

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

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:
РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«45 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД»,
МІСТО ВІННИЦЯ

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕЕ-216
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електропостачання та
енергозбереження»,

Якимовський Р.А.

Керівник: д.т.н., професор каф. ЕСЕЕМ
Бурбело М.Й.

« 19 » 06 2025 р.

Рецензент Рубаненко О.Є.
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

проф. каф. ЕСС, професор
« ____ » ____ 2025 р.

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

« 19 » 06 2025 р.

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 ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. М. Й. Бурбело

« 20 » « 03 » 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Якимовському Роману Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи електропостачання Державного підприємства «45 експериментальний механічний завод», місто Вінниця
керівник роботи Бурбело Михайло Йосипович д.т.н., професор каф. ЕСЕЕМ
затверджені наказом по ВНТУ від «20» «березня» 2025 року № 97
2. Термін подання студентом роботи «09» «червня» 2025 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 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про технологічні процеси

1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання

2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Розрахунок електричних навантажень

2.2 Вибір оптимальної напруги живлення

2.3 Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій

2.4 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства

2.5 Розрахунок струмів короткого замикання напругою 10 кВ

2.6 Вибір комутаційного та захисного обладнання ЦРП

2.7 Розрахунок схеми електропостачання цеху

2.8 Реалізація схеми живлення цехової мережі

2.9 Вибір захисних апаратів та провідників цехової електромережі

2.10 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В

3 ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Аналіз стану реактивного навантаження на підприємстві

3.2 Розрахунок оптимальної потужності пристроїв КРП

3.3 Визначення оптимальних пристроїв для КРП

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

4.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочого місця

4.1.2 Електробезпека

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

4.2.2 Склад повітря робочої зони

4.2.3 Виробниче освітлення

4.2.4 Виробничий шум

4.3 Пожежна безпека

Висновки

Література

Додатки

– Генплан підприємства із картограмою навантажень і розподільною мережею

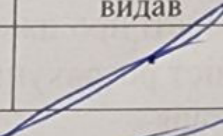
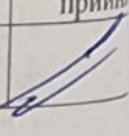
– Однолінійна схема електропостачання підприємства

– План цеху і силової мережі

– Розрахунково-монтажна таблиця

– Креслення із спецпитання

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання «03» «травня» 2025 року.

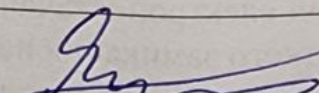
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

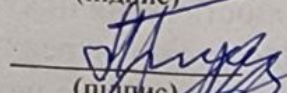
№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Аналіз системи електропостачання підприємства	29.05.25	
2	Дослідження з актуальної для підприємства тематики	07.06.25	
3	Охорона праці	10.06.25	
4	Графічна частина	11.06.25	

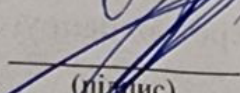
Студент

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи

Нормоконтроль


(підпис)


(підпис)


(підпис)

Якимовський Р.А.
(прізвище та ініціали)

Бурбело М.Й.
(прізвище та ініціали)

Войтюк Ю. П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Якимовський Роман Анатолійович. Розробка системи електропостачання Державного підприємства «45 експериментальний механічний завод», місто Вінниця. Бакалаврська дипломна робота. Спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕЕМ, 2025 – 93.

У роботі розглянуто питання розробки системи електропостачання для ДП «45 ЕМЗ» з урахуванням технологічної специфіки підприємства. Здійснено розрахунок електричних навантажень, вибір оптимальної кількості та потужності трансформаторних підстанцій, а також вибір кабельних ліній і захисних апаратів з перевіркою їх відповідності умовам роботи.

Основним результатом наукової роботи є дослідження ефективності використання компенсації реактивної потужності в СЕП підприємства.

Також у роботі були розглянуті питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Наведено заходи по зниженню небезпечних факторів зв'язаних з виробничими процесами на даному підприємстві.

Ключові слова: електрична мережа, система живлення, реактивна потужність, компенсатор.

ABSTRACT

Yakymovskiy Roman Anatoliiovych. Development of the Power Supply System of the State Enterprise "45 Experimental Mechanical Plant", Vinnytsia. Bachelor thesis. Specialties 141 – Power engineering, electrical engineering and electromechanics. – ESEEM Department – Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2025 – 93.

This thesis examines the development of a power supply system for the SE "45 EMP" considering the technological specifics of the enterprise. The study includes calculations of electrical loads, selection of the optimal number and capacity of transformer substations, as well as the selection and verification of cable lines and protective devices in accordance with operational conditions.

The main result of the research is the evaluation of the effectiveness of reactive power compensation within the enterprise's power supply system.

The work also addresses occupational health and safety issues and emergency situations. Measures aimed at reducing hazardous factors associated with the production processes at the enterprise are presented.

Keywords: electrical network, power supply system, reactive power, compensator.

Drawings – 19

Tables - 24

Bibliographies – 41

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	7
1.1 Відомості про технологічні процеси.....	7
1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання.....	9
2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	14
2.1 Розрахунок електричних навантажень	14
2.2 Вибір оптимальної напруги живлення.....	16
2.3 Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій	19
2.4 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства	26
2.5 Розрахунок струмів короткого замикання напругою 10 кВ	28
2.6 Вибір комутаційного та захисного обладнання ЦРП.....	30
2.7 Розрахунок схеми електропостачання цеху	34
2.8 Реалізація схеми живлення цехової мережі	38
2.9 Вибір захисних апаратів та провідників цехової електромережі	39
2.10 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В	43
3 ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	49
3.1 Аналіз стану реактивного навантаження на підприємстві	49
3.2 Розрахунок оптимальної потужності пристроїв КРП	51
3.3 Визначення оптимальних пристроїв для КРП	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	59
4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	60
4.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочого місця	60
4.1.2 Електробезпека.....	61
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	62
4.2.1 Мікроклімат.....	62
4.2.2 Склад повітря робочої зони	63
4.2.3 Виробниче освітлення	64

4.2.4 Виробничий шум	65
4.3 Пожежна безпека	66
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
ДОДАТКИ	75
Додаток А (обов'язковий). Вихідні дані	76
Додаток Б (обов'язковий). Графічна частина	79
Додаток В (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	86
Додаток Г (обов'язковий). Ілюстративна частина	88

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективне функціонування сучасного промислового підприємства значною мірою залежить від раціонально спроектованої системи електропостачання [1]. При розробці СЕП необхідно враховувати специфіку виробничого процесу, забезпечувати високу надійність живлення, дотримання нормативних вимог до якості електроенергії, енергоефективність та економічну доцільність запропонованих технічних рішень.

Сучасні вимоги до систем електропостачання передбачають оптимізацію конфігурації мереж, вибір ефективного електрообладнання, зменшення втрат активної та реактивної потужності, а також забезпечення стабільної роботи при змінних режимах навантаження. Важливим є також впровадження засобів автоматизації, селективного захисту та компенсації реактивної потужності для покращення параметрів якості електроенергії.

Підвищення ефективності електропостачання досягається шляхом оптимального поєднання технічних, економічних і енергетичних рішень, що дозволяє не лише зменшити експлуатаційні витрати, але й підвищити надійність і керованість енергосистеми підприємства в цілому.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка системи електропостачання ДП «45 ЕМЗ» шляхом підвищення надійності та економічності її роботи, що досягається за рахунок аналізу існуючої схеми живлення, розрахунку електричних навантажень, вибору оптимальної структури СЕП, а також впровадженню компенсації реактивної потужності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- здійснити аналіз технологічних процесів підприємства та охарактеризувати електроприймачі за їх потужністю, режимом роботи і категорією надійності;
- виконати розрахунок електричних навантажень підприємства;
- здійснити вибір кількості та розміщення трансформаторних підстанцій для забезпечення ефективного електроживлення;

- розробити схему електропостачання підприємства та виконати її розрахунок, включаючи вибір комутаційного і захисного обладнання;

- виконати розрахунок та проектування електропостачання цехової мережі;

Об'єкт дослідження – це процес функціонування системи електропостачання з подальшою розробкою заходів щодо компенсації реактивної потужності.

Предмет дослідження – розробка системи електропостачання ДП «45 ЕМЗ».

Методи дослідження. У даній роботі використано загальноприйняті теоретичні методи проектування систем електропостачання, зокрема методи визначення електричних навантажень на основі упорядкованих діаграм навантаження, коефіцієнтів попиту та використання, а також техніко-економічного порівняння варіантів конфігурацій СЕП [6,13].

У науково-дослідній частині дипломної роботи досліджено доцільність і ефективність впровадження засобів компенсації реактивної потужності для покращення енергетичних показників системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод».

Проведено детальний аналіз структури реактивного навантаження підприємства. З метою оптимізації параметрів системи електропостачання створено математичну модель у середовищі MathCad для визначення оптимального розподілу потужностей КРП по шинних вузлах 0,4 кВ. Результати моделювання дозволили обґрунтувати доцільність реалізації комбінованої схеми компенсації, яка включає централізовані, групові та індивідуальні установки КРП.

Практична цінність. Розроблені технічні та організаційні рішення щодо розробки системи електропостачання ДП «45 ЕМЗ», включаючи вибір оптимальних схем живлення, параметрів трансформаторних підстанцій та засобів захисту, можуть бути безпосередньо впроваджені у виробничу інфраструктуру підприємства.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про технологічні процеси

Державне підприємство «45 експериментальний механічний завод» розташоване в місті Вінниця та належить до підприємств машинобудівної галузі оборонно-промислового комплексу України [4]. Основна діяльність заводу зосереджена на проектуванні, виробництві та ремонтному обслуговуванні спеціалізованої техніки й обладнання для потреб армії, а також виконанні державних оборонних замовлень. Підприємство має розвинену інфраструктуру, що включає адміністративно-виробничі корпуси, склади, лабораторії контролю якості та енергетичне господарство.

На рисунку 1.1 зображено головний вхід до території заводу, де проходить основний потік відвідувачів та партнерів підприємства.



Рисунок 1.1 – Вхід на підприємство ДП «45 ЕМЗ»

Завод функціонує в складі концерну «Укроборонпром» і здійснює свою діяльність згідно з чинними нормативами, стандартами якості ISO 9001 та іншими вимогами до військової продукції. На території підприємства розташовані основні виробничі дільниці: механоскладальний цех, ливарний цех, цех термічної обробки, а

також допоміжні підрозділи, включаючи ремонтно-енергетичну службу, транспортний цех та підстанції електропостачання. Підприємство є важливим елементом технічного забезпечення Збройних Сил України.

З метою розширення ринків збуту завод налагоджує тісні взаємини з організаціями, які безпосередньо займаються продажем продукції машинобудівного виробництва. З недавнього часу ще одним пріоритетним напрямком діяльності ДП «45 ЕМЗ» є заготівля та переробка брухту чорних металів, а так само продаж виробів з металу. Ми націлені на довгострокову співпрацю і міцні партнерські відносини, тому намагаємося запропонувати своїм клієнтам найбільш вигідні для них умови.

На рисунку 1.2 зображено розташування виробничих цехів ДП «45 ЕМЗ».

