури                             | 16,37         | 26,83         | 31,43          |             |          |             |
| 9                   | Гуртожиток                                  | 19,69         | 16,61         | 25,76          |             |          |             |
| 10                  | Розкрійний цех                              | 162,20        | 157,21        | 225,88         |             |          |             |
| 11                  | Склад готової продукції                     | 70,33         | 47,52         | 84,88          |             |          |             |
| 12                  | Столова ,заготівельна секція. Лінія «Пілот» | 158,13        | 202,41        | 256,86         |             |          |             |
| <b>Всього по ТП</b> |                                             | <b>808,10</b> | <b>861,32</b> | <b>1181,06</b> | <b>1000</b> | <b>2</b> | <b>0,59</b> |

Значення коефіцієнта завантаження трансформаторів 1000 кВА рівне 0,59, дане значення незначне і значно менше нормованого 0,8. При використанні трансформаторів 630 кВА значення коефіцієнту завантаження складе 0,94. Отже доцільніше використати трансформатори потужністю 1000 кВА так як це дає можливість подальшого розвитку підприємства шляхом збільшення виробничих потужностей без додаткових капіталовкладень в збільшення потужності підстанцій.

Місце розташування цехових ТП можна визначити за наступними формулами:



$$X_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}, \quad Y_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}; \quad (2.24)$$

Результат даного розрахунку дозволяє наочно оцінити ефективність розташування ТП та характеру навантаження, окремо на освітлення та обладнання.

Дані для даного розрахунку беремо з таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Координати розміщення ЕП

| №  | Цех                                         | ТП | Рр, кВт  | X, м      | Y, м      | Рр*X, кВт*м  | Рр*Y, кВт*м  |
|----|---------------------------------------------|----|----------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| 1  | Склад готової продукції                     | 1  | 9,52     | 51        | 23        | 485,52       | 218,96       |
| 2  | Цех №5 (пошив піджаків)                     | 1  | 66,04    | 39        | 23        | 2575,56      | 1518,92      |
| 3  | Експериментальний цех                       | 1  | 23,11    | 73        | 20        | 1686,74      | 462,12       |
| 2  | Цех підготовки сировини                     | 1  | 37,74    | 13        | 54        | 490,67       | 2038,18      |
| 5  | Котельня                                    | 1  | 223,44   | 108       | 15        | 24131,52     | 3351,60      |
| 6  | Транспортна прохідна                        | 1  | 2,12     | 158       | 10        | 334,96       | 21,20        |
| 7  | Адмін. Корпус                               | 0  | 19,42    | 179       | 42        | 3475,46      | 815,47       |
| 8  | Склад фурнітури                             | 0  | 16,37    | 73        | 57        | 1195,01      | 933,09       |
| 9  | Гуртожиток                                  | 1  | 19,69    | 55        | 74        | 1082,98      | 1457,10      |
| 10 | Розкрійний цех                              | 1  | 162,20   | 96        | 77        | 15570,89     | 12489,15     |
| 11 | Склад готової продукції                     | 1  | 70,33    | 127       | 84        | 8931,86      | 5907,69      |
| 12 | Столова, заготівельна секція. Лінія «Пілот» | 1  | 158,13   | 150       | 92        | 23719,68     | 14548,07     |
|    |                                             |    | ΣРр, кВт | ΣРр*X/ΣРр | ΣРр*Y/ΣРр | ΣРр*X, кВт*м | ΣРр*Y, кВт*м |
|    | Сумарно по ТП1                              |    | 772,32   | 102,30    | 54,40     | 79010,38     | 42012,98     |

Не завжди можливо розмістити трансформаторні підстанції в оптимальних координатах і з оптимальним потоком електроенергії. Оптимальному розташуванню можуть перешкоджати будівлі, дороги або лінії різного роду комунікацій. Тому розміщуємо підстанцію якомога ближче до оптимальних координат і враховуємо при цьому ситуацію із забудовою території підприємства. Вибір оптимальних координат для розташування підстанції:

$$X_{\text{ТП}} = \frac{79010,8}{772,32} = 102,3 \text{ (м)};$$

$$Y_{\text{ТП}} = \frac{42012,98}{772,32} = 54,4 \text{ (м)}.$$

Радіус кола для картограми навантаження пропорційно навантаженню цеху буде з виразу:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m_p}}; \quad (2.25)$$

Величина сектору, яке характеризує освітлювальне навантаження цеху:

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{Oi}}{P_{Pi}}; \quad (2.26)$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Дані для побудови картограми навантажень

| №  | Цех                                         | X, м | Y, м | P <sub>p</sub> , кВт | P <sub>o</sub> , кВт | r, м  | α°    | d, м  |
|----|---------------------------------------------|------|------|----------------------|----------------------|-------|-------|-------|
| 1  | Склад готової продукції                     | 51   | 23   | 9,52                 | 2,16                 | 3,89  | 81,7  | 7,79  |
| 2  | Цех №5 (пошив піджаків)                     | 39   | 23   | 66,04                | 6,84                 | 10,25 | 37,3  | 20,51 |
| 3  | Експериментальний цех                       | 73   | 20   | 23,11                | 6,16                 | 6,07  | 95,9  | 12,13 |
| 4  | Цех підготовки сировини                     | 13   | 54   | 37,74                | 10,94                | 7,75  | 104,4 | 15,51 |
| 5  | Котельна                                    | 108  | 15   | 223,44               | 8,64                 | 18,86 | 13,9  | 37,73 |
| 6  | Транспортна прохідна                        | 158  | 10   | 2,12                 | 1,08                 | 1,84  | 183,4 | 3,67  |
| 7  | Адмін. Корпус                               | 179  | 42   | 19,42                | 2,92                 | 5,56  | 54,1  | 11,12 |
| 8  | Склад фурнітури                             | 73   | 57   | 16,37                | 1,17                 | 5,11  | 25,7  | 10,21 |
| 9  | Гуртожиток                                  | 55   | 74   | 19,69                | 5,89                 | 5,60  | 107,7 | 11,20 |
| 10 | Розкрійний цех                              | 96   | 77   | 162,20               | 14,00                | 16,07 | 31,1  | 32,14 |
| 11 | Склад готової продукції                     | 127  | 84   | 70,33                | 16,33                | 10,58 | 83,6  | 21,17 |
| 12 | Столова, заготівельна секція. Лінія «Пілот» | 150  | 92   | 158,13               | 9,33                 | 15,87 | 21,2  | 31,74 |

На рисунку 2.4 представлено Генплан підприємства з силовими мережами.

## 2.9 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

Згідно з [1], електрообладнання слід вибирати відповідно до типу установки, номінального струму та номінальної напруги, а також випробовувати на термічну та динамічну стійкість в аварійних режимах роботи.

Високовольтні вимикачі обирають за номінальною напругою та номінальним струмом з урахуванням їх здатності витримувати значення струму короткого замикання:

$$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.мережі}}; \quad (2.27)$$

$$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{мах}}; \quad (2.28)$$

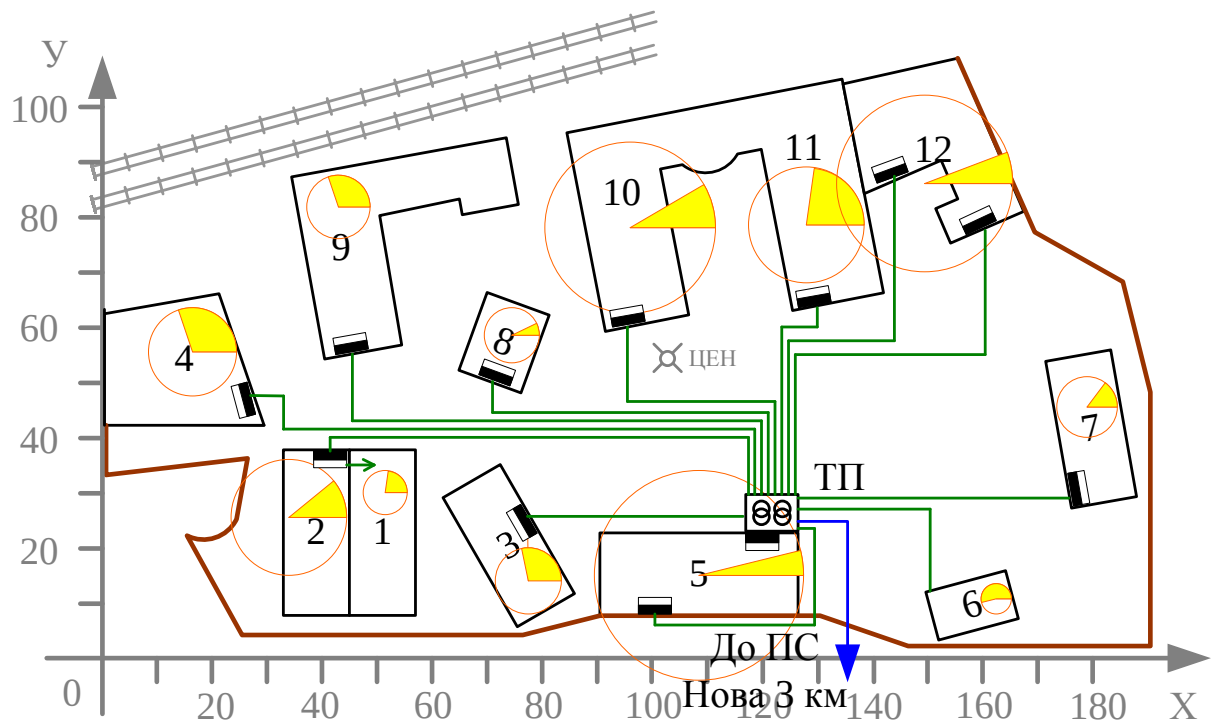


Рисунок 2.4 – Генеральний план підприємства

Визначимо  $I_{\max}$  для нормального режиму роботи ТП:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1124,93}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 32,5 \text{ (A)} ;$$

$$I_{pa} = \frac{S_p \cdot k_{\text{н.па}}}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1124,93}{\sqrt{3} \cdot 10} = 65 \text{ (A)} ;$$

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 80,8 \text{ (A)}.$$

Н лініях 10 кВ доцільно задіяти вакуумні вимикачі типу ВРС-10-20/630 [18]. Номінальний струм яких рівний  $I_{\text{ном.в}} = 630 \text{ A} > I_{\text{м.ав}} = 80,8$  що більше розрахункового значення.

Для живлення підприємства раніше було обрано типу АПвЭгаПу-10 3х35 [16] прокладені в землі.

Перевірка допустимого нагрівання з урахування умов прокладки [12]:

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}} ; \quad (2.29)$$

де  $k_1 - k_6$  - коефіцієнти, що характеризують умови прокладання кабелю [12];

$$80,8 (A) \leq 1,07 \cdot 0,95 \cdot 1,32 \cdot 0,69 \cdot 1,0 \cdot 0,98 \cdot 119 = 107,97 (A5).$$

Дана умова перевірки за допустимим нагрівом виконується.

У таблиці 2.14 представлена інформація про типи вимикачів і ліній електропередачі в залежності від типу підключення.

Таблиця 2.14 – Захисні апарати та лінії живлення СЕП

| Лінія              | Sp, кВА | Ip, А | Вимикач            | Іном, А | Провідник   | S, мм <sup>2</sup> | Ідоп, А |
|--------------------|---------|-------|--------------------|---------|-------------|--------------------|---------|
| ПС-ТП              | 1124,9  | 80,8  | ВРС-10             | 630     | АПвЭгаІу-10 | 3х35               | 119     |
| ТП-ГРП цеху №2     | 105,2   | 151,8 | EB2 400/3E 225A 3p | 225     | АВВГ        | 3х50+1х16          | 240     |
| ГРП цеху №2-цех №1 | 11,5    | 16,6  | EB 100/3L 25A 3p   | 25      | АВВГ        | 3х4+1х2,5          | 37      |
| ТП-ГРП цеху №3     | 30,5    | 44,02 | EB 100/3L 63A 3p   | 63      | АВВГ        | 3х16+1х10          | 77      |
| 370ТП-ГРП цеху №4  | 55,3    | 79,82 | EB 100/3L 63A 3p   | 63      | АВВГ        | 3х16+1х10          | 77      |
| ТП-РП1 цеху №5     | 225,9   | 343,2 | EB2 600/3E 350A 3p | 350     | АВВГ        | 3х150+1х70         | 370     |
| ТП-РП2 цеху №5     | 134,6   | 192,8 | EB2 400/3E 225A 3p | 225     | АВВГ        | 3х50+1х16          | 240     |
| ТП – цех №6        | 2,6     | 3,753 | EB 100/3L 16A 3p   | 16      | АВВГ        | 3х4+1х2,5          | 37      |
| ТП-ГРП цеху №7     | 26,5    | 38,25 | EB 100/3L 50A 3p   | 50      | АВВГ        | 3х10+1х6           | 59      |
| ТП-ГРП цеху №8     | 31,4    | 45,32 | EB 100/3L 63A 3p   | 63      | АВВГ        | 3х16+1х10          | 77      |
| ТП-ГРП цеху №9     | 25,7    | 37,09 | EB 100/3L 50A 3p   | 50      | АВВГ        | 3х10+1х6           | 59      |
| ТП-РП-1 цеху №10   | 112,9   | 163   | EB 100/3L 100A 3p  | 100     | АВВГ        | 3х35+1х16          | 123     |
| ТП-РП-2 цеху №10   | 112,9   | 163   | EB 100/3L 100A 3p  | 100     | АВВГ        | 3х35+1х16          | 123     |
| ТП-ГРП цеху №11    | 42,4    | 61,2  | EB 100/3L 63A 3p   | 63      | АВВГ        | 3х16+1х10          | 77      |
| ТП-РП1 цеху №12    | 128,4   | 185,3 | EB2 400/3E 225A 3p | 225     | АВВГ        | 3х50+1х16          | 240     |
| ТП-РП2 цеху №12    | 128,4   | 185,3 | EB2 400/3E 225A 3p | 225     | АВВГ        | 3х50+1х16          | 240     |

СЕП зображена на генплані підприємства показана на рисунку 2.7.