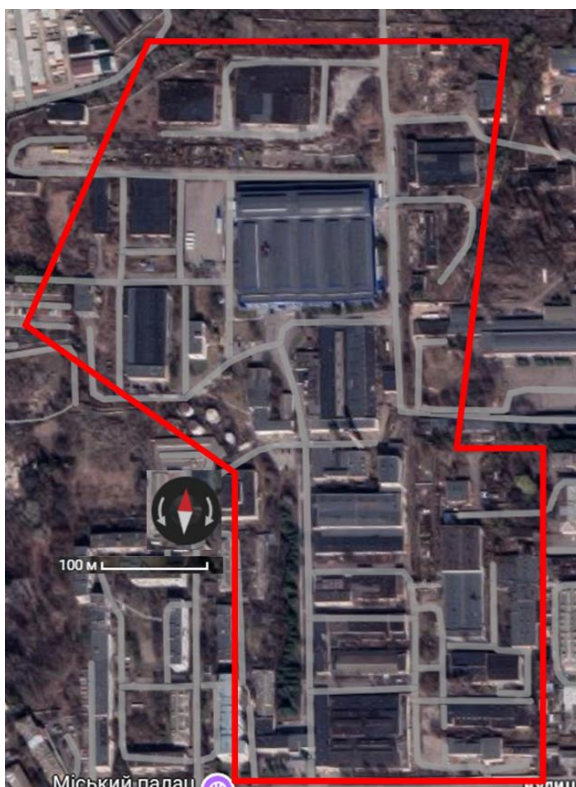


Рисунок 1.2 – Виробничі цехи ДП «45 ЕМЗ»

Основні технологічні процеси на підприємстві охоплюють повний цикл обробки металевих деталей, від заготовки до складання кінцевого виробу. Виробничі ділянки обладнані верстатами з числовим програмним керуванням, зварювальними установками, пресовим обладнанням та печами для термічної

обробки металів. Окрему роль відіграють дільниці механічної обробки, які забезпечують високу точність виготовлення відповідальних деталей.

На заводі також функціонує конструкторсько-технологічний відділ, який супроводжує виробничий процес на всіх етапах: від розробки технічної документації до впровадження нових технологій у серійне виробництво. Виробничий контроль якості реалізується на кожному етапі: вхідний контроль матеріалів, проміжний контроль при виготовленні деталей та вихідний контроль готової продукції. Особлива увага приділяється випробуванням усього виготовленого обладнання, що гарантує його відповідність технічним умовам і військовим стандартам.

За характером технологічного процесу підприємство відноситься до складального виробництва, коли частина комплектуючих вузлів, що виготовляються на інших заводах, збираються, налагоджуються, випробовуються. На підприємстві в основному використовуються технології, холодної обробки металів.

Володіючи унікальним обладнанням, великою документально-технічною базою, підприємство приймає індивідуальні замовлення на виготовлення різних виробів за ескізами або кресленням замовника з чорних і нержавіючих сталей, а також з кольорових металів.

1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання

Державне підприємство «45 експериментальний механічний завод» є стратегічно важливим об'єктом машинобудівної та оборонної галузі України, що забезпечує виготовлення та ремонт техніки спеціального призначення. Функціонування підприємства значною мірою залежить від стабільного та надійного електропостачання [2]. У виробничих цехах активно використовуються енергоємні технології, металообробні верстати, зварювальні комплекси, термічні печі, компресорне обладнання, а також високоточні верстати з числовим

програмним керуванням. Від безперебійної роботи цього обладнання напряду залежить якість продукції та виконання оборонних замовлень у визначені терміни.

З урахуванням характеру виробництва, наявності безперервних технологічних процесів (наприклад, обробка корпусних деталей, термічна обробка заготовок, випробування вузлів) та відповідно до вимог ПУЕ, глава 1.2, електроприймачі підприємства відносяться до II категорії надійності електропостачання [7]. Це передбачає наявність двох незалежних джерел живлення або альтернативних ліній. Такий рівень надійності дозволяє мінімізувати ризики зупинок критичного обладнання, уникнути втрат заготовок та псування дорогої продукції, що знаходиться в обробці. Крім того, стабільне живлення є необхідною умовою для безперервної роботи системи освітлення, вентиляції, а також енергетичного забезпечення аварійно-рятувальних систем..

На генплані ДП «45 ЕМЗ» зображено об'єкти проектування (рисунок 1.3), а в таблиці 1.1 представлено інформацію про назву та активну потужність цехів та допоміжних споруд підприємства.

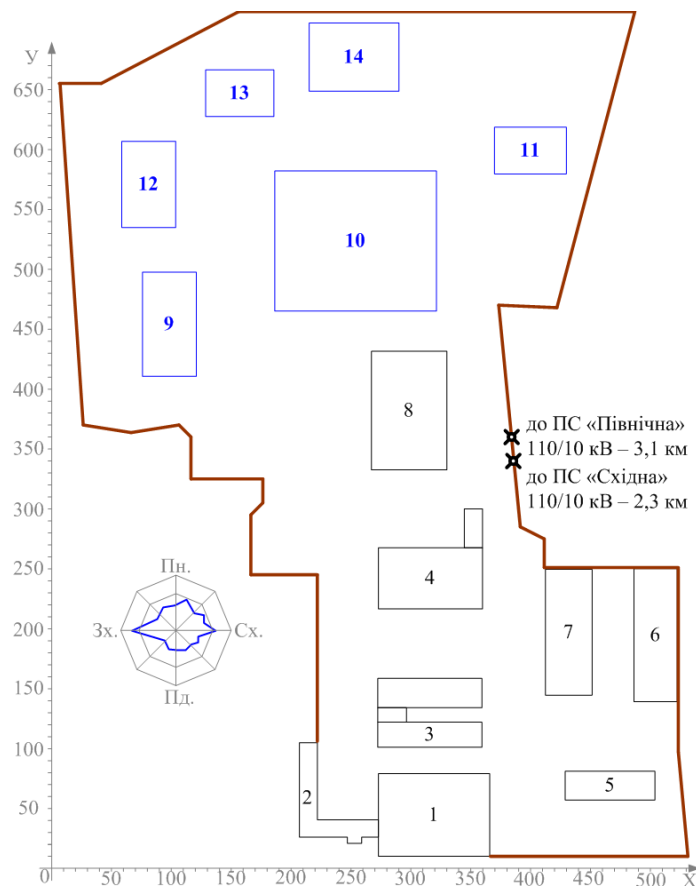


Рисунок 1.3 – Генплан ДП «45 ЕМЗ»

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження ДП «45 ЕМЗ»

№	Назва цеху	P_H , кВт	K_{Π}	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	F, m^2	$P_{\text{ПІТ.О ВТ/ м}^2}$	$K_{\text{ПО}}$	$K_{\text{ПРА}}$
1	Відділи: технічний, технологічний та виробничо-диспетчерський, а також ковальсько-пресова дільниця	400	0,7	0,71	0,99	6417	0,016	0,8	1,2
2	Заводоуправління	100	0,8	0,65	1,17	1983	0,02	0,85	1,2
3	Відділення виготовлення деталей із гуми і пластмас	220	0,9	0,8	0,75	3654	0,016	0,8	1,1
4	Компресорна	250	0,6	0,9	0,48	4437	0,015	0,85	1,1
5	Цех №1	200	0,8	0,8	0,75	1800	0,017	0,85	1,1
6	Цех №2	300	0,8	0,85	0,62	3996	0,018	0,8	1,1
7	Склад металу	110	0,7	0,8	0,75	4095	0,017	0,9	1,1
8	Відділення плазмового різання	450	0,6	0,8	0,75	6237	0,019	0,8	1,2
9	Субабонент №1	40	0,6	0,7	1,02	600	0,017	0,85	1,1
10	Субабонент №2	180	0,9	0,85	0,62	1500	0,02	0,85	1,2
11	Субабонент №3	180	0,7	0,8	0,75	2340	0,019	0,9	1,1
12	Субабонент №4	120	0,8	0,8	0,75	1200	0,02	0,85	1,2
13	Субабонент №5	140	0,9	0,85	0,62	2100	0,02	0,8	1,2
14	Субабонент №6	180	0,7	0,8	0,75	3000	0,016	0,8	1,1

Відстань від підприємства до живлячої підстанції енергосистеми [13]:

на напрузі 10 кВ – «Східна» 110/10 кВ – 3,1 км;

на напрузі 10 кВ – «Північна» 110/10 кВ – 2,3 км;

на напрузі 6 кВ – «Хімік» 110/6 кВ – 2,0 км.

Потужність короткого замикання зі сторони 10 кВ складає $S_{\text{кз}}=200$ МВА.

Вхідна РП складає $Q_{\text{вх}} = 800$ кВАр.

Час використання максимального навантаження $T_{\text{м}}=3500$ год/рік.

Час максимальних втрат складає $\tau_{\text{м}}= 1968,2$ год/рік.

Тариф за активну електроенергію $t= 6,649$ грн/кВт·год [8].

У механічному цеху встановлено обладнання, що потребує стабільного електропостачання, тому його електроприймачі відносяться до II категорії надійності [7]. Зупинка живлення може вплинути на точність обробки металевих деталей, викликати простої та збільшити кількість браку.

Основну частину навантаження формують електродвигуни металообробних верстатів: свердлильних, токарних, фрезерних, шліфувальних, а також допоміжне обладнання. Потужність двигунів варіюється відповідно до функцій верстатів найбільше споживання мають шліфувальні та токарні машини.

Інформація щодо розподілу електричних навантажень у механічному цеху подана в таблиці 1.2, а схема розміщення обладнання наведена на рисунку 1.5.

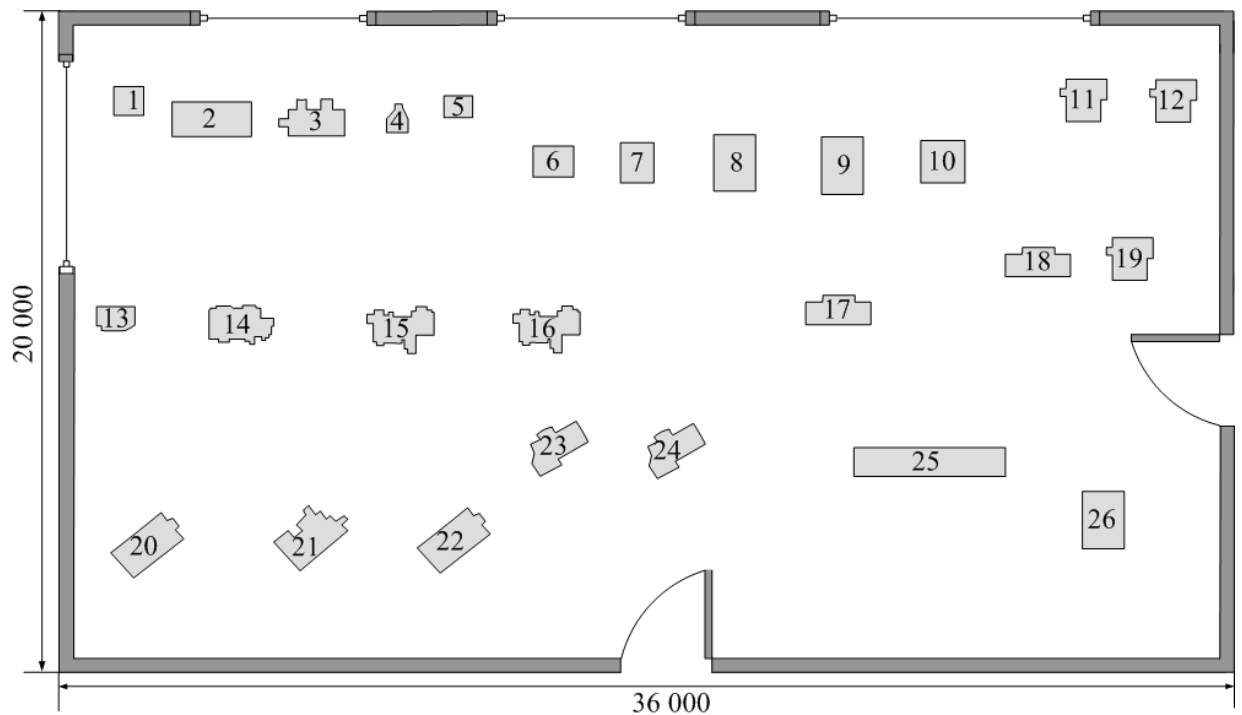


Рисунок 1.4 – План механічного цеху

Таблиця 1.2 – Електричні навантаження цеху

№ на плані	Назва електроприймача	P_n , кВт
1	Вентилятор	3,4
2	Верстат відрізний абразивний	20
3	Кругова ділильна машина	0,56
4	Універсальний ультразвуковий прошивочний верстат	0,8
5	Універсальний копіювально-прошивочний верстат	3,4
6	Анодно-механічний відрізний верстат	14
7	Ультразвуковий прошивочний верстат	3
8-9	Вертикально-свердильний верстат	8,6
10	Вертикально-свердильний верстат	5,8
11-12	Копіювально-фрезерний верстат	0,54
13	Токарно-револьверний верстат	6,8
14	Токарно-револьверний верстат	28
15-16	Токарно-затилочний напівавтомат	13
17-18	Двосторонній центрувальний верстат	1,2
19	Копіювально-фрезерний верстат	0,54
20	Пилка ножовочна	3,6
21	Верстат для стругання пуансонів	2,6
22	Поперечно-стругальний верстат	16
23-24	Поперечно-стругальний верстат	9
25	Токарно-гвинторізний верстат	20
26	Токарно-гвинторізний верстат	20

Висновки по розділу 1.

У першому розділі дипломної роботи було проведено аналіз загальної структури та основних напрямків діяльності Державного підприємства «45 експериментальний механічний завод».

1. Встановлено, що підприємство є частиною оборонно-промислового комплексу України, а його виробничий процес охоплює повний цикл виготовлення техніки спеціального призначення, від обробки металевих заготовок до складання та випробування готових виробів. Основні технологічні процеси реалізуються у спеціалізованих дільницях, оснащених сучасним обладнанням, зокрема верстатами з числовим програмним керуванням, термічними установками та зварювальними комплексами.

2. На основі дослідження характеру електроспоживання встановлено, що електроприймачі підприємства належать до II категорії надійності електропостачання, відповідно до вимог ПУЕ. Це пояснюється значною енергоємністю процесів, наявністю відповідального технологічного обладнання, а також безперервністю окремих виробничих етапів, зокрема термообробки, обробки корпусних деталей та точного зварювання.

Таким чином, система електропостачання ДП «45 ЕМЗ» повинна відповідати підвищеним вимогам до надійності та стійкості, із можливістю подальшої модернізації відповідно до розвитку технологій і стандартів у сфері енергетики.

2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок електричних навантажень є початковим етапом при проектуванні системи електропостачання промислових підприємств [6]. Він дозволяє визначити обсяг електроспоживання виробництва, а також на основі отриманих значень здійснити правильний вибір обладнання, що забезпечить надійне функціонування СЕП підприємства.

Точність виконаного розрахунку безпосередньо залежить від особливостей технологічного процесу. На ДП «45 Експериментальний механічний завод» функціонують різні виробничі дільниці, від механоскладального цеху до відділення термічної обробки та зварювання. Більшість обладнання, зокрема верстати з числовим програмним керуванням, зварювальні апарати та компресори, потребують стабільного електроживлення та працюють у режимах із високою тривалістю навантаження. У зв'язку з цим важливо враховувати циклічність та нерівномірність споживання при розрахунку навантаження.

З урахуванням характеру роботи електроприймачів, розрахунок навантажень на підприємстві здійснюється за методом коефіцієнтів попиту. Цей підхід дозволяє точно врахувати ймовірність одночасного включення обладнання, уникнути завищених значень проектної потужності та запобігти перевантаженню елементів мережі. Методика передбачає розрахунок активної, реактивної та повної потужності окремо для кожного цеху, а також для підприємства загалом.

Коефіцієнт попиту (K_n) дозволяє оцінити реальне навантаження на електромережу, враховуючи режим експлуатації обладнання в межах зміни [6]. Такий підхід сприяє оптимальному вибору параметрів трансформаторів, кабельних ліній та пристроїв захисту. У таблиці 2.2 подано формули та результати розрахунку електричних навантажень для кожного цеху та субабонентів підприємства.

Таблиця 2.1 – Приклад розрахунку навантажень

Назва параметра	Формула	Заводоуправління (№2 на генплані)
Коефіцієнт реактивної потужності	$\operatorname{tg}(\varphi) = \operatorname{tg}(\arg \cos(\varphi))$	$\operatorname{tg}(\varphi) = \operatorname{tg}(\arg \cos(0,8)) = 0,75$
Розрахункова активна потужність освітлення, кВт	$P_{po} = F \cdot k_{по} \cdot k_{пра} \cdot P_{пито}$	$P_{po} = 1983 \cdot 0,85 \cdot 1,2 \cdot 0,02 = 40,45$
Середня активна потужність, кВт	$P_c = k_b \cdot P_n$	$P_c = 0,8 \cdot 100 = 80$
Середня реактивна потужність, квар	$Q_c = k_b \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi)$	$Q_c = 0,8 \cdot 100 \cdot 0,75 = 60$
Розрахункова активна потужність, кВт	$P_p = P_c + P_{po}$	$P_p = 80 + 40,45 = 120,45$
Розрахункова реактивна потужність, квар	$Q_p = k_n \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi)$	$Q_p = 0,8 \cdot 100 \cdot 0,75 = 60$
Розрахункова повна потужність, кВА	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	$S_p = \sqrt{120,45^2 + 60^2} = 134,57$
Питома густина навантажень, кВА/м ²	$\rho = \frac{S_p}{F}$	$\rho = \frac{134,57}{1983} = 0,07$
Сумарна середня активна потужність, кВт	$P_{c\Sigma} = \sum_1^N P_c$	$P_{c\Sigma} = 2115$
Сумарна середня реактивна потужність, квар	$Q_{c\Sigma} = \sum_1^N Q_c$	$Q_{c\Sigma} = 1551,82$
Сумарна розрахункова активна потужність освітлення, кВт	$P_{po\Sigma} = \sum_1^N P_{po}$	$P_{po\Sigma} = 718,48$
Сумарна розрахункова активна потужність, кВт	$P_{p\Sigma} = k_o \cdot \sum_1^N k_n \cdot P_n + P_{po\Sigma}$	$P_{p\Sigma} = 2115 \cdot 0,95 + 718,48 = 2727,73$
Сумарна розрахункова реактивна потужність, квар	$Q_{p\Sigma} = k_o \cdot \sum_1^N P_n \cdot K_n \cdot \operatorname{tg}$	$Q_{p\Sigma} = 1551,82 \cdot 0,95 = 1474,23$
Сумарна розрахункова повна потужність, кВА	$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}$	$S_{p\Sigma} = \sqrt{2727,7^2 + 1474,23^2} = 3100,6$
Сумарна питома густина навантажень, кВА/м ²	$\rho_{\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{F_{\Sigma}}$	$\rho_{\Sigma} = \frac{3100,6}{43359} = 0,07$

Для забезпечення точності розрахунків електричних навантажень застосовано автоматизовану таблицю, розроблену в середовищі Microsoft Excel [23]. Вона дозволяє оперативно вводити вихідні дані, враховувати специфіку технологічного обладнання, а також швидко вносити зміни до розрахунків у разі оновлення технічних характеристик споживачів або конфігурації системи електропостачання.

Таблиця 2.2 – Розрахунок електричних навантажень підприємства

№	Назва цеху	Силове навантаження						Освітлювальне навантаження				Сумарне навантаження			
		P _н , кВт	K _п	cosφ	tgφ	P _с , кВт	Q _с , квар	F, м ²	P _{пит.о} , Вт/м ²	K _{по}	K _{пра}	P _о , кВт	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	Відділи	400	0,7	0,71	0,99	280	277,71	6417	0,016	0,8	1,2	98,57	378,57	277,71	469,51
2	Заводоуправління	100	0,8	0,8	0,75	80	60,00	1983	0,02	0,85	1,2	40,45	120,45	60,00	134,57
3	Відділення виготовлення	220	0,9	0,8	0,75	198	148,50	3654	0,016	0,8	1,1	51,45	249,45	148,50	290,30
4	Компресорна	250	0,6	0,9	0,48	150	72,65	4437	0,015	0,85	1,1	62,23	212,23	72,65	224,32
5	Цех №1	200	0,8	0,8	0,75	160	120,00	1800	0,017	0,85	1,1	28,61	188,61	120,00	223,55
6	Цех №2	300	0,8	0,85	0,62	240	148,74	3996	0,018	0,8	1,1	63,30	303,30	148,74	337,80
7	Склад металу	110	0,7	0,8	0,75	77	57,75	4095	0,017	0,9	1,1	68,92	145,92	57,75	156,93
8	Плазмового різання	450	0,6	0,8	0,75	270	202,50	6237	0,019	0,8	1,2	113,76	383,76	202,50	433,91
9	Субабонент №1	40	0,6	0,7	1,02	24	24,48	600	0,017	0,85	1,1	9,54	33,54	24,48	41,52
10	Субабонент №2	180	0,9	0,85	0,62	162	100,40	1500	0,02	0,85	1,2	30,60	192,60	100,40	217,20
11	Субабонент №3	180	0,7	0,8	0,75	126	94,50	2340	0,019	0,9	1,1	44,02	170,02	94,50	194,51
12	Субабонент №4	120	0,8	0,8	0,75	96	72,00	1200	0,02	0,85	1,2	24,48	120,48	72,00	140,35
13	Субабонент №5	140	0,9	0,85	0,62	126	78,09	2100	0,02	0,8	1,2	40,32	166,32	78,09	183,74
14	Субабонент №6	180	0,7	0,8	0,75	126	94,50	3000	0,016	0,8	1,1	42,24	168,24	94,50	192,96
	Всього по підприємству	2870				2115	1551,8	43359				718,4	2727,7	1474,2	3100,6

Отримані результати дають змогу подальшого проектування системи електропостачання підприємства.