Схема мережі складається з двох ліній живлення, так що якщо одна лінія електропередач виходить з ладу, підприємство може отримати необхідну потужність від іншої лінії, на період ремонту першої.

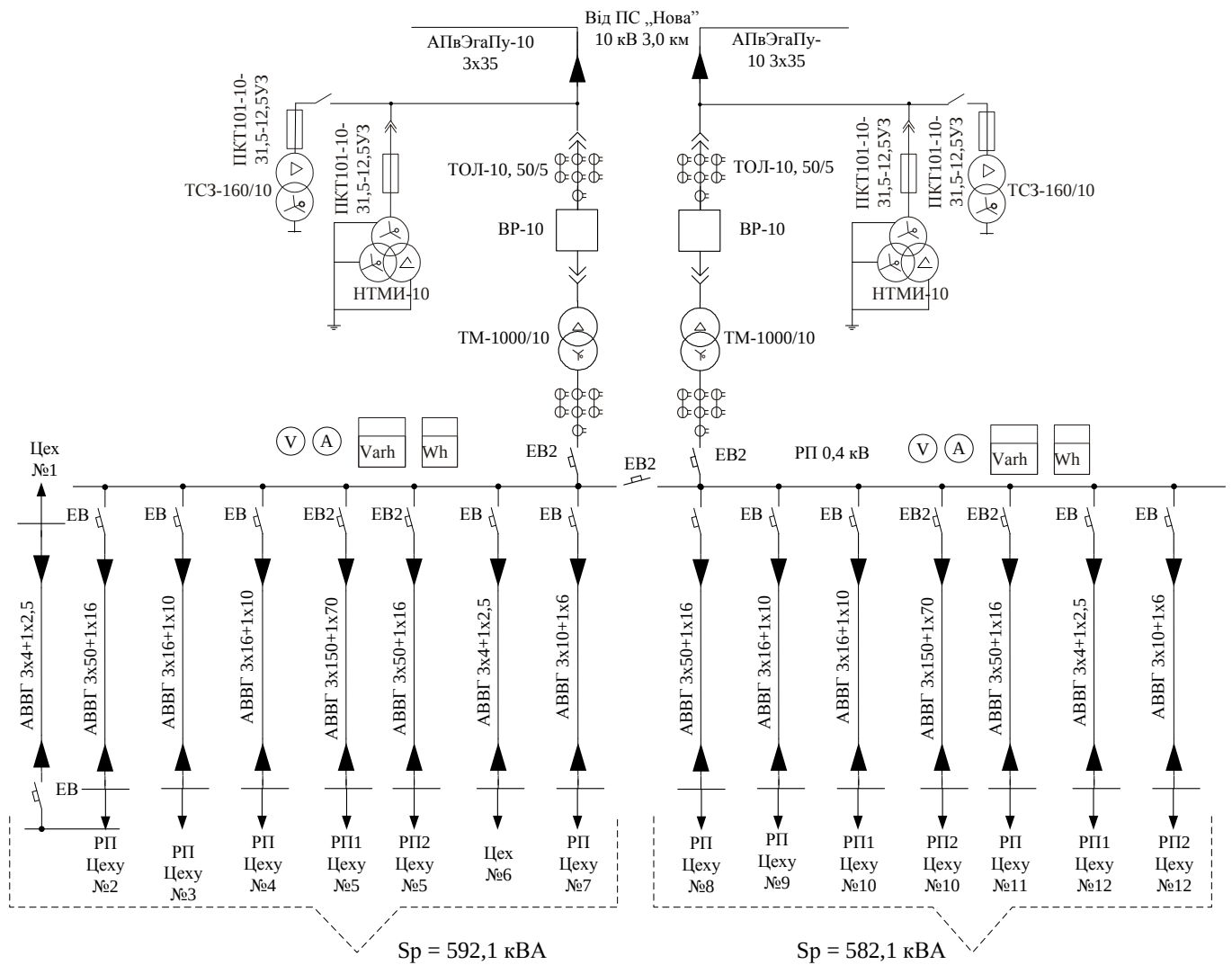


Рисунок 2.7 – Схема внутрішньозаводського електропостачання

## 2.10 Розрахунок струмів КЗ загальнозаводської мережі

Для виконання необхідної перевірки попередньо обраного високовольтного вимикача та обраної лінії електропередачі виконується розрахунок струму короткого замикання [9]. Розрахункова схема для цього розрахунку наведена на рисунку 2.8.

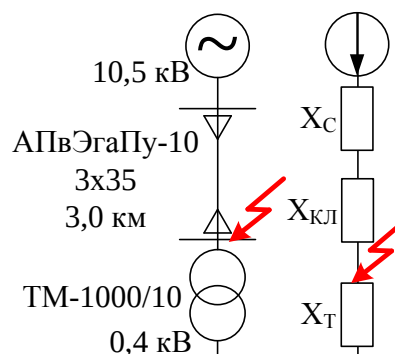


Рисунок 2.8 – Розрахункова та заступна схеми

Формули та результати розрахунку струмів КЗ приведені в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Формули для розрахунку струмів КЗ

| Назва параметра                                                       | Формула                                                                            | Розрахунок                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Опір системи, Ом                                                      | $X_c = \frac{U_{c.н.}}{\sqrt{3} \cdot I_K}$                                        | $X_c = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 27130} = 0,223$                          |
| Опір лінії живлення, Ом                                               | $X_{л} = X_0 I \left( \frac{U_{c.н.}}{U_{c.н.л}} \right)^2$                        | $X_{л} = 0,868 \cdot 3,0 \cdot \left( \frac{10,5}{10} \right)^2 = 2,871$              |
| Сумарний опір від системи до точки К, Ом                              | $X_{\Sigma} = X_c + X_{л}$                                                         | $X_{\Sigma} = 0,223 + 2,871 = 3,094$                                                  |
| Періодична складова струму трифазного КЗ в початковий момент часу, кА | $I_{п0} = \frac{U_{c.н.}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}}$                              | $I_{п0} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,094} = 1,96$                                   |
| Постійна часу затухання аперіодичної складової струму, с              | $T_{ac} = \frac{X_{\Sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{\Sigma}}$                 | $T_{ac} = \frac{5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5} = 0,032$                          |
| Час вимкнення КЗ, с                                                   | $t_{вим} = t_{рз. min} + t_{в.в.}$                                                 | $t_{вим} = 0,5 + 0,1 = 0,6$                                                           |
| Аперіодична складова струму КЗ                                        | $i_{ат.С} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot e^{\frac{-t_{вим}}{T_{ac}}}$               | $i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 1,96 \cdot e^{\frac{-0,6}{0,032}} = 0,375$                   |
| Ударний струм КЗ, кА                                                  | $i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot \left( 1 + e^{\frac{-\tau}{T_{ac}}} \right)$ | $i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,96 \cdot \left( 1 + e^{\frac{-0,01}{0,032}} \right) = 4,8$ |
| Тепловий імпульс, $кА^2 \cdot с$                                      | $B_K = I_{ПО}^2 \cdot (t_{від} + T_{ac})$                                          | $B_K = 1,96^2 \cdot (0,6 + 0,032) = 2,4$                                              |

Згідно [9] виконуємо необхідні перевірки вимикачів ВРС-10 на відповідність необхідним параметрам роботи. Результати перевірок показано в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Формули для перевірки обраного типу вимикачів

| Умова вибору                                                                                                  | Номінальні параметри                                                           | Розрахункові параметри               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| $I_{ном.від} = I_{Пт.}$                                                                                       | $I_{ном.від} = 40 \text{ кА}$                                                  | $I_{Пт} = I_{ПтС} = 1,96 \text{ кА}$ |
| $\sqrt{2} \cdot I_{ном.від} \cdot \left( 1 + \frac{\beta_H}{100} \right) \geq \sqrt{2} \cdot I_{Пт} + i_{ат}$ | $\sqrt{2} \cdot 40 \cdot \left( 1 + \frac{21}{100} \right) = 68,45 \text{ кА}$ | $\sqrt{2} \cdot 1,96 + 0,375 = 3,15$ |
| $i_{дин} \geq i_{уд}$                                                                                         | $i_{дин} = 128 \text{ кА}$                                                     | $i_{уд.С} = 4,8 \text{ кА}$          |
| $I_{дин} \geq I_{ПО}$                                                                                         | $I_{дин} = 40 \text{ кА}$                                                      | $I_{ПО} = 1,96 \text{ кА}$           |
| $I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$                                                                                    | $I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 4 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot с$                   | $B_K = 2,4 \text{ кА}^2 \cdot с$     |

Отже необхідні умови перевірки силових вимикачів виконуються.

Переріз КЛ за термічною стійкістю до дії струмів КЗ [10]:

$$s \geq s_{\min} = \frac{I_K \sqrt{t_{вим}}}{C_T}; \quad (2.30)$$

$$s = 35 \text{ (мм}^2\text{)} \geq s_{\min} = \frac{1,96 \sqrt{0,6}}{94} = 16,1 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

В результаті бачимо, що обрані кабельні лінії задовольняють вимогам щодо термостійкості до струмів короткого замикання.

В даному розділі бакалаврської роботи проведено аналіз СЕП підприємства ПАТ «Володарка». В ході виконання завдання були реалізовані наступні проектні рішення:

- Спроектовано та розраховано систему електропостачання одного з цехів та всіх виробничих об'єктів підприємства;
- Проведено вибір величини напруги для зовнішньої ліній електропостачання на основі порівняння двох варіантів;
- Обрано потужність та місце розташування підстанції;
- Обрано переріз лінії електропередач 0,4 кВ;
- Обрано апарати захисту електроустановок та ліній електропередач.



## 3 ВИКОРИСТАННЯ СТАТКОМ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОСТІ

### 3.1 Основні властивості СТАТКОМ

Прогрес в області електропостачання в розвинених країнах спрямований на впровадження в електроенергетику технології Smart Grid для досягнення надійного, стабільного та ефективного енергопостачання за допомогою використання принципу гнучкої взаємодії між усіма видами генерації, електромережею та споживачами на основі єдиної інтелектуальної ієрархічної системи управління. Дана система управління досягається шляхом використання сучасної силової та інформаційної електроніки, які дозволяють забезпечити технічну, економічну ефективність та оптимальне управління енергосистемою [12].

Статичний синхронний компенсатор (СТАТКОМ) також static synchronous compensator (STATCOM) - це пристрій на основі статичного перетворювача, який працює як статичний компенсатор реактивної потужності, ємнісний або індуктивний вихідний струм якого може змінюватися незалежно від напруги мережі змінного струму [16].

STATCOM можуть бути використані для вирішення наступних завдань:

- стабілізація та регулювання напруги;
- КРП;
- симетрування навантаження;
- згладжування графіків навантаження при наявності накопичувачів енергії великої потужності на стороні випрямленої напруги.

STATCOM здійснює регулювання реактивної потужності в широких межах ( $\pm 100\%$ ), в режимах споживання і генерування реактивної потужності має відносно високу швидкість роботи, в одночас має відносно малі габарити конструкції та може бути використаним практично в будь-яких електричних мережах. STATCOM можна використовувати для збільшення пропускної здатності мережі та оптимізації потоку електроенергії, а також для регулювання напруги [15].

Розроблені різноманітні схеми реалізації STATCOM. Загальна схема заміщення STATCOM представлена на рисунку 3.1 [16].