2.2 Вибір оптимальної напруги живлення

Визначення класу напруги для зовнішньої лінії живлення є важливим етапом техніко-економічного обґрунтування проекту, який тісно пов'язаний із вибором оптимальної схеми системи електропостачання. Такий вибір базується на аналізі та зіставленні кількох можливих варіантів [13] з урахуванням технічних вимог і економічної доцільності. У процесі проектування для визначення доцільного рівня напруги лінії електропередачі може застосовуватись спеціальна формула [13], що враховує параметри навантаження та відстань до джерела живлення:

$$U_{\text{ек}} = 4,34 \sqrt{L + 16 \cdot P_p} . \quad (2.1)$$

Застосування цієї формули є доцільним у випадках, коли підприємство розташоване на відстані до 250 км від джерела електропостачання, а загальне

навантаження його виробничих потужностей не перевищує 60 МВт. Враховуючи ці умови, для забезпечення ефективного та стабільного живлення об'єкта доцільно обрати відповідний рівень напруги лінії електропередачі:

$$U_{\text{ек}} = 4,34\sqrt{2,3 + 16 \cdot 2727} = 29,4 \text{ (кВ)}.$$

Розрахунок показав, що для подальшого порівняння доцільно вибрати два класи напруги 10 та 35 кВ. Теоретично, застосування напруги 35 кВ дозволяє знизити втрати електроенергії на лініях передачі та зменшити перерізи кабелів та величину оплати за електроенергію згідно тарифу. Проте остаточне рішення має базуватись не лише на енергетичних розрахунках, а й на аналізі реальної інфраструктури, логістичних та економічних умов.

Підприємство розташоване в межах щільної міської забудови м. Вінниця, що суттєво обмежує можливість прокладання нових повітряних або кабельних ліній напругою 35 кВ. Найближчі підстанції з таким класом напруги ПС «Нова» та ПС «Південна» знаходяться на значній відстані, що потребувало б будівництва нової ГПП 35/10 та прокладання протяжних високовольтних трас у складних міських умовах. Це суттєво збільшує капітальні витрати, строки реалізації та узгодження з міськими службами.

Водночас на відстані до 3 км від території підприємства розташовані кілька ПС 110/10 кВ («Східна», «Північна»), що мають вільні приєднувальні потужності та дозволяють здійснити живлення заводу на рівні 10 кВ. Підключення до цих підстанцій за допомогою двох незалежних кабельних ліній забезпечує відповідність II категорії надійності без необхідності впровадження складних технічних рішень.

Таким чином, вибір зовнішнього електропостачання на напрузі 10 кВ є технічно обґрунтованим та економічно доцільним для ДП «45 ЕМЗ» з урахуванням наявної інфраструктури, топографії місцевості та вимог щодо надійності живлення.

Визначаємо розрахунковий струм ліній для нормального режиму роботи:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}, \quad (2.2)$$

$$I_p = \frac{3100,6}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 89,51 \text{ (A)}.$$

В якості кабельної лінії 10 кВ приймаємо кабелі силові з алюмінієвими СПЖ, ізоляцією зі зшитого поліетилену, поздовжньою та поперечною герметизацією екрану та зовнішньою оболонкою з полімерної композиції, що не розповсюджують горіння типу АПвЭгаПнг-10 3×95 [18], допустимий струм якого складає 221 А.

Результати розрахунку капітальних вкладень в СЕП наведені в таблиці 2.3, а щорічних витрат – в таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 – Розрахунок капітальних вкладень

Перелік елементів схем	Вартість	10 кВ	
		Кількість	Вартість
Лінії електропередавання, км	тис.грн. за 1 км КЛ	км	тис.грн.
ПС1-ЦРП КЛ 10кВ АПвЭгаПнг-10 3×95	556	3,1	1723,6
ПС2-ЦРП КЛ 10кВ АПвЭгаПнг-10 3×95	556	2,3	1278,8
ЦРП-ТП1 КЛ 10кВ АПвЭгаПнг-10 3×50	479	0,4	191,6
ЦРП-ТП2 КЛ 10кВ АПвЭгаПнг-10 3×50	479	0,1	47,9
ВСЬОГО по лініях			3241,9
Підстанції	тис.грн. за одиницю ПС.		
Розширення РП-10 кВ	18,7	2	37,4
Спорудження РП-10 кВ	124,6	1	124,6
ВСЬОГО по ПС			162
ВСЬОГО			3403,9

Навантажувальні втрати активної електричної енергії визначають як добуток витрат активної потужності в максимальному режимі навантаження ΔP_m на час максимальних витрат τ :

$$\Delta W_a = \Delta P_m \cdot \tau = 3I_m^2 R_e \cdot 10^{-3} \cdot \tau \text{ (кВт·год/рік)}. \quad (2.3)$$

де T_M – час використання максимального навантаження ($T_M = W/P_M$, тут W – кількість спожитої енергії);

Вартість витрат електроенергії в ЛЕП:

$$C_{\Delta W_{10}} = 2 \cdot 3 \cdot 89,51^2 \cdot 0,641 \cdot 3,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1968,2 \cdot 6,649 = 624,01 \text{ (тис.грн./рік)}.$$

Зведені річні витрати визначаються за формулою:

$$З = E_H \cdot K + B. \quad (2.4)$$

де E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень ($E_H = 0,1$ [14]);

K – капітальні вкладення;

B – щорічні поточні витрати на експлуатацію СЕП.

Зведені річні витрати будуть складати:

$$З_{10} = 0,1 \cdot 3403,9 + 1124,38 = 1464,77 \text{ (тис.грн.)}.$$

Таблиця 2.4 – Розрахунок щорічних витрат

Перелік поточних витрат	10 КВ
Щорічні витрати на технічне обслуговування і ремонт, в тому числі:	
КЛ 10 кВ, 3,8% від К	129,35
ПС 10 кВ, 4,3% від К	146,37
Всього щорічні витрати на обслуговування, ВО тис.грн.	275,72
Амортизація, в тому числі:	
КЛ 10 кВ, 3% від К	102,12
ПС 10 кВ, 3,6% від К	122,54
Всього щорічні витрати на амортизацію, Ва тис.грн.	224,66
Тариф на ЕЕ, грн./кВт*год	6,649
Вартість втрат електроенергії в ЛЕП, ВΔW тис.грн.	624,01
ВСЬОГО щорічні витрати (В) тис.грн.	1124,38

Таким чином, попри теоретичну доцільність живлення на напрузі 35 кВ з урахуванням реальної енергетичної інфраструктури, забудови території та техніко-економічних міркувань, для проектування приймається напруга 10 кВ, що дозволяє реалізувати надійну, доступну та економічно ефективну СЕП.

2.3 Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій

Значення густини питомого навантаження на 1 м² площі цеху [6]:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}}. \quad (2.5)$$

Кількості необхідних двотрансформаторних підстанцій [6]:

$$N_{\text{ек}} \geq \frac{S_{\Sigma}}{2 \cdot S_{\text{ном.т.}} \cdot k_3}. \quad (2.6)$$

де $k_3 = 0,7 - 0,75$ – для споживачів I категорії [7];

$k_3 = 0,8 - 0,85$ – для споживачів II, III категорій [7];

Повна розрахункова потужність всіх цехів підприємства:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n S_{Pi} = 3100,6 \text{ (кВА)}.$$

Сумарна площа всіх цехів підприємства:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n F_i = 43359 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Значення питомої густини навантаження підприємства на 1 м^2 площі цехів:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{3100,63}{43359} = 0,07 \text{ (кВ} \cdot \text{А/м}^2\text{)}.$$

Даній густині відповідають двотрансформаторні підстанції з потужністю апаратів $S_{\text{ном.т.}} = 630$ чи 1000 кВА. Розглянемо та порівняємо між собою два варіанти:

1. При $S_{\text{ном.т.}} = 630$ кВА число ТП:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{3100,6}{2 \cdot 630 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 3,07 \div 2,89 \text{ (шт.)}.$$

2. При $S_{\text{ном.т.}} = 1000$ кВА число ТП:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{3100,6}{2 \cdot 1000 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 1,82 \div 1,94 \text{ (шт.)}.$$

Порівняльні характеристики навантаження для обох варіантів наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

Варіант 1				Варіант 2			
Цех	Sp, кВА	630 кВА		Цех	Sp, кВА	1000 кВА	
		N, шт	k ₃			N, шт	k ₃
1,2,3,5	1116,0	2	0,85	1,2,3,5,6,7	1606,9	2	0,8
4,6,8,9	1035,0	2	0,84	4,8-14	1625,0	2	0,81
7,10-14	1084,3	2	0,85				

Здійснюємо техніко-економічне порівняння варіантів спорудженої системи електропостачання підприємства. Паспортні дані трансформаторів наведено в таблиці 2.6 [10].

Таблиця 2.6 – Параметри трансформаторів

S _{н.тр.} , кВА	U _{н.т.} , кВ	ΔP _{xx} , кВт	ΔP _к , кВт	I _{xx} %	U _к %
630	10	1,5	8	2,5	5,5
1000	10	2,1	10,5	1,4	6

Однолінійна схема електропостачання ДП «45 ЕМЗ» є радіальною на напрузі 10 кВ. Проводимо техніко-економічне порівняння варіантів спорудження підстанцій потужністю 630 кВА і 1000 кВА за допомогою методу річних витрат (рисунок 2.1).

Кращий варіант задіяних ТП буде з меншими приведеними затратами:

$$B_{\text{пр}} = (E_n + E_a)K + m\Delta P + 3_{\text{пер}}, \quad (2.7)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт (0,1);

E_a – амортизація ($E_a = 0,063$ [14]);

K – капітальні вкладення в ТП, грн;

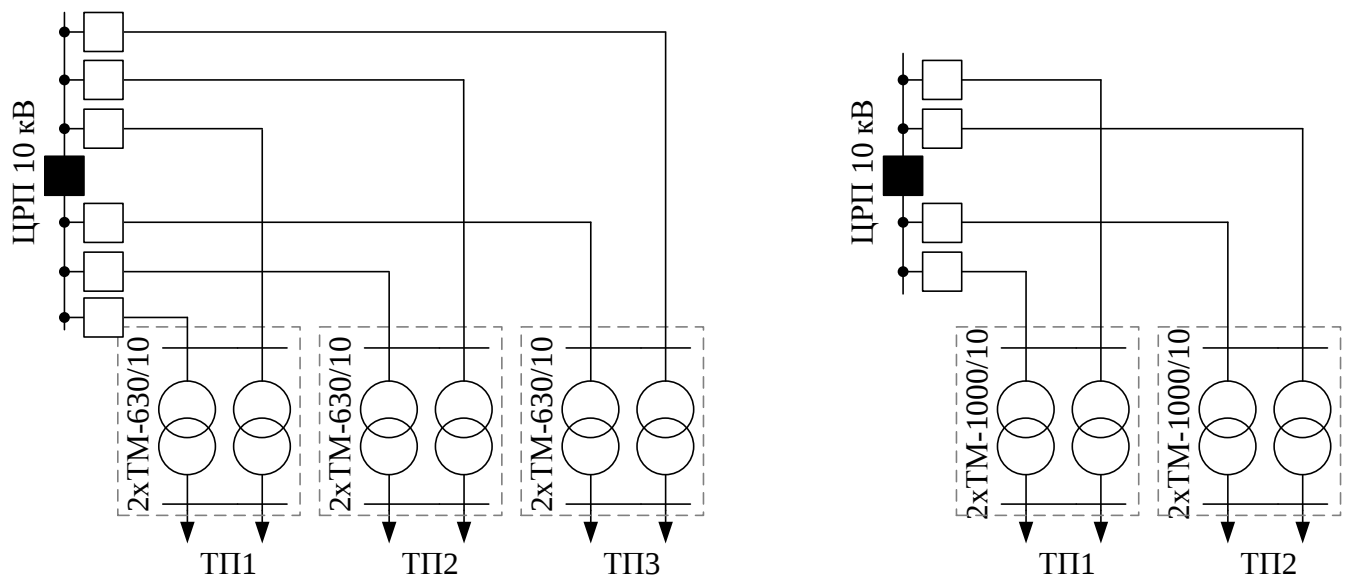


Рисунок 2.1 – Варіанти схем внутрішньозаводського електропостачання

Втрати потужності в трансформаторах розраховуємо за формулою [5,7]:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{ном.т.}}} \right)^2, \quad (2.8)$$

Вартість річних втрат потужності розраховуємо за допомогою діючого тарифу:

$$m = t \cdot \tau, \quad (2.9)$$

де t – тариф за електроенергію, грн/кВт·год;

Приймаємо, що $t = 6,649$ грн/кВт·год [8]. для напруги живлення 10 кВ, а $T_{\text{м}} = 3500$. Звідси вартість річних витрат активної потужності в трансформаторах:

$$m = 6,649 \cdot \left(0,124 + \frac{3500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 13086,3 \text{ (грн/рік)}.$$

Втрати потужності при потужності трансформаторів 630 кВА:

$$\Delta P_{630} = 6 \cdot 1,5 + \frac{1}{6} \cdot 8 \cdot \left(\frac{3100,6}{630} \right)^2 = 41,3 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності при потужності трансформаторів 1000 кВА:

$$\Delta P_{1000} = 4 \cdot 2,1 + \frac{1}{4} \cdot 10,5 \cdot \left(\frac{3100,6}{1000} \right)^2 = 33,63 \text{ (кВт)}.$$

Вартість спорудження двотрансформаторної ТП [10]:

$$K_{630} = 805120 \text{ (грн)},$$

$$K_{1000} = 1169600 \text{ (грн)}.$$

Остаточню розраховуємо, який із запропонованих варіантів буде вигіднішим:

$$B_{\text{пр}630} = 3 \cdot (0,1 + 0,063) \cdot 805120 + 13086,3 \cdot 41,3 = 934167,87 \text{ (грн)},$$

$$B_{\text{пр}1000} = 2 \cdot (0,1 + 0,063) \cdot 1169600 + 13086,3 \cdot 33,63 = 821381,87 \text{ (грн)}.$$

Отже обираємо варіант спорудження СЕП з двома двотрансформаторними підстанціями потужність 2хТМ-1000/10. Даний варіант є більш економічніший.

Таблиця 2.7 – Номінальні параметри трансформаторів

№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Рр, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА	St, кВА	N, шт.	Кз, в.о.
ТП1	1	Відділи	378,57	277,71	469,51	1000	2	0,80
	2	Заводоуправління	120,45	60,00	134,57			
	3	Виготовлення деталей	249,45	148,50	290,30			
	5	Цех №1	188,61	120,00	223,55			
	6	Цех №2	303,30	148,74	337,80			
	7	Склад металу	145,92	57,75	156,93			
		Всього по ТП1	1386,29	812,70	1606,95			
ТП2	4	Компресорна	212,23	72,65	224,32	1000	2	0,81
	8	Плазмове різання	383,76	202,50	433,91			
	9	Субабонент №1	33,54	24,48	41,52			
	10	Субабонент №2	192,60	100,40	217,20			
	11	Субабонент №3	170,02	94,50	194,51			
	12	Субабонент №4	120,48	72,00	140,35			
	13	Субабонент №5	166,32	78,09	183,74			
	14	Субабонент №6	168,24	94,50	192,96			
		Всього по ТП2	1447,18	739,12	1625,00			

У процесі проектування системи електропостачання формується картограма електричних навантажень, що слугує інструментом для просторового аналізу розподілу потужностей між основними споживачами та трансформаторними

підстанціями. Основною її метою є наочне відображення зон концентрації електроспоживання, що дозволяє оптимізувати трасування мереж та забезпечити раціональне розміщення ЦРП та ТП.

Місце розташування цехових ТП можна визначити за наступними формулами:

$$X_{ТП} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{Mi} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^N P_{Mi}}, \quad Y_{ТП} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{Mi} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N P_{Mi}}. \quad (2.10)$$

З метою зниження втрат електроенергії та підвищення ефективності роботи мережі, навантаження між трансформаторними підстанціями розподіляються так, щоб уникнути небажаних перетоків потужності й забезпечити рівномірне завантаження трансформаторів.

Дані для даного розрахунку беремо з таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Координати розміщення ЕП

№	Цех	ТП	Pr, кВт	X, м	Y, м	Pr*X, кВт*м	Pr*Y, кВт*м
1	Відділи	1	378,57	320	45	121140,84	17035,43
2	Заводоуправління	1	120,45	240	63	28908,77	7588,55
3	Відділення виготовлення	1	249,45	320	110	79823,46	27439,32
4	Компресорна	2	212,23	320	240	67913,26	50934,94
5	Цех №1	1	188,61	470	70	88647,17	13202,77
6	Цех №2	1	303,30	510	195	154681,29	59142,84
7	Склад металу	1	145,92	435	200	63474,70	29183,77
8	Плазмового різання	2	383,76	300	380	115128,86	145829,89
9	Субабонент №1	2	33,54	100	455	3353,70	15259,34
10	Субабонент №2	2	192,60	255	520	49113,00	100152,00
11	Субабонент №3	2	170,02	400	600	68006,16	102009,24
12	Субабонент №4	2	120,48	85	570	10240,80	68673,60
13	Субабонент №5	2	166,32	135	660	22453,20	109771,20
14	Субабонент №6	2	168,24	220	670	37012,80	112720,80
			ΣPr, кВт	ΣPr*X/ΣPr	ΣPr*Y/ΣPr	ΣPr*X, кВт*м	ΣPr*Y, кВт*м
	Сумарно по ТП1		1386,29	387,13	110,79	536676,22	153592,68
	Сумарно по ТП2		1447,18	257,90	487,40	373221,78	705351,01
	Координати ЦЕН		2833,48	321,12	303,14	909898,00	858943,69

Положення трансформаторних підстанцій на території ДП «45 експериментальний механічний завод» визначалося з урахуванням вимог

генерального плану, просторових обмежень і результатів електротехнічного розрахунку. На початковому етапі було встановлено оптимальні координати підстанцій шляхом аналізу картограми навантажень та мінімізації сумарних довжин кабельних ліній, що дозволяє знизити втрати потужності й витрати на прокладення кабельних трас.

У реальних умовах точне дотримання розрахованих координат неможливе через наявність існуючих споруд, транспортних проходів, складських зон та підземних комунікацій. Тому фактичні місця розташування ТП-1, ТП-2 та центрального розподільчого пункту (ЦРП) були скориговані з урахуванням будівельних, експлуатаційних і логістичних факторів. Наприклад, ТП-1 зміщено ближче до зони розміщення цехів 1, 3 і 5, де зосереджене основне навантаження, а ТП-2 розташовано в центрально-північній частині ділянки, що забезпечує ефективне підключення цехів 4,8.

Таке уточнення розміщення дозволило зберегти оптимальну структуру системи електропостачання, мінімізувати відхилення від розрахункових параметрів і забезпечити відповідність вимогам з обслуговування, пожежної безпеки та зручності прокладання кабельних ліній. В таблиці 2.9 наведено порівняння координат, отриманих на основі технічного розрахунку, з їх актуальним положенням відповідно до генплану.

Таблиця 2.9 – Координати оптимального розміщення ТП

	Розраховані		Оптимальні на генплані	
	Х, м	У, м	Х, м	У, м
ТП-1	387,13	110,79	365	110
ТП-2	257,90	487,40	335	340
ЦРП	321,12	303,14	350	305

Будуємо картограму навантажень на генплані підприємства. Радіус кола пропорційно навантаженню цеху буде визначатися за формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m_p}}. \quad (2.12)$$

Величина сектору, яке характеризує освітлювальне навантаження цеху:

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{Oi}}{P_{Pi}}. \quad (2.13)$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Дані для побудови картограми навантажень

№	Цех	X, м	Y, м	P _p , кВт	P _o , кВт	r, м	α°	d, м
1	Відділи	320	45	378,57	98,57	49,10	93,7	98,21
2	Заводоуправління	240	63	120,45	40,45	27,70	120,9	55,40
3	Відділення виготовлення	320	110	249,45	51,45	39,86	74,2	79,72
4	Компресорна	320	240	212,23	62,23	36,77	105,6	73,53
5	Цех №1	470	70	188,61	28,61	34,66	54,6	69,32
6	Цех №2	510	195	303,30	63,30	43,95	75,1	87,91
7	Склад металу	435	200	145,92	68,92	30,49	170,0	60,97
8	Плазмового різання	300	380	383,76	113,76	49,44	106,7	98,88
9	Субабонент №1	100	455	33,54	9,54	14,62	102,4	29,23
10	Субабонент №2	255	520	192,60	30,60	35,03	57,2	70,05
11	Субабонент №3	400	600	170,02	44,02	32,91	93,2	65,81
12	Субабонент №4	85	570	120,48	24,48	27,70	73,1	55,40
13	Субабонент №5	135	660	166,32	40,32	32,55	87,3	65,10
14	Субабонент №6	220	670	168,24	42,24	32,74	90,4	65,47

2.4 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства

Згідно з ПУЕ [4], електрообладнання необхідно підбирати за типом установки, величиною номінального струму і номінальною напругою та перевіряється на термічну і динамічну стійкість при аварійних режимах роботи.