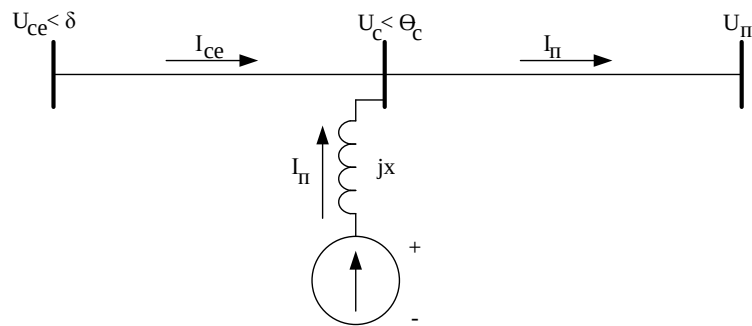


Рисунок 3.1 – Схема заміщення STATCOM при підключенні до електричної мережі

Активна і реактивна потужність мережі визначаються виразами:

$$P = \frac{U_{ce} \cdot U_{\pi}}{X_t} \cdot \sin \delta_{\pi}; \quad (3.1)$$

$$Q = \frac{U_{ce} \cdot (U_{ce} - U_{\pi} \cdot \cos \delta_{\pi})}{X_t}. \quad (3.2)$$

Вихідний струм перетворювача:

$$I_{\pi} = \frac{U_{\pi} - U_c}{jX_t}. \quad (3.3)$$

У трифазній мережі:

$$\dot{U} = \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}; \quad \dot{U} = \begin{bmatrix} U_{ап} \\ U_{бп} \\ U_{сп} \end{bmatrix}; \quad \dot{I} = \begin{bmatrix} I_{ап} \\ I_{бп} \\ I_{сп} \end{bmatrix}. \quad (3.4)$$

Повна потужність, що видається STATCOM:

$$S = \dot{U}_c \cdot \dot{I}_{\pi} = \frac{\dot{U}_c \cdot (\dot{U}_{\pi}^* - \dot{U}_c^*)}{-jX_t} = \frac{\dot{U}_c \cdot \dot{U}_{\pi}^* - \dot{U}_c^2}{-jX_t}. \quad (3.5)$$

Для активної і реактивної потужності отримаємо:

$$P_{\pi} = \frac{-U_c \cdot U_{\pi} \cdot \sin(\theta_c - \theta_{\pi})}{X_t}; \quad (3.6)$$

$$Q_{\pi} = \frac{U_c \cdot (U_{\pi} \cdot \cos(\theta_c - \theta_{\pi}) - U_c)}{X_t}. \quad (3.7)$$

Прийнявши, що струм, який подається від STATCOM в мережу, залежить від різниці напруг між мережею і самим STATCOM матимемо:

$$\dot{U} - \dot{U}_{\pi} = R_{\pi} \cdot I_{\pi} + L_{\pi} \frac{di_{\pi}}{dx}; \quad (3.8)$$

$$\dot{U}^{(d,q)} \cdot e^{j\gamma} - \dot{U}_{\pi}^{(d,q)} \cdot e^{j\gamma} = R_{\pi} \cdot I_{\pi}^{(d,q)} \cdot e^{j\gamma} + L_{\pi} \frac{d}{dx} \cdot (I_{\pi}^{(d,q)} \cdot e^{j\gamma}); \quad (3.9)$$

$$U_d - U_{nd} = R_{\pi} \cdot I_{nd} + L_{\pi} \frac{dI_{nd}}{dx} - L_{\pi} \cdot \omega \cdot I_{nq}. \quad (3.10)$$

Математична модель роботи STATCOM має вигляд:

$$\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} I_{nd} \\ I_{nq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R_{\pi}}{L_{\pi}} & \omega \\ -\omega & \frac{-R_{\pi}}{L_{\pi}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{nd} \\ I_{nq} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_{\pi}} \begin{bmatrix} U_d & -U_{nd} \\ U_q & -U_{nq} \end{bmatrix}. \quad (3.11)$$

STATCOM має певні відмінності порівняно зі статичними компенсаторами реактивної потужності (СКРП) та найбільш широко використовуваними статичних тиристорних компенсаторів (СТК) покращеною функціональністю, вищою швидкістю і кращими динамічними характеристиками.

Основна перевага STATCOM полягає в тому, що вони можуть генерувати струми будь-якої фази відносно напруги мережі, регулюючи рівень напруги шляхом зміни величини і знака реактивної потужності, що споживається або подається в мережу, тобто є швидкодіючим джерелом індуктивної або ємнісного характеру [12].

### 3.2 Система управління СТАТКОМ

STATCOM - це джерело статичної напруги промислової частоти з регульованою амплітудою, що забезпечують як генерацію, так і споживання реактивну потужність.

STATCOM паралельного включення за своїми функціональними характеристиками схожий на синхронний компенсатор.

Пристрої STATCOM можуть бути використані для комплексного поліпшення якості електроенергії в системах електропостачання. Також дані пристрої можуть конкурувати з традиційними пристроями статичної компенсації на основі конденсаторів, реакторів і тиристорів, за вартісними характеристиками, та за технічними характеристиками своєї роботи [16].

Використання STATCOM дозволяє досягти наступних переваг за типових умов:

- відсутність необхідності в додаткових конденсаторних батареях;
- забезпечити достатню якість електроенергії, зменшити ємність конденсатора, підключеного до шини змінного струму, і зменшити підвищення напруги під час перехідних процесів;
- уникнення впливу на мережу змінного струму через відсутність перемикання конденсаторних батарей;
- зменшує площу, необхідну для додаткових джерел реактивної потужності.

STATCOM реалізується з наступних основних функціональних блоків (рисунки 3.2):

- комплектний розподільний пристрій;
- комутаційна апаратура;
- силовий перетворювач напруги на основі IGBT (ПН);
- фазні реактори (L1, L2, L3);
- конденсаторна батарея (КБ) постійного струму;
- шафа системи управління, регулювання, захисту і автоматики (СУРЗА);
- шафа управління і контролю високовольтичних вентилів (ШУ);
- шафа живлення вентиляційної частини (ШЖВ);
- фільтро-компенсуючий пристрій (ФКУ);
- система первинних вимірювань струмів і напруг;
- система охолодження (СО);
- датчики апаратних захистів.

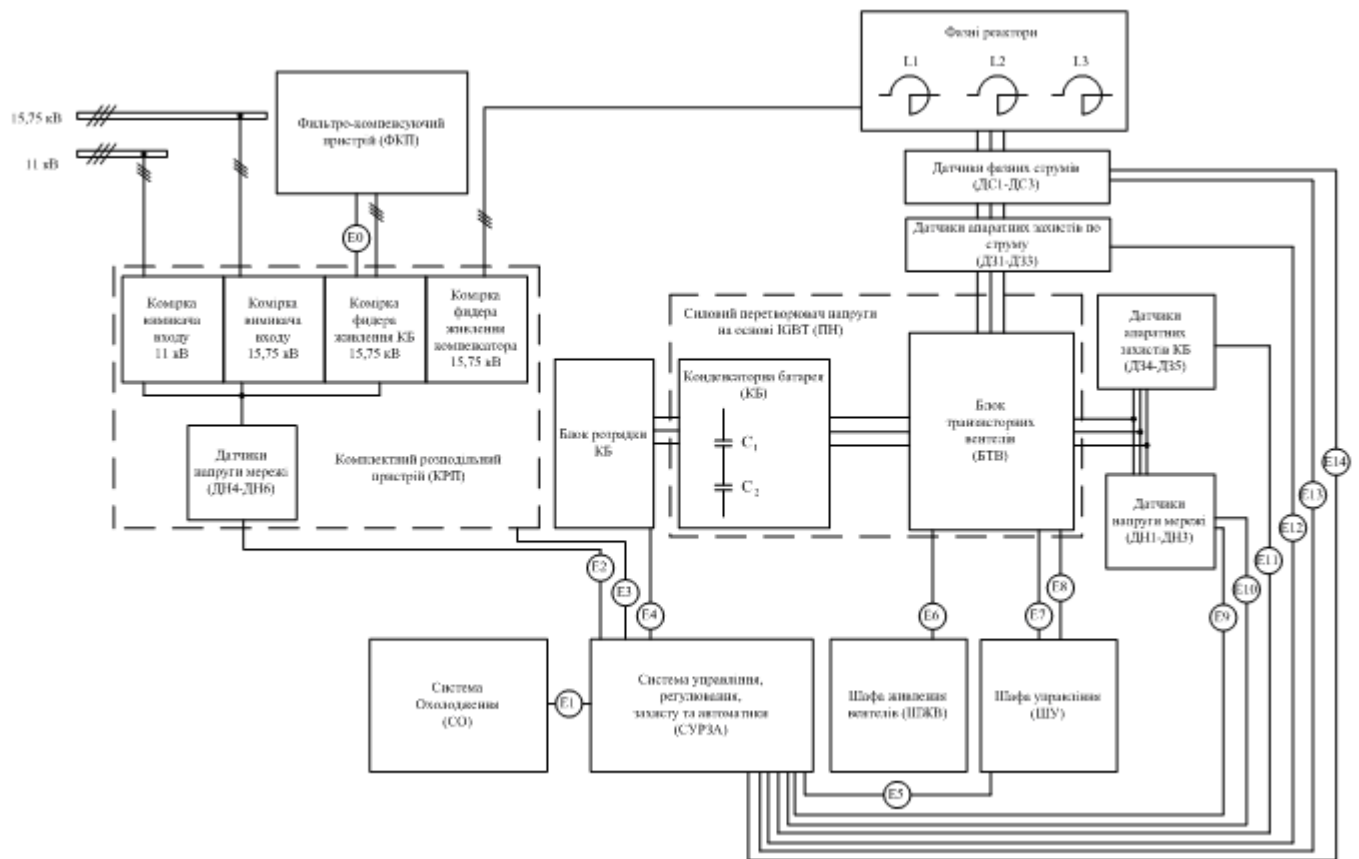


Рисунок 3.2 – Основні функціональні блоки STATCOM

Алгоритм управління STATCOM визначає найважливіші характеристики пристрою, такі як втрати потужності в енергосистемі, допустимий рівень вищих гармонік і час реакції пристрою на збурення в енергосистемі [15,16].

Узагальнена схема управління STATCOM зображена на рисунку 3.3. Алгоритми керування компенсатором умовно поділяються на два блоки: базові алгоритми керування компенсатором та алгоритми широтно-імпульсної модуляції.

Основний алгоритм управління STATCOM відповідає за розрахунок миневих параметрів напруги місця встановлення. Та досягнення синхронізації внутрішніх змінних системи управління з напругою мережі та розрахунок значень фазних струмів пристрою.

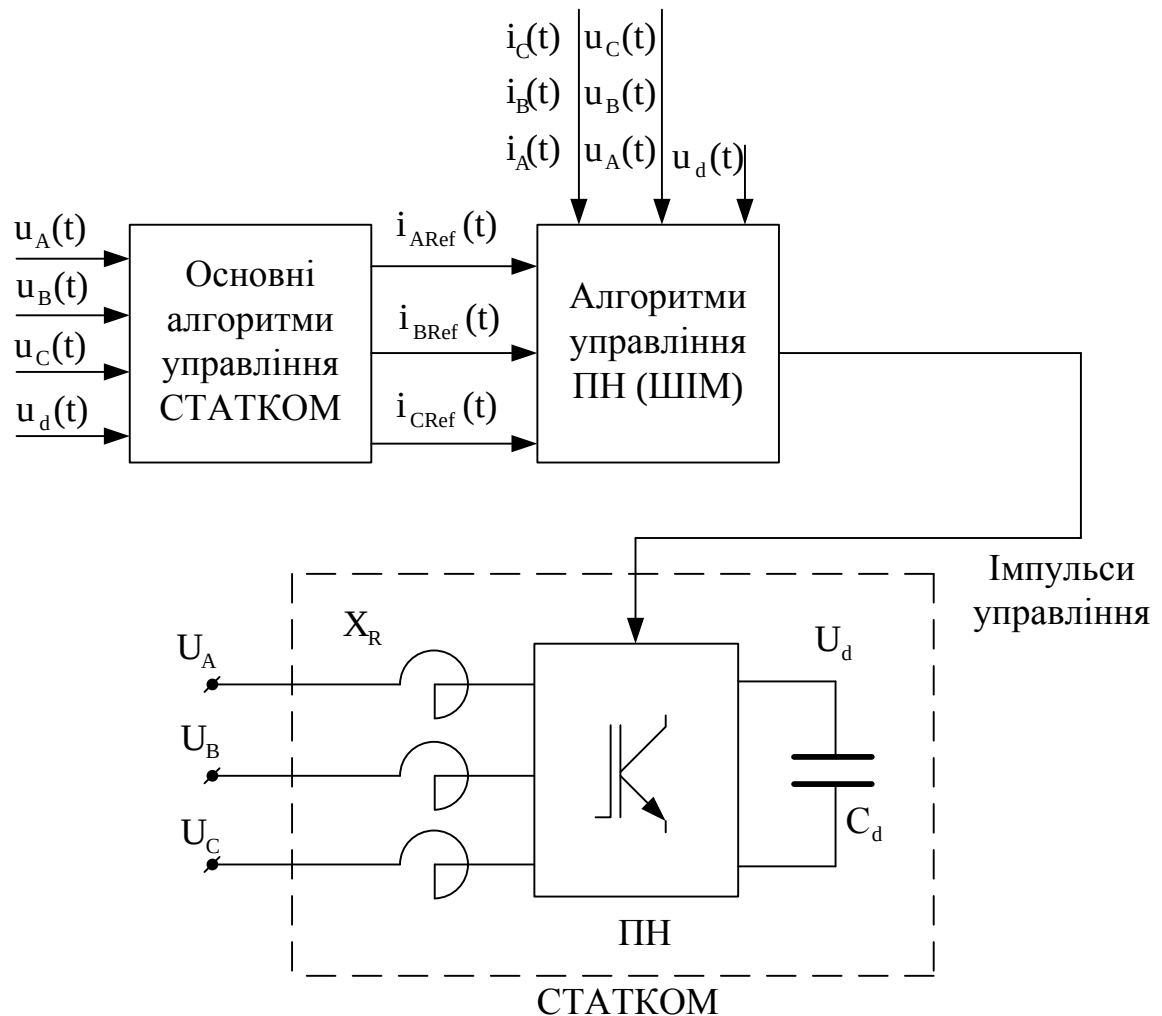


Рисунок 3.3 – Системи управління STATCOM

Алгоритм ШІМ призначений для керування перемикачем навантаження для створення фазного струму в реакторі STATCOM, що дорівнює заданому фазному струму, розрахованому основним алгоритмом керування STATCOM. Фактичні фазні струми повинні дорівнювати заданому струму як в усталеному, так і в перехідному режимах мережі.

При розрахунку трифазних кіл можна використовувати метод симетричних складових. У цьому методі мережева напруга представляється з'єднаними прямою (ПП), зворотною (ЗП) і нульовою послідовностями (НП). Відповідно до принципу накладання симетричних складових, результат виражається як векторна сума трьох симетричних режимів. Фазні напруги мережі в комплексному вигляді мають наступний вигляд:

$$\begin{cases} \dot{U}_A = \dot{U}_0 + \dot{U}_1 + \dot{U}_2, \\ \dot{U}_B = \dot{U}_0 + \dot{U}_1 \cdot a^2 + \dot{U}_2 \cdot a, \\ \dot{U}_C = \dot{U}_0 + \dot{U}_1 \cdot a + \dot{U}_2 \cdot a^2. \end{cases} \quad (3.14)$$

Нульова послідовність не враховується  $\dot{U}_0 = 0$  так як розглядаються робота трипровідної мережі.