Визначимо $I_{\max}$ для нормального режиму для ЦРП:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{3100,6}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 89,5 \text{ (A)},$$

$$I_{p.\text{па}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{3100,6}{\sqrt{3} \cdot 10} = 179 \text{ (A)},$$

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

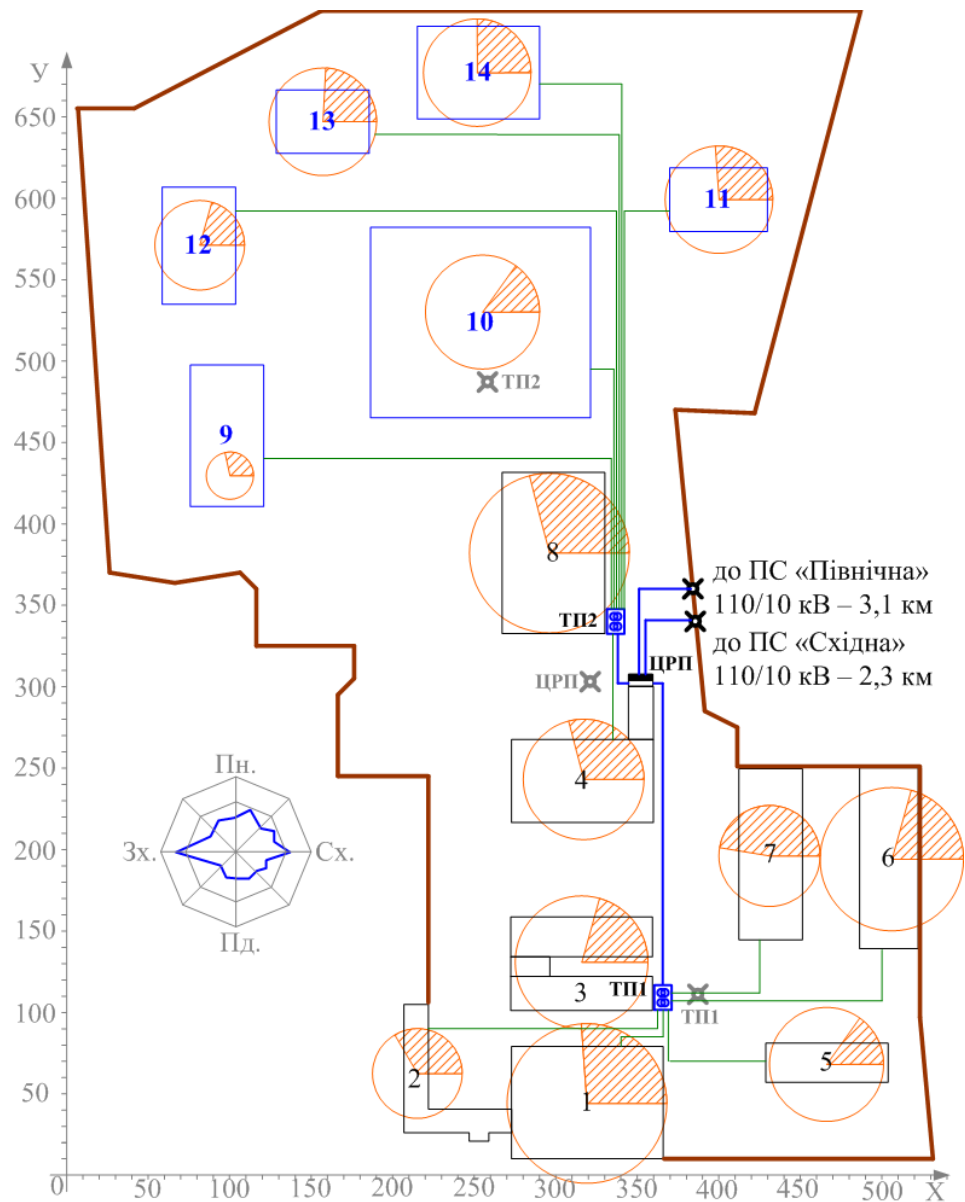


Рисунок 2.2 – Генеральний план підприємства

В якості кабельної лінії 10 кВ обираємо АПвЕгаПнг-10 3×95 [18], допустимий струм при прокладанні у землі складає 221 А [18] прокладені в траншеї для живлення ЦРП підприємства від підстанцій «Північна» та «Східна».

Перевірка допустимого нагрівання кабелів із зшитого ПЕ виконується для нормального та післяаварійного режимів з урахування умов прокладки:

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}, \quad (2.14)$$

$$I_{p, \text{па}} \leq \alpha \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}. \quad (2.15)$$

де k_1 - коефіцієнт, що характеризує температуру навколишнього середовища;

k_2 - коефіцієнт, що характеризує глибину прокладення кабелів в землі;

k_3 - коефіцієнт, що характеризує питомий термічний опір ґрунту;

k_4 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в землі;

k_5 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в повітрі;

k_6 - коефіцієнт, що характеризує вплив перерізу екрана.

$$179 \text{ (A)} \leq 1 \cdot 0,95 \cdot 1,22 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 221 = 204,9 \text{ (A)}.$$

Дана умова виконується. Також необхідно провести перевірку кабелів зі зшитого поліетилену на термічну стійкість до дії струмів КЗ.

На рисунку 2.3 показано опис конструкції та технічні характеристики кабелю АПвЭгаПнг-10 3×95.

АПвЭгаПу-10 3х95 ТУ У 31.3-00214534-017-2003 Кабелі силові з алюмінієвими СПЖ, ізоляцією зі зшитого поліетилену, поздовжньою та поперечною герметизацією екрану та посиленою зовнішньою оболонкою з поліетилену ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ:		
Номинальна напруга	кВ	10
Максимальна напруга	кВ	12
Число та номінальний перетин струмопровідних жил	мм ²	3 х 95
Товщина ізоляції	мм	3.4
Мінімальний перетин екрану	мм ²	16
Допустимий струм короткого замикання по екрану мінімального перетину	кА	3.3
Максимально допустимий струм короткого замикання по струмопровідній жилі	кА	8.9
Тривало допустимі струмові навантаження *		
• при прокладанні у повітрі	А	236
• при прокладанні в ґрунті	А	203
Рівень часткових розрядів при номінальній напрузі, не більше	рС	6
Максимально допустима температура жили		
• тривало	° С	+90
• в аварійному режимі	° С	+130
• при короткому замиканні	° С	+250
Діапазон робочих температур	° С	-60 ... +50
Мінімальний радіус вигину при прокладанні	мм	976

Рисунок 2.3 – Конструкція кабелю АПвЭгаПнг-10 3×95

2.5 Розрахунок струмів короткого замикання напругою 10 кВ

З метою перевірки раніше обраних силових вимикачів та ліній живлення необхідно здійснити розрахунок струмів КЗ [12]. Розрахункова схема представлена на рисунку 2.4.

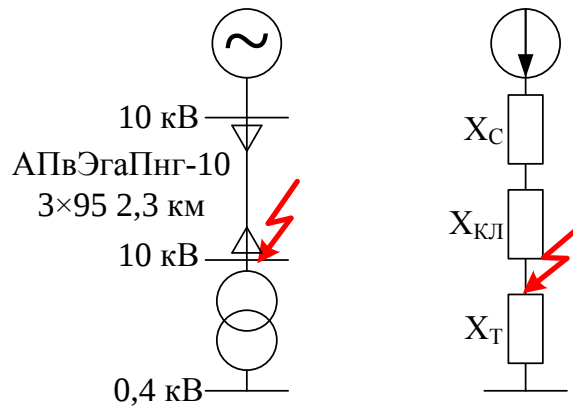


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема і схема заміщення

Розраховуємо значення струмів у точці К-1:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ (кА)}, \quad (2.16)$$

Визначаємо опори елементів, що зведені до базисних умов. Для системи:

$$X_C = \frac{S_6}{S_K} = \frac{1000}{200} = 5 \text{ (в.о.)}, \quad (2.17)$$

Для визначення опору лінії скористаємось формулою:

$$X_L = X_{\text{пит}} \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{\text{сер}}^2} = 0,064 \cdot 2,3 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 1,34 \text{ (в.о.)}, \quad (2.18)$$

Результуючий опір рівний:

$$X_{\Sigma} = X_C + X_L = 5 + 1,34 = 6,34 \text{ (в.о.)}, \quad (2.19)$$

Визначаємо періодичну складову струму трифазного Кз в початковий часу:

$$I_{\text{ПО}} = \frac{E_C''}{X_{\Sigma}} \cdot I_6 = \frac{1}{6,34} \cdot 57,7 = 9,1 \text{ (кА)}, \quad (2.20)$$

Періодична складова струму від енергосистеми не змінюється:

$$I_{\text{Пт.С}} = I_{\text{ПО}} = 9,1 \text{ (кА)}, \quad (2.21)$$

Розрахунковий час початку розмикання контактів вимикача:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{B.B.} = 0,01 + 0,09 = 0,1 \text{ (с)}, \quad (2.22)$$

де $t_{pz.min}$ - мінімальний час спрацювання реле захисту;

Аперіодична складова струму КЗ:

$$i_{ат.С} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_{ac}}} = \sqrt{2} \cdot 9,1 \cdot e^{\frac{-0,1}{0,03}} = 0,46 \text{ (кА)}, \quad (2.23)$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{уд.С} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot \left(1 + e^{\frac{-\tau}{T_{ac}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 9,1 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,03}} \right) = 22,1 \text{ (кА)}, \quad (2.24)$$

Тепловий імпульс:

$$B_k = I_{ПО}^2 \cdot (t_{від} + T_{ac}) = 9,1^2 \cdot (0,6 + 0,03) = 52,2 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}. \quad (2.25)$$

Отримані результати дають можливість перевірки обраного обладнання.

2.6 Вибір комутаційного та захисного обладнання ЦРП

Високовольтний вимикач вибирається відповідно до номінальної напругою і струмом з урахуванням можливості протидії величинам струму КЗ:

$$U_{ном.В} \geq U_{ном.мережі}, \quad (2.26)$$

$$I_{ном.В} \geq I_{max}. \quad (2.27)$$

Комплектація РП 10 кВ ПС передбачає застосування вакуумних вимикачів типу ВРС-10-40/400 УЗ з такими технічними характеристиками: $U_n = 10 \text{ кВ}$; $I_n = 40 \text{ кА}$; $I_{н.вимк} = 40 \text{ кА}$; $i_{дин} = 100 \text{ кА}$; $I_{тер} = 10 \text{ кА}$; $t_{тер} = 4 \text{ с}$ [14]. Номінальний струм даних силових вимикачів рівний $I_{ном.В} = 400 \text{ А} > I_{м.ав} = 111,8 \text{ А}$ для всіх приєднань до ЦРП.

Високовольтні вимикачі повинні бути перевірені на комутаційну здатність, на динамічну стійкість, а також на термічну стійкість до дії струмів КЗ. Перевірка комутаційної здатності здійснюється за умовами:

$$I_{н.вимк.} \geq I_{пт}, \quad (2.28)$$

$$\sqrt{2}I_{н.вимк.} \cdot \left(1 + \frac{\beta_n}{100}\right) \geq \sqrt{2}I_{пт} + i_{ат}. \quad (2.29)$$

де $I_{н.вимк.}$ – номінальний струм вимкнення вимикача;

β_n – нормований процентний вміст аперіодичної складової струму КЗ (30%...40%);

$I_{пт}$, $i_{ат}$ – відповідно періодична та аперіодична складові струму КЗ на момент початку розходження контактів вимикача, тобто на момент початку розмикання; τ – розрахунковий час початку розмикання ($\tau = t_{рз.мін} + t_{в.в}$).

Перевірка вимикачів на динамічну стійкість до дії струмів КЗ:

$$I_{дин} \geq I_{п0}, \quad (2.30)$$

$$i_{дин} \geq i_{уд}. \quad (2.31)$$

де $I_{дин}$, $i_{дин}$ – діюче та максимальне миттєве значення повного струму електродинамічної стійкості, який проходить через вимикач і не пошкоджує його;

$i_{уд}$ – ударний струм КЗ.