У загальному випадку фазні струми можна також виразити як суму прямої і зворотної послідовності:

$$\begin{cases} \dot{I}_A = \dot{I}_1 + \dot{I}_2, \\ \dot{I}_B = \dot{I}_1 \cdot a^2 + \dot{I}_2 \cdot a, \\ \dot{I}_C = \dot{I}_1 \cdot a + \dot{I}_2 \cdot a^2. \end{cases} \quad (3.15)$$

Струм прямої та зворотної послідовності:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = I_1 \cdot e^{j\gamma}, \\ \dot{I}_2 = I_2 \cdot e^{j\varphi}. \end{cases} \quad (3.16)$$

де  $\gamma = \frac{2\pi}{3}$  рад.

Повна потужність фази:

$$\dot{S}_\Phi = \dot{U}_\Phi \cdot \ddot{I}_\Phi, \quad \dot{S}_\Phi = P_\Phi + j \cdot Q_\Phi. \quad (3.17)$$

де  $\ddot{I}_\Phi$  - комплексно спряжене до струму фази  $\dot{I}_\Phi$ ,

$P_\Phi$ ,  $Q_\Phi$  - активна та реактивна потужність фази відповідно.

Вирази для АП та РП усіх фаз:

$$\begin{cases} P_A = \frac{U_1 I_1}{2} \cos(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \cos(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \cos(\varphi) + \frac{U_2 I_1}{2} \cos(\gamma - \beta), \\ P_B = \frac{U_1 I_1}{2} \cos(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \cos(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \cos(\varphi + \frac{4\pi}{3}) + \frac{U_2 I_1}{2} \cos(\gamma - \beta - \frac{4\pi}{3}), \\ P_C = \frac{U_1 I_1}{2} \cos(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \cos(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \cos(\varphi - \frac{4\pi}{3}) + \frac{U_2 I_1}{2} \cos(\gamma - \beta + \frac{4\pi}{3}). \end{cases}$$



$$\begin{cases} Q_A = \frac{U_1 I_1}{2} \sin(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \sin(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \sin(\varphi) + \frac{U_2 I_1}{2} \sin(\gamma - \beta), \\ Q_B = \frac{U_1 I_1}{2} \sin(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \sin(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \sin(\varphi + \frac{4\pi}{3}) + \frac{U_2 I_1}{2} \sin(\gamma - \beta - \frac{4\pi}{3}), \\ Q_C = \frac{U_1 I_1}{2} \sin(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \sin(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \sin(\varphi - \frac{4\pi}{3}) + \frac{U_2 I_1}{2} \sin(\gamma - \beta + \frac{4\pi}{3}). \end{cases}$$

Активна і реактивна потужність трифазної системи може бути розрахована по скалярній сумі відповідної фазної потужності:

$$\begin{cases} P = P_A + P_B + P_C = \frac{aU_1 I_1}{2} \cos(\gamma) + \frac{aU_2 I_2}{2} \cos(\varphi - \beta), \\ Q = Q_A + Q_B + Q_C = \frac{aU_1 I_1}{2} \sin(\gamma) + \frac{aU_2 I_2}{2} \sin(\varphi - \beta). \end{cases} \quad (3.20)$$

Повна потужність трифазної системи дорівнює [8]:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (3.21)$$

Відповідно виразам (3.14) і (3.15) зроблено висновок, що регулювання АП і РП може бути здійснено за допомогою квадратурних векторів фазного струму окремо один від одного..

Вектор активної складової фазного струму ПП збігається по фазі з вектором ПП напруги електромережі в точці включення (рисунок 3.4) [12].

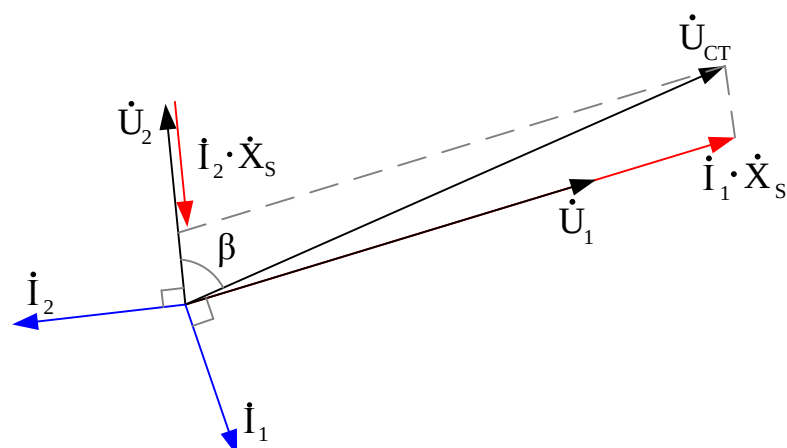


Рисунок 3.4 – Векторна діаграма роботи STATCOM

Рівні АП і РП системи управління встановлюються за допомогою алгоритму, який регулює рівні мережевої напруги і напруги на стороні постійного струму перетворювача.

Блок-схема алгоритмів управління STATCOM зображена на рисунку 3.5.

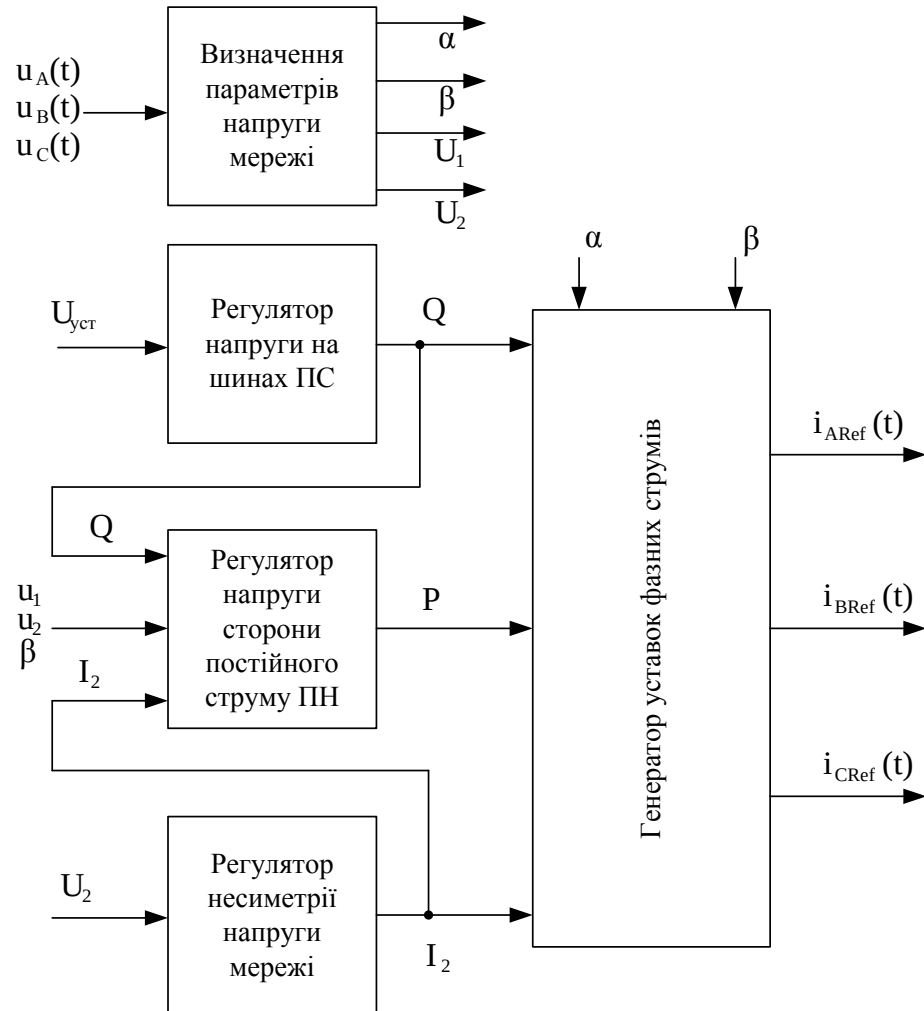


Рисунок 3.5 – Блок-схема алгоритмів управління STATCOM

Система управління STATCOM складається з наступних основних функціональних блоків:

- блок визначення напруги мережі;
- блок регулювання напруги мережі на шинах ПС;
- блок регулювання несиметричної напруги мережі;
- блок регулювання напруги по вітці струму перетворювача  $U_d$ ;
- генератор очікуваного струму.

Блок для визначення необхідних параметрів напруги мережі визначає значення амплітуд ПП ( $U_{m1}$ ) і ЗП ( $U_{m2}$ ) напруги і фази ПП ( $\alpha$ ) і ЗП ( $\beta$ ) напруги відносно оптимального вектора. Структурна схема блоку визначення напруги мережі зображена на рисунку 3.6.

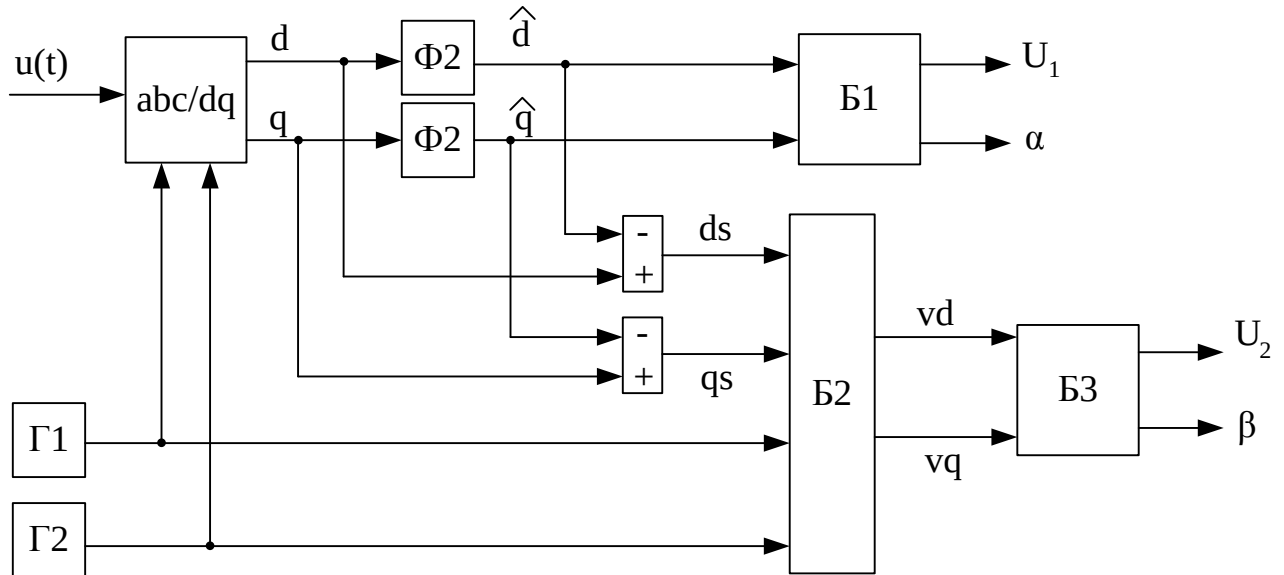


Рисунок 3.6 – Структурна схема блоку визначення напруги мережі

На вхід подається поточне значення основної фазної напруги. Блоки Г1 і Г2 виконують функцію послідовної генерації одиночних синусоїд і косинусоїд прямої послідовності.

### 3.3 Оптимальні схематичні рішення STATCOM

Схематичні рішення STATCOM можуть мати різноманітну реалізацію. Пристрій STATCOM є багатофункціональним і може використовуватися як самостійно, так і в якості основного блоку при використанні інших пристроїв FACTS.

У роботі [15] наведена універсальна новітня схема мостового трирівневого 18-ти вентильного STATCOM рисунок 3.7.

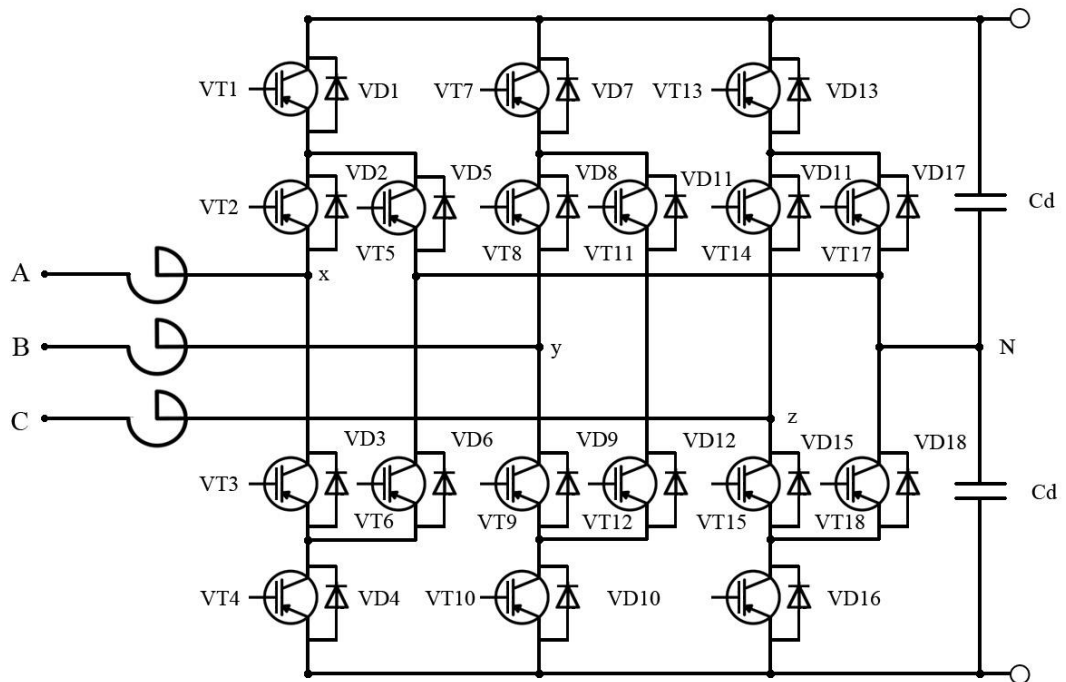


Рисунок 3.7 – Схема перетворювача для STATCOM

Номінальна напруга STATCOM може бути змінена відповідною зміною числа послідовних з'єднаннях високовольтних модулів в вентилях перетворювача.

У роботі [15] представлена схема безтрансформаторного STATCOM 10 кВ на базі п'ятирівневого інвертора рисунок 3.8.

Особливістю цієї конструкції STATCOM 10 кВ є одночасне використання двох імпульсних вирівнюючих регуляторів невеликої потужності і необхідного ШІМ-алгоритму в силовій частині 5-рівневого перетворювача. Кожен IGBT-модуль має вбудований реверсивний діод, а відсікаючий діод має такі ж характеристики, як і реверсивний діод.

Пульсації напруги є невід'ємною характеристикою 5-рівневих перетворювачів. Асиметрія напруги (і проблеми з вирівнюванням напруги) означає, що постійна складова напруги на конденсаторі відхиляється від  $1/4$  номінальної напруги ланки постійного струму.

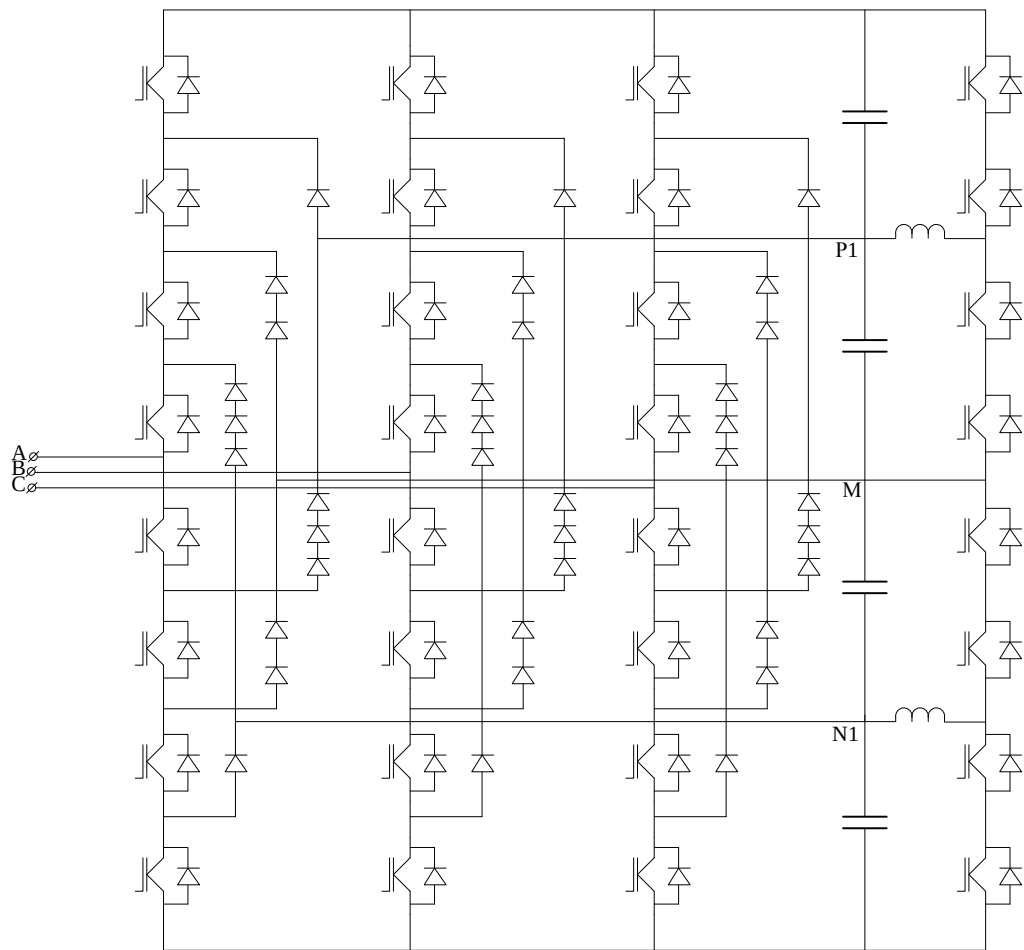


Рисунок 3.8 – П'ятирівневий безтрансформаторний STATCOM  
на напругу 10 кВ

П'ятирівневі перетворювачі генерують набагато менше гармонік і електромагнітних перешкод, ніж трирівневі. Недоліком, однак, є потреба в додаткових конденсаторах і діодах. Додавання діодів збільшує вартість компонентів і всього обладнання в цілому. Наявність додаткових конденсаторів призводить до проблем з вирівнюванням напруги. З іншого боку, підвищена вартість може бути компенсована відмінними показниками електромагнітної сумісності.

На Рисунку 3.9 використовуються наступні позначення:

(0) - нейтральна точка по відношенню до джерела змінного струму;

(S11, S14), (S21, S24) і (S31, S34) - основні транзистори, що діють як перемикачі для ШІМ;

(S12, S13), (S22, S23) і (S32, S33) - додаткові транзистори, разом з діодами (D11-D32), для фіксації граничного потенціалу виходу на потенціалі нейтральної точки [38].

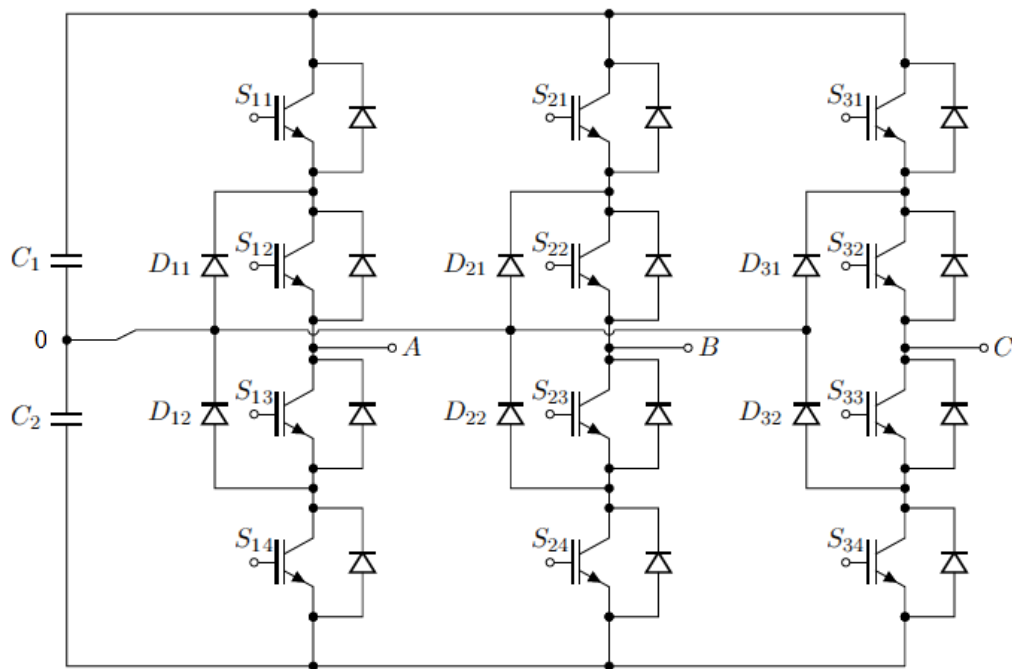


Рисунок 3.9 – Схема інвертора NPC-ШІМ

### 3.4 Підвищення енергоефективності підприємства засобами STATCOM

Підприємство є споживачем реактивної енергії. З метою зменшення втрат електроенергії пропонується розглянути можливість компенсації реактивної потужності шляхом використання пристрою STATCOM встановленого на ТП 10 кВ.

В таблиці 2.1 представлені результати розрахунку потужностей підприємства з використанням пристрою STATCOM.

Таблиця 2.1 – Результати використання пристрою STATCOM

| №  | Sp, кВА | cos φ | Pp, кВт | Qp, кВар | Qкрп, кВар | Q2, кВар | Скрп, кВА |
|----|---------|-------|---------|----------|------------|----------|-----------|
| ТП | 1124,93 | -     | 771,971 | 771,97   | 250        | 568,25   | 958,57    |

Втрати електроенергії в лініях розраховуємо так:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot n \cdot I_{\text{м}}^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3},$$

$$I_M = \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot k} = \frac{1124,93}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 32,47 \text{ (A)},$$

$$I_{M.kpp} = \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot k} = \frac{958,57}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 27,67 \text{ (A)}.$$

R – активний опір лінії живлення, Ом;

$$R = r_0 \cdot L ;$$

де  $r_0$  – питомий опір,.

Для лінії С –ТП:

Активний опір однієї фази кабелю від ТП до ТП1.:

$$R = 3,0 \cdot 0,868 = 2,604 \text{ (Ом)}.$$

Відповідно втрати електроенергії в лінії ГПП-ТП1:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot 2 \cdot 32,47^2 \cdot 2,604 \cdot 2886,2 \cdot 10^{-3} = 47542,63 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$\Delta E_{\text{л.крп}} = 3 \cdot 2 \cdot 27,67^2 \cdot 2,604 \cdot 2886,2 \cdot 10^{-3} = 34525,26 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Аналогічно виконуємо розрахунок втрат електроенергії в інших лініях і результати заносимо до таблиця 2.2.

Таблиця 2.2 – Втрати електроенергії в лініях до встановлення STATCOM

| Лінія | Марка кабелю     | К-сть ліній | L, км | I <sub>M</sub> , А | R, Ом | τ, год./рік | R <sub>пит</sub> , Ом/км | ΔE <sub>л</sub> , кВт·год. |
|-------|------------------|-------------|-------|--------------------|-------|-------------|--------------------------|----------------------------|
| С-ТП  | АПвЭгаПу-10 3х35 | 2           | 3,0   | 32,47              | 2,604 | 2886,21     | 0,868                    | 47542,63                   |

Таблиця 2.3 – Втрати електроенергії в лініях після встановлення STATCOM

| Лінія | Марка кабелю     | К-сть ліній | L, км | I <sub>M</sub> , А | R, Ом | τ, год./рік | R <sub>пит</sub> , Ом/км | ΔE <sub>л</sub> , кВт·год. |
|-------|------------------|-------------|-------|--------------------|-------|-------------|--------------------------|----------------------------|
| С-ТП  | АПвЭгаПу-10 3х35 | 2           | 3,0   | 27,67              | 2,604 | 2886,21     | 0,868                    | 34525,26                   |

Втрати електроенергії в ТП визначають за формулою, тис. кВт·год./рік:

$$\Delta E_T = n \cdot \Delta P_{xx} \cdot T_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{k3} \cdot \left( \frac{S_{\phi}}{S_H} \right)^2 \cdot \tau, \quad (4.36)$$

Відповідно втрати енергії в трансформаторах ТП-1:

$$\Delta E_T = 2 \cdot 2,1 \cdot 8760 + (1/2) \cdot 10,5 \cdot \left( \frac{1124,93}{1000} \right)^2 \cdot 2886,2 = 55967,06 \text{ (кВт}\cdot\text{год/рік)}.$$

$$\Delta E_{T.KPI} = 2 \cdot 2,1 \cdot 8760 + (1/2) \cdot 10,5 \cdot \left( \frac{958,57}{1000} \right)^2 \cdot 2886,2 = 50715,02 \text{ (кВт}\cdot\text{год/рік)}.$$

Для інших ТП проводимо аналогічні розрахунки і їх результати зводимо у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Втрати енергії в трансформаторах до встановлення STATCOM

| №  | Тип     | шт | $\Delta P_x$ , кВт | $\Delta P_k$ , кВт | $S_p$ , кВА | $S_n$ , кВА | $\Delta E_T$ , кВт*год./рік |
|----|---------|----|--------------------|--------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| ТП | ТМ-1000 | 2  | 2,1                | 10,5               | 1124,93     | 1000        | 55967,06                    |

Таблиця 2.5 – Втрати енергії в трансформаторах після встановлення STATCOM

| №  | Тип     | шт | $\Delta P_x$ , кВт | $\Delta P_k$ , кВт | $S_p$ , кВА | $S_n$ , кВА | $\Delta E_T$ , кВт*год./рік |
|----|---------|----|--------------------|--------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| ТП | ТМ-1000 | 2  | 2,1                | 10,5               | 958,57      | 1000        | 50715,02                    |

Загальна величина втрат електроенергії в СЕП підприємства до та після використання пристрою STATCOM, кВт·год./рік:

$$E = \Delta E_d + \Delta E_T ;$$

$$E = 47542,63 + 55967,06 = 103509,69 \text{ (кВт}\cdot\text{год./рік)},$$

$$E_{kpi} = 34525,26 + 50715,02 = 85240,28 \text{ (кВт}\cdot\text{год./рік)},$$

$$\Delta E = 103509,69 - 85240,28 = 18269,41 \text{ (кВт}\cdot\text{год./рік)}.$$

Отже використання пристрою STATCOM в СЕП даного підприємства дозволяє підвищити енергоефективність шляхом зменшення втрат в лініях живлення та трансформаторних підстанціях.