Перевірка вимикачів на термічну стійкість до дії струмів КЗ:

$$I_T^2 t_T \geq B_K. \quad (2.32)$$

де I_T – струм термічної стійкості вимикача протягом часу t_T (3 с);

B_K – розрахункове значення теплового імпульсу.

Результати перевірки вимикачів 10 кВ наведені в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Вибір вимикачів та роз'єднувачів 10 кВ

Умови вибору	Дані для вимикачів	Дані розрахунків
$I_{н.відк} \geq I_{пт}$	$I_{н.відк} = 40 \text{ кА}$	$I_{пт} = I_{пт.с} = 9,1 \text{ кА}$
$\sqrt{2}I_{н.відкл} \geq \sqrt{2}I_{пт.с} + i_{ат.с}$	$\sqrt{2}I_{н.відкл} = \sqrt{2} \cdot 40 = 56,6 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 9,1 + 0,46 = 13,3 \text{ (кА)}$
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 100 \text{ кА}$	$i_{уд} = i_{уд.с} = 22,1 \text{ (кА)}$
$I_{дин} \geq I_{по}$	$I_{дин} = 40 \text{ кА}$	$I_{по} = I_{по.с} = 9,1 \text{ (кА)}$
$V_k = I_{по}^2 t_{по}$	$I_{т}^2 t_{т} = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$V_k = 52,2 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$

У таблиці 2.12 представлена інформація про типи вимикачів і ліній електропередачі в залежності від типу підключення.

Таблиця 2.12 – Захисні апарати та лінії живлення СЕП

Лінія	S_p , кВА	I_p , А	$I_{ра}$, А	N, шт	Вимикач	$I_{ном}$, А	Провідник	S, мм ²	$I_{доп}$, А
С1–ЦРП	3100,6/2	89,5	179	1	ВРС-10-10/630 УЗ	630	АПвЭгаПнг-10	3×95	221
С1–ЦРП	3100,6/2	89,5	179	1	ВРС-10-10/630 УЗ	630	АПвЭгаПнг-10	3×95	221
ЦРП–ТП-1	1606,9/2	46,4	93	2	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПнг-10	3×50	152
ЦРП–ТП-2	1625/2	46,9	93,8	2	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПнг-10	3×50	152

Переріз жил кабелів за термічною стійкістю до дії струмів КЗ:

$$s \geq s_{\min} = \frac{I_k \sqrt{t_{\text{вим}}}}{C_T}, \quad (2.33)$$

де I_k – струм КЗ в А;

$t_{\text{вим}}$ – сумарний час вимикання струму КЗ, який визначається витримкою часу основного захисту лінії (0,5...2 с), часом спрацювання високовольтного вимикача та відношенням струму КЗ в початковий момент виникнення КЗ до його усталеного значення;

C_T – термічний коефіцієнт, А·с^{0,5}/мм², значення якого становить 90...100 для паперових кабелів і 94 – для кабелів зі зшитого ПЕ.

$$s = 95 \text{ (мм}^2\text{)} > s_{\min} = \frac{9,1 \sqrt{0,5}}{94} = 68,5 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Умова виконується, отже живлячі кабелі АПвЭгаПнг-10 3×50 вибрані вірно.

Однолінійна схема внутрішньозаводського електропостачання (рисунк 2.5) відображає структуру подачі електроенергії від джерела живлення до основних споживачів ДП «45 ЕМЗ» ДП.

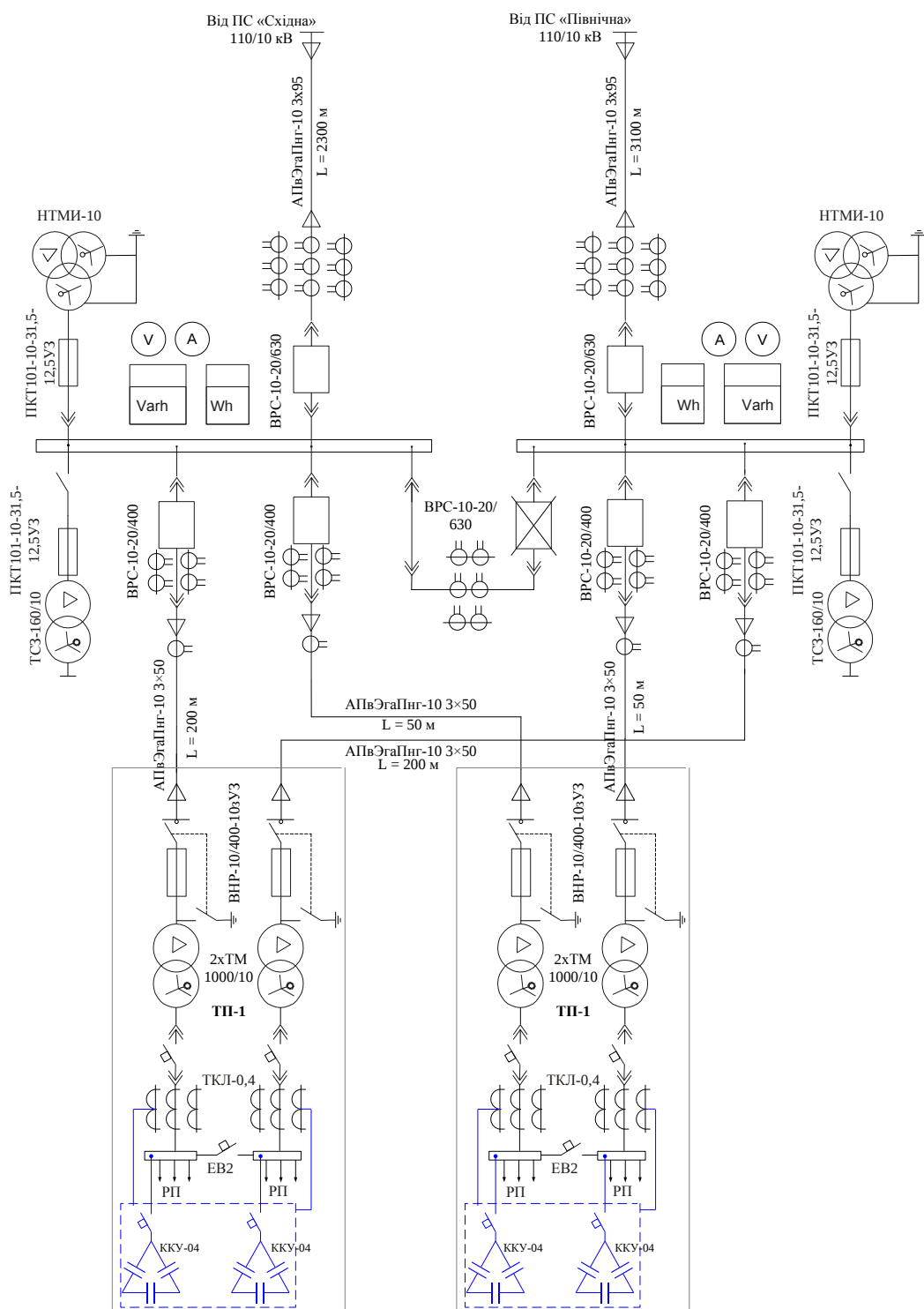


Рисунок 2.5 – Однолінійна схема внутрішньозаводського електропостачання

2.7 Розрахунок схеми електропостачання цеху

Розрахунок електричних навантажень для внутрішньоцехових електричних мереж з напругою до 1000 В здійснювався за типовими інженерними методиками на основі форми Ф636-92 [9], яка забезпечує структуровану і точну оцінку навантажень у промисловому середовищі.

У якості вихідних даних використовувалися паспортні характеристики електроприймачів: номінальна потужність (P_H), їх кількість, коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$) та коефіцієнт використання (K_B).

Електропостачання обладнання механічного цеху реалізовано за радіальною схемою. Радіальні лінії забезпечують підвищену надійність живлення та оперативність захисту у разі аварій.

Усі електроприймачі цеху отримують живлення від двох розподільчих пунктів (РП1, РП2), які з'єднані з трансформаторною підстанцією ТП (рисунок 2.6).

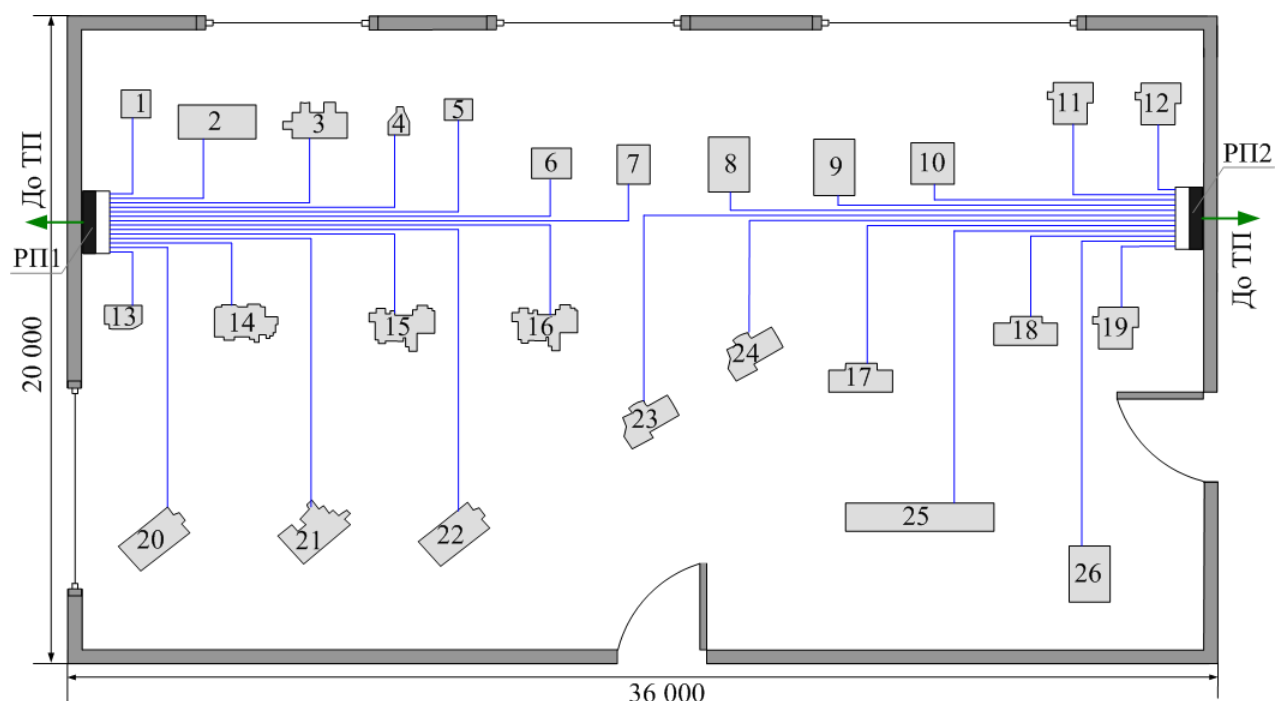


Рисунок 2.6 – Проект електропостачання механічного цеху

Розрахункові навантаження окремих груп споживачів:

$$P_P = P_H ; \quad Q_P = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi_H, \quad (2.34)$$

де P_H - номінальна активна потужність (АП), кВт;

$\text{tg}\varphi_H$ - коефіцієнт реактивної потужності (РП).