Висновки. Питання КРП вданий час займає важливе місце серед комплексу проблем, пов'язаних з підвищенням ефективності передачі, розподілу та споживання



електроенергії. Правильне вирішення цих проблем дозволяє значно підвищити якість електропостачання та заощадити фінансові та матеріальні ресурси. Питання компенсації реактивної потужності слід розглядати у світлі останніх поглядів та новітніх технологічних розробок у сфері електропостачання..

Визначено вимоги до СТАТКОМ та системи керування ним для роботи в різних режимах в мережі. Досліджено алгоритм керування СТАТКОМ в мережі, ефективність якого дозволила використовувати СТАТКОМ в аварійних та післяаварійних режимах в мережі; успішно вирішено задачі регулювання напруги та симетрування напруги в енергосистемі з використанням СТАТКОМ. Дослідження показало високу ефективність роботи СТАТКОМ з розробленою системою керування.

Наразі існує низка заходів компенсації реактивної потужності, які використовуються на практиці. Тому серйозною проблемою є попередній вибір найбільш підходящого пристрою, який може зменшити матеріальні витрати на його встановлення в системі.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі випускної бакалаврської дипломної роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі обслуговування системи електропостачання ПАТ «Володарка». Отже, на оперативно-ремонтний персонал, що здійснює монтаж системи електропостачання, впливають такі шкідливі виробничі фактори [23, 24]: фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил); фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

### 4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

#### 4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Все силове обладнання заводу повинно відповідати вимогам нормативних документів і на них повинна бути експлуатаційна документація, а крани та інші машини, що придбані за кордоном – повинні мати сертифікат відповідності вимогам безпеки праці. Забороняється експлуатація засобів механізації без передбачених їх конструкцією огорож, блокувань, систем сигналізації та інших засобів колективного захисту працюючих. До управління і обслуговування машин і механізмів допускаються особи (працівники), що отримали відповідну професійно-технічну підготовку, пройшли навчання і перевірку знань із безпеки праці.

Персонал, який експлуатує засоби механізації, оснащення, пристрої та ручні машини, до початку робіт повинен бути навчений безпечним методам та способам

робіт відповідно до інструкцій заводу-виробника та інструкції з охорони праці. Робочі місця, засоби підмоцнування (риштовання, помости, робочі площадки тощо), які забезпечують безпеку виконання робіт на висоті) повинні відповідати вимогам цього розділу, розділу 6 цих норм, ГОСТ 24258, ГОСТ 26887, ГОСТ 27321, ГОСТ 28012. Під час виконання будівельно-монтажних робіт необхідно застосовувати переважно інвентарні засоби підмоцнування.

Поверхню ґрунту, на яку встановлюються засоби підмоцнування, необхідно спланувати (вирівняти, утрамбувати). За неможливості виконання цих вимог засоби підмоцнування повинні бути обладнані опорами, що регулюються (домкратами), для забезпечення їх горизонтального виставлення, або повинні бути встановлені тимчасові опорні споруди, що забезпечують горизонтальність виставлення засобів підмоцнування. Риштовання, конструкція яких не забезпечує власної стійкості, необхідно прикріпити до споруди засобами, зазначеними у технічній документації заводу-виробника, або в проектно- технологічній документації на установлення риштовання.

За відсутності вказівок щодо закріплення риштовань їх кріплення до стін споруди необхідно здійснювати не менше ніж через один ярус для верхніх стояків, через два прогони для верхнього ярусу й одного кріплення на кожних 50 м<sup>2</sup> проекції поверхні риштовань на фасад споруди. Не допускається кріплення риштовань до парпетів, карнизів, балконів, інших виступних частин споруди.

Робочі навантаження на риштовання в процесі виконання робіт не повинні перевищувати визначених технічною документацією. За необхідності передавання на риштовання додаткових навантажень (від підйомників, вантажопідіймальних площадок тощо) їх конструкцію необхідно перевірити на ці навантаження. У місцях піднімання людей на риштовання повинні бути вивішені плакати, на яких зазначено схеми навантажень, їх величини, а також схеми евакуації працівників на випадок аварійних ситуацій.

Засоби підмоцнування повинні бути зроблені з рівних робочих настилів із зазором між дошками не більше ніж 5 мм, а у разі розміщення настилу на висоті 1,3 м та вище встановлювати огорожі з суцільною бортовою обшивкою по низу. Висота

огорожі повинна бути не менше ніж 1,1 м, бортові обшивки - не менше ніж 0,15 м, відстань між горизонтальними елементами огорожі - не більше ніж 0,5 м.

Засоби підмоцнування, які використовуються під час робіт у місцях, під якими здійснюються інші роботи або є прохід, необхідно виконувати настилами без зазорів. Риштовання та помості висотою до 4 м допускаються в експлуатацію після їх приймання керівником робіт та реєстрації в журналі робіт, а вище ніж 4 м - після приймання комісією, призначеною особою, яка відповідає за забезпечення охорони праці в організації, та оформлення відповідного акту.

Під час приймання риштовань та підмостей повинні бути перевірені: наявність кріплень, що забезпечують їх стійкість, вузли кріплення окремих елементів, робочі настили та огороження, вертикальність стояків, надійність опорних площадок та заземлення (для металевих риштовань).

Під час виконання робіт із риштовань висотою понад 6 м і більше повинно бути улаштовано не менше ніж два настили: робочий (верхній) і захисний (нижній); кожне робоче місце на риштованнях, що прилягає до будинку чи споруди, повинно бути захищене зверху настилом, розташованим на висоті не вище ніж 2 м від робочого настилу. Якщо під час виконання робіт рух людей чи транспорту під риштованнями і поблизу від них не передбачається, улаштування захисного (нижнього) настилу не обов'язкове.

Експлуатація ручного електроінструменту дозволяється у разі дотримання таких вимог:

- перед кожною видачею інструменту в роботу повинна бути перевірена його комплектність та надійність кріплення деталей, справність захисного кожуху, кабелю (рукава);
- перед початком роботи повинна бути перевірена справність вимикача та машини на холостому ході;
- під час перерв у роботі, після закінчення роботи, під час змащування, очищення, заміни робочого елемента інструменту ручні машини необхідно вимкнути та від'єднати від електричної мережі;

- ручні машини, маса яких із розрахунку на руки працюючого, перевищує 10 кг, повинні мати пристрій для підвішування;
- під час роботи з ручними машинами на висоті необхідно використовувати засоби підмоцування (помости);
- нагляд за експлуатацією ручних машин необхідно доручати спеціально призначеній для цього особі.

#### 4. 1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання заводу та системи освітлення здійснюється від чотирьохпроводної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – особливо небезпечні, так як виконуються назовні. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;
- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипроводної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

#### 3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

#### 4. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

##### 4.1. Мікроклімат

Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 4.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдува;
- провітрювання приміщення.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

| Період року | Категорія робіт | Температура, °С | Відносна вологість | Швидкість руху |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------|
| Теплий      | Пб              | 15-29           | 70 при 25°С        | 0,2-0,5        |
| Холодний    | Пб              | 13-23           | не більш 75        | не більш 0,4   |

#### 4.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

| Назва речовини      | ГДК, мг/м <sup>3</sup> |                 | Клас небезпечності |
|---------------------|------------------------|-----------------|--------------------|
|                     | Максимально разова     | Середньо добова |                    |
| Пил нетоксичний     | 0.5                    | 0.15            | 4                  |
| Вуглець (II) оксиду | 20                     |                 | 4                  |

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

#### 4.3. Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт під час експлуатації електрообладнання – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

| Х-ка зорової роботи | Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм | Розряд зорової роботи | Підрозряд зорової роботи | Контраст об'єкта фоном   | Х-ка фону                | Штучне при системі комбінованого освітлення |                        | Природне Ен пр | Сумісне Е сум |
|---------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|------------------------|----------------|---------------|
|                     |                                                            |                       |                          |                          |                          | всього                                      | у т. ч. від загального |                |               |
| Малої точності      | Від 1,0 до 5 включно                                       | V                     | г                        | середній великий великий | світлий світлий середній | -                                           | 200                    | 3              | 1,8           |

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

#### 4.4. Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки» (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

| Характер робіт                                  | Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц |    |     |     |     |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|                                                 | 32                                                                                                           | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Постійні робочі місця в промислових приміщеннях | 107                                                                                                          | 95 | 87  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   | 69   |

Проектом передбачені засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

– безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;



– для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

#### 4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Приміщення ПАТ «Володарка» за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д –речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-III (місця, де зберігаються тверді горючі речовини: тканини, тара тощо). Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується III ступенем вогнестійкості.

До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

| Сту-пінь вог-не-<br>стій-кості бу-дин-<br>ків | Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і<br>максимальні межі поширення вогню по них (см) |                 |                                          |                                                           |                |                                                                                          |                                                                                         |                                              |                                   |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                               | стіни                                                                                                                 |                 |                                          |                                                           | коло-<br>ни    | сходові<br>площад-<br>ки,<br>костури,<br>сходи,<br>балки,<br>марші<br>сходових<br>кліток | пере-<br>криття<br>між по-<br>верхові<br>(у т.ч.<br>горищні<br>та над<br>підва-<br>лами | елементи<br>суміщених<br>покриттів           |                                   |
|                                               | несучі<br>та<br>сходо-<br>вих<br>кліток                                                                               | само-<br>несучі | зов-<br>ніш-<br>ні<br>не-<br>несу-<br>чі | внут-<br>рішні<br>не-<br>несучі<br>(пере-<br>город-<br>ки |                |                                                                                          |                                                                                         | пли-<br>ти,<br>насти-<br>ли,<br>прого-<br>ни | балки,<br>ферми,<br>арки,<br>рами |
| III                                           | REI<br>120<br>M0                                                                                                      | REI<br>60<br>M0 | E 15<br>M0                               | E1 15<br>M1                                               | R<br>120<br>M0 | R 60<br>M0                                                                               | REI 45<br>M1                                                                            | Не нормуються                                |                                   |

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

| Протипожежні перешкоди | Типи протипожежних перешкод або їх елементів | Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах) | Тип заповнення прорізів, не нижче | Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче |
|------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|
| Стіни                  | 2                                            | REI 60                                                              | 2                                 | 1                                        |
| Перегородки            | 2                                            | EI 15                                                               | 3                                 | 2                                        |
| Перекриття             | 2                                            | REI 60                                                              | 2                                 | 1                                        |

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.7 (знаменник).

Таблиця 4.7 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, сільськогосподарських будівель і споруд

| Ступінь<br>вогнестійкості<br>будинку | Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м |      |                           |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------|------|---------------------------|
|                                      | I, II                                           | III  | IIIa, IIIб, IV, IVa,<br>V |
| III                                  | 8/9                                             | 8/12 | 10/15                     |

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі.

В приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м<sup>2</sup> наступна: до 1 – 100 м<sup>2</sup>.

На території ПАТ «Володарка» встановлено 46 вогнегасників ВП-5.

Висновки. В даному пункті бакалаврської дипломної роботи було розроблено норми з охорони праці, а саме технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту та з гігієни праці і виробничої санітарії. А також розроблено норми з пожежної безпеки.

## ВИСНОВКИ

В бакалаврській дипломній роботі здійснено розробку системи електропостачання ПАТ «Володарка».

У роботі виконані необхідні розрахунки щодо визначення електричних навантажень, розрахунок втрат потужності та електроенергії, підтримання необхідної якості напруги; вибір числа та потужності трансформаторів; вибір захисних апаратів та перерізів провідників. Застосовано радіальну схему електропостачання, загальний розрахунковий струм навантаження 32,47 А на напрузі 10 кВ.

Було розраховано два варіанти класу напруги живлення підприємства. Варіанти порівнювались за економічними показниками на спорудження та затрати на експлуатацію. В результаті здійсненого економічного розрахунку обрано варіант використання напруги 10 кВ для зовнішньої лінії живлення. Обрано проектне рішення по встановленню на території підприємства однієї двотрансформаторної підстанції потужністю 1000 кВА. Дана потужність дає змогу подальшого розвитку підприємства шляхом збільшення виробничих потужностей.

Здійснено вибір комутаційно-захисної апаратура від вітчизняного виробника та живлячі провідники та кабелі заводської та цехової мережі, здійснено перевірку обраних ліній живлення на допустимість навантаження, та термічну стійкість.

Лінії живлення електроприймачів захищають автоматичні вимикачі серії EB2 з тепловим і електромагнітними розчеплювачами.

Спроектована система електропостачання гарантує надійне, безперебійне електропостачання підприємства.

Усі прийняті проектні рішення задовольняють вимогам ТЗ.

В науково-дослідній частині роботи було визначено вимоги до пристроїв СТАТКОМ та системи керування ним для роботи в різних режимах в мережі. Досліджено алгоритм керування СТАТКОМ в мережі, ефективність якого дозволила використовувати СТАТКОМ в аварійних та післяаварійних режимах в мережі; успішно вирішено задачі регулювання напруги та симетрування напруги в енергосистемі з використанням СТАТКОМ. Дослідження показало високу

ефективність роботи СТАТКОМ з розробленою системою керування. Розраховано економічний ефект від використання пристроїв СТАТКОМ в мережі даного підприємства.

В розділі «Охорона праці» проаналізовані головні небезпечні та шкідливі фактори, які мають місце на підприємстві з виробки муки та суміжних продуктів, та розроблені заходи по їх зниженню до необхідних норм.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617 с.
2. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
3. ПрАТ “ГЗС” : веб-сайт. URL: <https://gnivan-miskrada.gov.ua/prat-szb-19-15-47-30-03-2017/> (дата звернення: 15.05.2024).
4. Способи економії електроенергії на підприємстві. URL: <http://vinmayak.pat.ua/> (дата звернення: 05.06.2024).
5. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго. [Чинний від 03.02.2021]. Науково-технічний центр електроенергетики «НЕК «Укренерго», 2021. 316 с. (Інформація та документація).
6. РТМ 36.18.32.4-92: 1993. Методика розрахунку електричного навантаження. 9с.
7. Промислові автоматичні вимикачі ЕВ та ЕВ2. URL: <https://www.eti.ua/produktsiya-ua/etibreak/eb2/> (дата звернення: 16.05.2024).
8. Кабельно-провідникова продукція. URL: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produktsiya-1189/> (дата звернення: 06.06.2024).
9. ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008 (ІЕС/TR 60909-4:2000, IDT): 2008. Національний стандарт України. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання. . [Чинний від 01.01.2008]. Київ, 2008. 82 с. (Інформація та документація).
10. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 123 с.
11. Бурбело М. Й. Електромагнітна сумісність і керування якістю

електроенергії в системах електропостачання : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2024. 159 с.

12. Бурбело, М. Й. Спеціальні питання електропостачання: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 89 с.

13. Демов О.Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2006. 95 с.

14. ДСТУ 3463-96: 1999. Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів. [Чинний від 01.01.1999]. Київ, 1999. 204 с. (Інформація та документація).

15. Тарифи ПАТ "Вінницяобленерго". URL: <http://www.voe.com.ua/consumers/individuals/fees/> (дата звернення: 15.05.2024).

16. Офіційний сайт ПАТ «Завод Південкабель». URL: <http://www.yuzhcable.info/> (дата звернення: 06.06.2024).

17. Трансформатори силові ПАТ «Завод Південкабель». URL: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099/> (дата звернення: 07.06.2024).

18. Вимикачі навантаження. URL: <http://001.com.ua/uk/vymykachi-navantazhennya-c756/> (дата звернення: 07.06.2024).

19. Способи економії електроенергії на підприємстві. URL: <http://vinmayak.pat.ua/> (дата звернення: 08.06.2024).

20. Бурбело М. Й. Електромагнітна сумісність і керування якістю електроенергії в системах електропостачання : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2023. 159 с.

21. Реактивна потужність в електричних мережах : монографія / І.В. Жежеленко, Г.Г. Півняк, Г.Г. Трофімов, Ю.А. Папаїка ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. Ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 72 с.

22. Васильєв А.С., Боровиков Ю.С., Прохоров А.В. Спеціалізовані гібридні процесори для всережимного моделювання в реальному часі пристроїв FACTS / Енергетика очима молоді: Наукові праці III міжнародної науково-технічної конференції - Єкатеринбург, 22-26 жовтня 2012 р.

23. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки відносно опрацювання розділу "Охорона праці" в дипломних проектах и роботах студентів електротехнічних спеціальностей: навч. Посіб. Вінниця, ВНТУ, 2003. 46 с.

24. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

25. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

26. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_a322\\_2009/1-1-0-945](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945).

27. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

28. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

29. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

30. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.



31. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=79885](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885)
32. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.
33. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
34. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
35. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.
36. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.
37. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_b\\_v\\_1\\_1\\_36/5-1-0-1759](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759).
38. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: [http://www.poliplast.ua/doc/dbn\\_v.1.1-7-2002.pdf](http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf).
39. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

## ДОДАТКИ



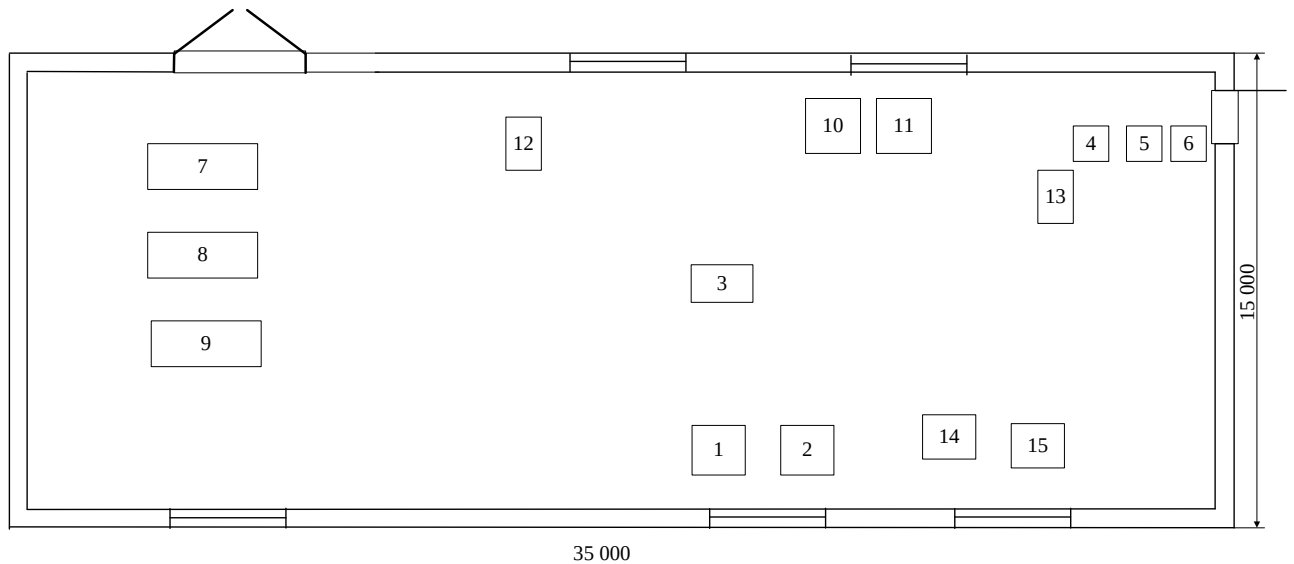


Рисунок А1.2 – План Котельні

Таблиця А.2 – Відомості про ЕП Котельні

| №     | Найменування ЕП       | Рн, кВт |
|-------|-----------------------|---------|
| 1,2   | Насос сирі води       | 5,5     |
| 3     | Рециркуляційний насос | 15      |
| 4-6   | Насос                 | 45      |
| 7-9   | Циркуляційний насос   | 30      |
| 10,11 | Мережевий насос       | 45      |
| 12    | Циркуляційний насос   | 7,5     |
| 13    | Вентилятор            | 10      |
| 14,15 | Господарський насос   | 15      |

## Додаток Б

# ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Розробка системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Володарка»

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

## Показники звіту подібності Unichesk

|                |      |
|----------------|------|
| Оригінальність | 79.4 |
| Схожість       | 20.6 |

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

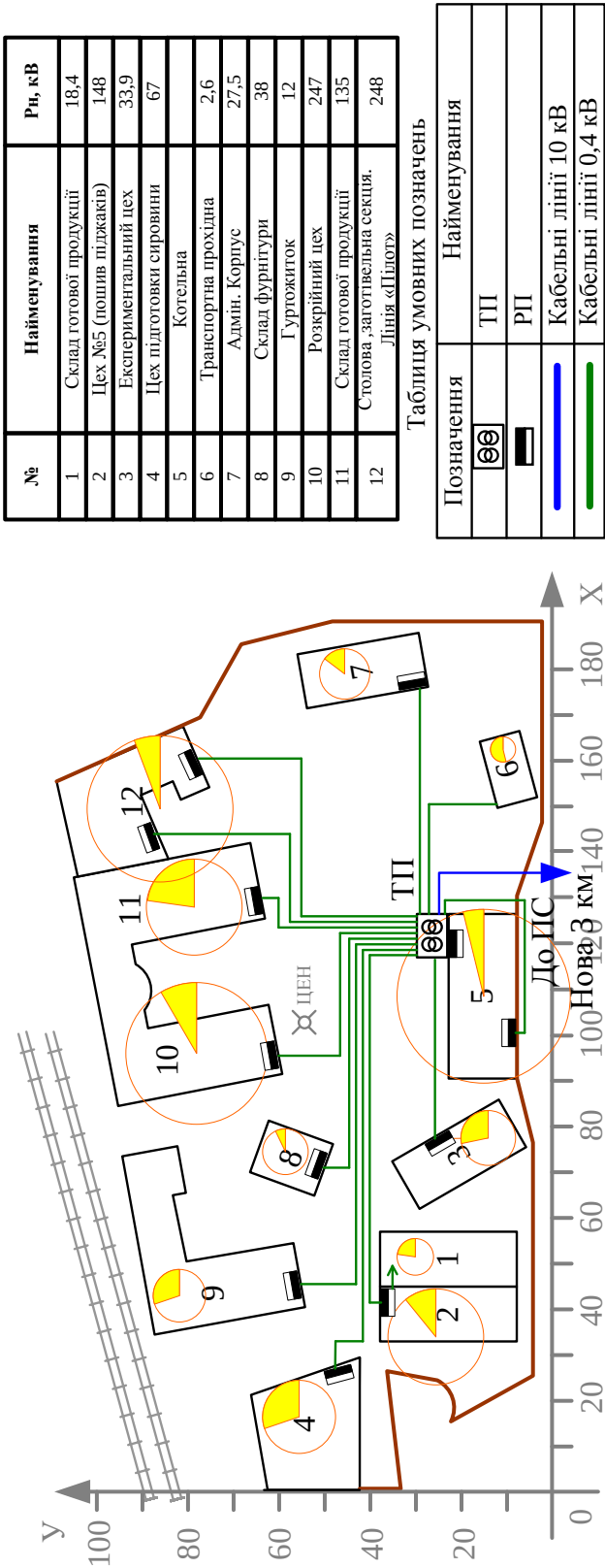
Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_ Лобода Ю.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи \_\_\_\_\_ Руденко О.І.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

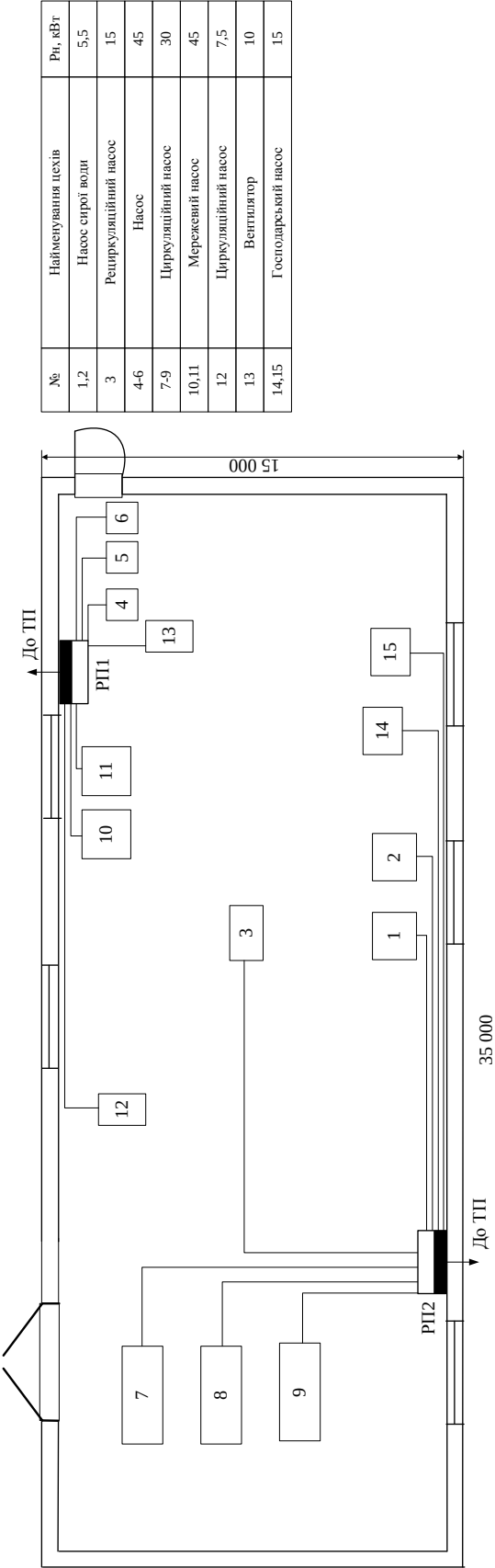
Керівник роботи \_\_\_\_\_ Бурбело М.Й.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Додаток В – План підприємства із силовими розподільчими, та живильними мережами





Додаток Д – План електропостачання цеху



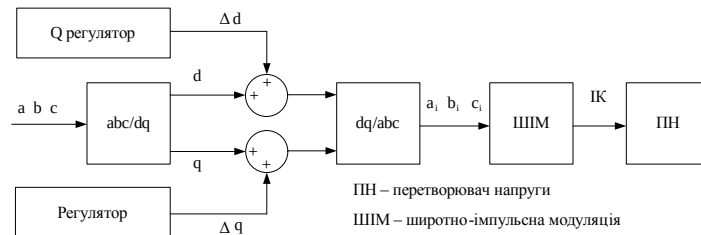
| №     | Найменування цехів  | Рн, кВт |
|-------|---------------------|---------|
| 1,2   | Насос сирної води   | 5,5     |
| 3     | Регулювальний насос | 15      |
| 4-6   | Насос               | 45      |
| 7-9   | Циркуляційний насос | 30      |
| 10,11 | Мережевий насос     | 45      |
| 12    | Циркуляційний насос | 7,5     |
| 13    | Вентилятор          | 10      |
| 14,15 | Господарський насос | 15      |



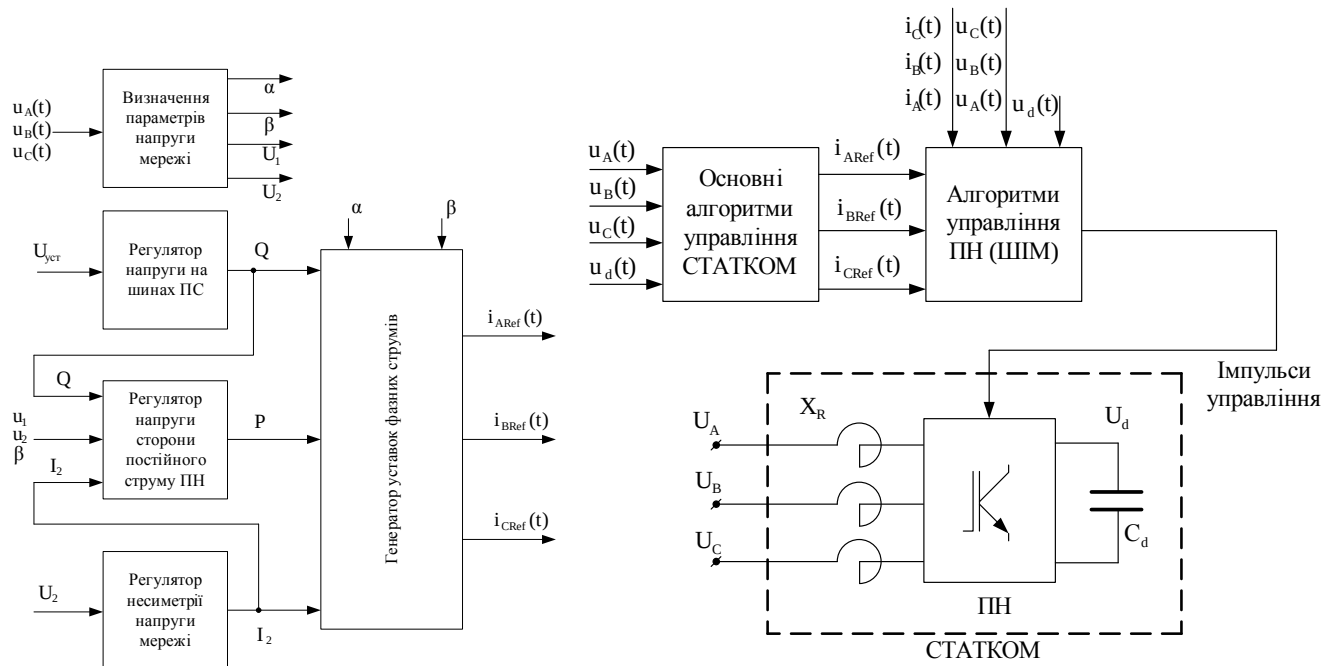
## Додаток Є – Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху

| ТП | ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ   |     |     |      |                 |     |        |       |      |   | № РП | п<br>шт | ЗАХИСТ          |             |                  |                   |                   | ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ                                     |                 |                       | СТОЖИВАЧ |              |               |  | НАЗВА ЕП |
|----|-----------------|-----|-----|------|-----------------|-----|--------|-------|------|---|------|---------|-----------------|-------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|----------|--------------|---------------|--|----------|
|    | ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ   |     |     |      |                 |     |        |       |      |   |      |         | ТИП<br>ВИБИРАЧА | I ном<br>мА | I ном<br>ЗН<br>А | I ном<br>ЗН<br>мА | I ном<br>ЗН<br>мА | МАРКА ПРОВОДУ<br>(Спосіб прокладання-<br>шарфтин) | I доп<br>п<br>А | I доп<br>п<br>А       | I м<br>А | P ном<br>кВт | №<br>на стовп |  |          |
|    | ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ   |     |     |      |                 |     |        |       |      |   |      |         |                 |             |                  |                   |                   |                                                   |                 |                       |          |              |               |  |          |
|    | EB2 600/3E 350A | 350 | 350 | 1200 | ABBG 3x150x1x70 | 370 | 152.55 | 343.2 | ПН-1 | 3 | 125А | 125     | 125             | 3           | ABBG 4(1x25)     | 135               | 92.9              | 45                                                | 4-6             | Насос                 |          |              |               |  |          |
|    |                 |     |     |      |                 |     |        |       |      | 2 | 125А | 125     | 125             | 3           | ABBG 4(1x25)     | 135               | 100               | 45                                                | 10,11           | Мережний насос        |          |              |               |  |          |
|    |                 |     |     |      |                 |     |        |       |      | 1 | 25А  | 25      | 25              | 3           | АПВ 4(1x6)       | 27                | 15.48             | 7.5                                               | 12              | Циркуляційний насос   |          |              |               |  |          |
|    |                 |     |     |      |                 |     |        |       |      | 1 | 25А  | 25      | 25              | 3           | АПВ 4(1x6)       | 27                | 20.64             | 10                                                | 13              | Вентилятор            |          |              |               |  |          |
|    |                 |     |     |      |                 |     |        |       |      | 2 | 25А  | 25      | 25              | 3           | АПВ 4(1x6)       | 27                | 12.23             | 5.5                                               | 1,2             | Насос сирої води      |          |              |               |  |          |
|    |                 |     |     |      |                 |     |        |       |      | 1 | 40А  | 40      | 40              | 3           | АПВ 4(1x10)      | 42                | 36.13             | 15                                                | 3               | Рециркуляційний насос |          |              |               |  |          |
|    |                 |     |     |      |                 |     |        |       |      | 3 | 125А | 125     | 125             | 3           | ABBG 4(1x25)     | 135               | 66.7              | 30                                                | 7-9             | Циркуляційний насос   |          |              |               |  |          |
|    |                 |     |     |      |                 |     |        |       |      | 2 | 40А  | 40      | 40              | 3           | АПВ 4(1x10)      | 42                | 33.35             | 15                                                | 14,15           | Господарський насос   |          |              |               |  |          |
|    |                 |     |     |      |                 |     |        |       |      | 2 | 25А  | 25      | 25              | 3           | АПВ 4(1x6)       | 27                | 12.23             | 5.5                                               | 1,2             | Насос сирої води      |          |              |               |  |          |
|    |                 |     |     |      |                 |     |        |       |      | 1 | 40А  | 40      | 40              | 3           | АПВ 4(1x10)      | 42                | 36.13             | 15                                                | 3               | Рециркуляційний насос |          |              |               |  |          |
|    |                 |     |     |      |                 |     |        |       |      | 3 | 125А | 125     | 125             | 3           | ABBG 4(1x25)     | 135               | 66.7              | 30                                                | 7-9             | Циркуляційний насос   |          |              |               |  |          |
|    |                 |     |     |      |                 |     |        |       |      | 2 | 40А  | 40      | 40              | 3           | АПВ 4(1x10)      | 42                | 33.35             | 15                                                | 14,15           | Господарський насос   |          |              |               |  |          |

## Додаток Ж – Алгоритм управління СТАТКОМ



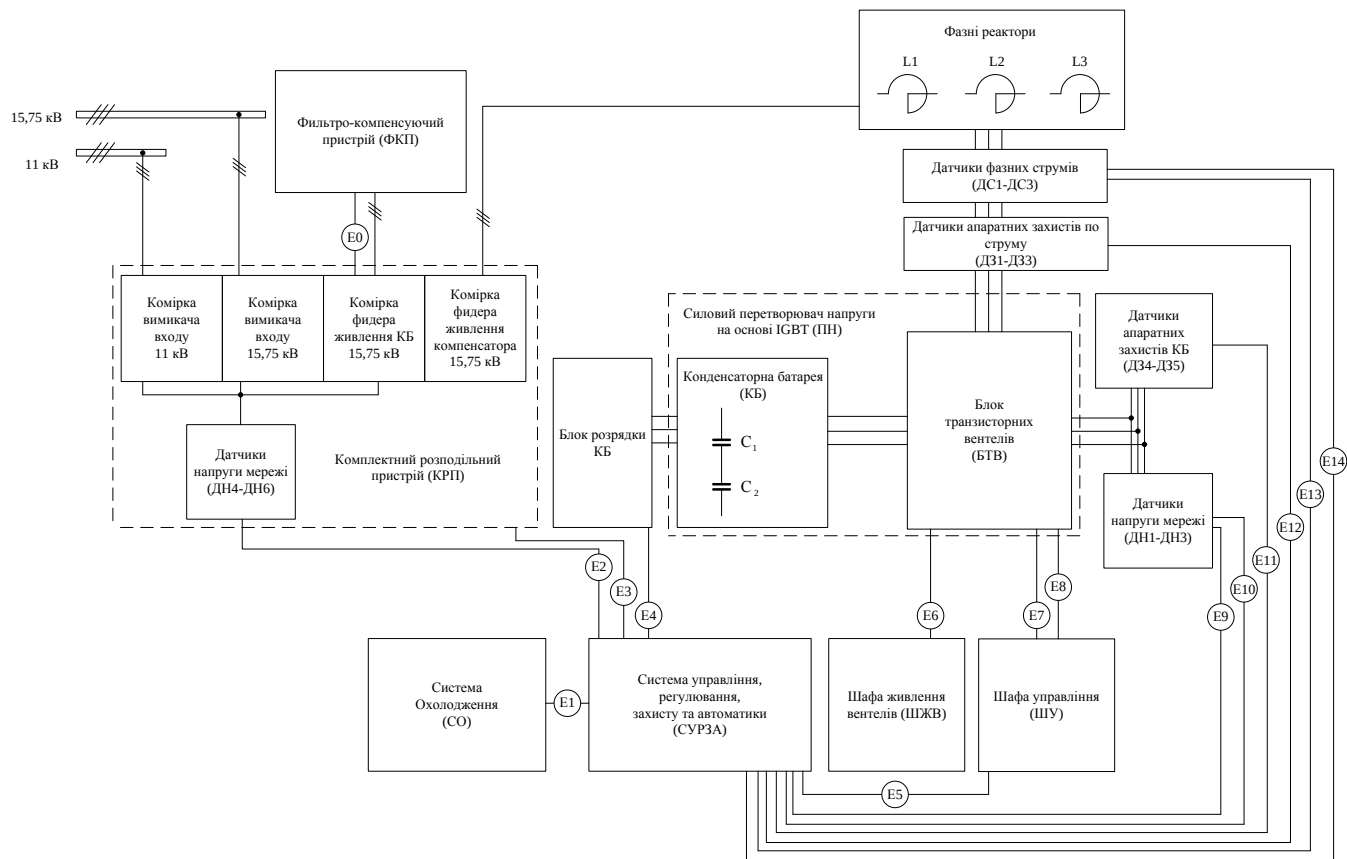
Структурна схема управління СТАТКОМ



Блок-схема основних алгоритмів СТАТКОМ

Загальна схема системи управління СТАТКОМ

### Додаток 3 – Структурна схема СТАТКОМ



## Додаток К – Економічний ефект від використання СТАТКОМ

## Результати використання пристрою STATCOM

| №  | $S_p$ , кВА | $\cos \varphi$ | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , кВар | $Q_{крп}$ , кВар | $Q_2$ , кВар | $S_{крп}$ , кВА |
|----|-------------|----------------|-------------|--------------|------------------|--------------|-----------------|
| ТП | 1124,93     | -              | 771,971     | 771,97       | 250              | 568,25       | 958,57          |

## Втрати електроенергії в лініях до встановлення STATCOM

| Лінія | Марка кабелю     | К-сть ліній | L, км | $I_M$ , А | R, Ом | $\tau$ , год./рік | $R_{пит}$ , Ом/км | $\Delta E_{л}$ , кВт·год. |
|-------|------------------|-------------|-------|-----------|-------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| С-ТП  | АПвЭгаПу-10 3х35 | 2           | 3,0   | 32,47     | 2,604 | 2886,21           | 0,868             | 47542,63                  |

## Втрати електроенергії в лініях після встановлення STATCOM

| Лінія | Марка кабелю     | К-сть ліній | L, км | $I_M$ , А | R, Ом | $\tau$ , год./рік | $R_{пит}$ , Ом/км | $\Delta E_{л}$ , кВт·год. |
|-------|------------------|-------------|-------|-----------|-------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| С-ТП  | АПвЭгаПу-10 3х35 | 2           | 3,0   | 27,67     | 2,604 | 2886,21           | 0,868             | 34525,26                  |

## Втрати енергії в трансформаторах до встановлення STATCOM

| №  | Тип     | шт | $\Delta P_x$ , кВт | $\Delta P_k$ , кВт | $S_p$ , кВА | $S_n$ , кВА | $\Delta E_T$ , кВт*год./рік |
|----|---------|----|--------------------|--------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| ТП | ТМ-1000 | 2  | 2,1                | 10,5               | 1124,93     | 1000        | 55967,06                    |

## Втрати енергії в трансформаторах після встановлення STATCOM

| №  | Тип     | шт | $\Delta P_x$ , кВт | $\Delta P_k$ , кВт | $S_p$ , кВА | $S_n$ , кВА | $\Delta E_T$ , кВт*год./рік |
|----|---------|----|--------------------|--------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| ТП | ТМ-1000 | 2  | 2,1                | 10,5               | 958,57      | 1000        | 50715,02                    |

$$E = \Delta E_{л} + \Delta E_T ;$$

$$E = 47542,63 + 55967,06 = 103509,69 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$E_{крп} = 34525,26 + 50715,02 = 85240,28 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$\Delta E = 103509,69 - 85240,28 = 18269,41 \text{ (кВт·год./рік)}.$$