Величина розрахункових навантажень:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} , \quad (2.35)$$

$$Q_p = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \text{tg}\varphi_{Ci}, & \text{при } n_e \leq 10, \\ \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \text{tg}\varphi_{Ci}, & \text{при } n_e > 10. \end{cases} \quad (2.36)$$

де K_p - коефіцієнт розрахункового максимуму, береться з [9];

n_e - значення ефективного числа ЕП;

План електропостачання механічного цеху зображений на рисунку 2.1.

Середні активні реактивні потужності:

$$P_C = K_B \cdot P_H; \quad Q_C = P_C \cdot \text{tg}\phi, \quad (2.37)$$

Значення коефіцієнт використання групи споживачів:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}}, \quad (2.38)$$

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2}, \quad (2.39)$$

Розрахункова потужність РП до якого під'єднано дану групу споживачів:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.40)$$

Значення розрахункового струму буде рівний:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}. \quad (2.41)$$

Розрахунок силового навантаження для РП-2:

$$P_C = 2,41 + 0,81 + 0,15 + 0,41 + 0,08 + 3,06 + 3,4 + 3,4 + 2,41 = 13,71 \text{ (кВт)};$$

$$Q_C = 4,17 + 1,41 + 0,26 + 0,71 + 0,13 + 5,3 + 3,98 + 3,98 + 4,17 = 19,9 \text{ (квар)};$$

$$K_B = \frac{13,71}{85,02} = 0,16;$$

$$n_e = \frac{85,02^2}{1147} = 6 \text{ (шт.)}.$$

Із [5] визначаємо $K_p = 1,96$, звідси:

$$P_p = 1,96 \cdot 13,71 = 26,88 \text{ (кВт)};$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 19,9 = 21,92 \text{ (квар)};$$

$$S_p = \sqrt{26,88^2 + 21,92^2} = 34,6 \text{ (кВА)};$$

$$I_p = \frac{34,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 52,7 \text{ (А)}.$$

Розрахунок електричних навантажень виконується за тією ж методикою для всіх електроприймачів та розподільчих пунктів, розміщених у межах механічного цеху. Результати цих обчислень подано в таблиці 2.13.

Проведений аналіз електроспоживання, разом зі схемою просторового розташування обладнання, дозволяє обґрунтовано визначити основні складові внутрішньоцехової системи електропостачання [6]. Це, зокрема, включає вибір типів апаратури захисту, а також перетинів та типу кабельних ліній згідно з навантаженнями та режимами роботи обладнання. Такий підхід забезпечує надійне, безпечне й енергоефективне електроживлення технологічних установок, що, в свою чергу, сприяє безперервності виробничого процесу, скороченню втрат енергії та відповідності нормативним вимогам у сфері електробезпеки.

Таблиця 2.13 - Розрахунок електричних навантажень цехової мережі

Вихідні дані							Розрахункові величини			η _e	K _p	Розрахункові навантаження			
Завдання технологів				Довідкові дані			n×K _B ×P _H	Q _H	n×P _H ²			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	I _p , А
Найменування ЕП	n	P _H , кВт	n×P _H , кВт	K _B	cosφ	tgφ									
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 Вентилятор	1	3,4	3,4	0,7	0,65	1,17	2,38	2,78	11,5						
2 Верстат відрізний абразивний	1	20	20	0,17	0,65	1,17	3,40	3,98	400						
3 Кругова ділильна машина	1	0,56	0,56	0,2	0,65	1,17	0,11	0,13	0,31						
4 Універсальний ультразвуковий прошивочний верстат	1	0,8	0,8	0,17	0,5	1,73	0,14	0,24	0,64						
5 Універсальний копіювально-прошивочний верстат	1	3,4	3,4	0,17	0,5	1,73	0,58	1,00	12						
6 Анодно-механічний відрізний верстат	1	14	14	0,14	0,65	1,17	1,96	2,29	196						
7 Ультразвуковий прошивочний верстат	1	3	3	0,14	0,5	1,73	0,42	0,73	9						
13 Токарно-револьверний верстат	1	6,8	6,8	0,17	0,5	1,73	1,16	2,00	46						
14 Токарно-револьверний верстат	1	28	28	0,17	0,65	1,17	4,76	5,57	784						
15,16 Токарно-затилочочний напівавтомат	2	13	26	0,2	0,6	1,33	5,20	6,93	338						
20 Пилка ножовочна	1	3,6	3,6	0,4	0,71	0,99	1,44	1,43	12						
21 Верстат для стругання пуансонів	1	2,6	2,6	0,15	0,5	1,73	0,39	0,68	6,76						
22 Поперечно-стругальний верстат	1	16	16	0,15	0,65	1,17	2,40	2,81	256						
Всього РП 1	14		128,16	0,19			24,33	30,5	2073	7	1,54	37,47	33,61	50,3	76,48
8,9 Вертикально-свердильний верстат	2	8,6	17,2	0,14	0,5	1,73	2,41	4,17	147						
10 Вертикально-свердильний верстат	1	5,8	5,8	0,14	0,5	1,73	0,81	1,41	33						
11,12 Копіювально-фрезерний верстат	2	0,54	1,08	0,14	0,5	1,73	0,15	0,26	0,58						
17,18 Двосторонній центрувальний верстат	2	1,2	2,4	0,17	0,5	1,73	0,41	0,71	2,88						
19 Копіювально-фрезерний верстат	1	0,54	0,54	0,14	0,5	1,73	0,08	0,13	0,29						
23,24 Поперечно-стругальний верстат	2	9	18	0,17	0,5	1,73	3,06	5,30	162						
25 Токарно-гвинторізний верстат	1	20	20	0,17	0,65	1,17	3,40	3,98	400						
26 Токарно-гвинторізний верстат	1	20	20	0,17	0,65	1,17	3,40	3,98	400						
Всього РП 2	12		85,02	0,16			13,71	19,9	1147	6	1,96	26,88	21,92	34,6	52,70
Всього цеху	26		213,18	0,18			38,05	50,4	3220	14	1,27	48,32	50,48	69,8	106,1

2.8 Реалізація схеми живлення цехової мережі

Для електропостачання обладнання механічного цеху передбачено використання радіальної схеми живлення, яка забезпечує високу надійність, простоту технічного обслуговування та можливість селективного захисту споживачів [6]. Конфігурація цехової мережі наведена на рисунку 2.1 і побудована з урахуванням просторового розташування електроприймачів, розподільчих пунктів та трасування силових кабелів.

Захист кабельних ліній, що живлять електроприймачі, реалізується за допомогою автоматичних вимикачів серій ЕВ та ЕВ2 виробництва ЕТІ [10]. Ці апарати оснащені тепловими, електромагнітними або комбінованими розчіплювачами, що забезпечує своєчасне відключення при перевантаженнях, коротких замиканнях та аварійних режимах роботи.

Прокладання кабельних трас виконується відповідно до вимог ПУЕ. Внутрішньоцехові лінії монтуються відкритим способом по стінах, металевих лотках або підвісних конструкціях з урахуванням впливу температури, вібрацій та можливих механічних пошкоджень. Такий метод прокладки забезпечує ефективне тепловідведення, візуальний контроль стану ізоляції та зручність подальшого технічного обслуговування.

Для живлення розподільчих пунктів РП1 та РП2 від трансформаторної підстанції використано кабель марки АВВГ [11] з алюмінієвими жилами, прокладений у траншеї з урахуванням глибини залягання, допустимих струмових навантажень та умов захисту від вологи й корозії. Від РП до технологічного обладнання кабелі прокладаються по стінах або у відкритих каналах, з дотриманням допустимої довжини, перерізу відповідно до розрахункового струму та вимог щодо забезпечення надійного електричного контакту. Така схема гарантує стабільну роботу всього комплексу електроприймачів в умовах механічного виробництва.

2.9 Вибір захисного обладнання та ліній живлення цехової мережі

Вибір автоматичних вимикачів здійснюється за наступних умов:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_p, \quad (2.42)$$

$$I_{с.в} = K_n \cdot I_n, \quad (2.43)$$

$$I_{н.відк} \geq I_{к.мах}^{(3)}. \quad (2.44)$$

Здійснюємо вибір автоматичного вимикача для захисту електроприймача 1.

Розрахунковий струм ЕП-6:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta}, \quad (2.45)$$

$$I_p = \frac{14}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,9} = 32,7 \text{ (A)}.$$

Пусковий струм визначимо наближено, в залежності від типу приводу [6]:

$$I_p = \begin{cases} 5 \cdot I_p & \text{— для АД з КЗ ротором чи СД,} \\ 2,5 \cdot I_p & \text{— для АД з ФР,} \\ 3 \cdot I_p & \text{— для ДПС та зварювальних Т — рів,} \end{cases} \quad (2.46)$$

$$I_n = 3 \cdot I_p = 3 \cdot 32,7 = 98,2 \text{ (A)}.$$

Розрахуємо $I_{н.розч}$ та $I_{с.відс}$ для ЕП-6:

$$I_{н.розч} \geq 1 \cdot 32,7 = 32,7 \text{ (A)},$$

$$I_{с.відс} \geq 2,1 \cdot 98,2 = 206,2 \text{ (A)}.$$

За розрахованими значеннями струмів вибираємо автоматичний вимикач ЕВ 100/3L 40А [10] з тепловими і електромагнітними розчіплювачами з номінальним

струмом вимикача 40 А, номінальним струмом розчіплювача 40 А та струмом спрацювання відсічки 300 А.

Захисні апарати, що захищають РП встановлюються в розподільчому пристрою низької напруги трансформаторної підстанції.

Виберемо автоматичний вимикач для захисту РП1.

Розрахунковий струм для цієї лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{50,3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 76,5 \text{ (A)}.$$

Піковий струм визначаємо за формулою:

$$I_n = I_p - K_b \cdot I_{n.\max} + I_{n.\max}, \quad (2.47)$$

де $I_{n.\max}$, $I_{п.\max}$ – номінальний і піковий струми електроприймача групи з найбільшим пусковим струмом;

K_b - коефіцієнт використання найбільш потужного електроприймача.

$$I_n = 76,5 - 0,2 \cdot 65,4 + 327,2 = 390,7 \text{ (A)}.$$

Вибираємо для захисту РП-1 автоматичний вимикач серії EB2 250/3E [10].

Номінальний струм розчіплювача та струм спрацювання відсічки для РП-1:

$$I_{n.\text{розчп}} \geq 1,1 \cdot 76,5 = 84,2 \text{ (A)},$$

$$I_{с.\text{відс}} \geq 1,5 \cdot 390,7 = 586 \text{ (A)}.$$

Вибираємо вимикач з номінальним струмом 125 А, номінальним струмом розчіплювача 125 А та струмом спрацювання відсічки 700 А.

Аналогічно проводимо вибір автоматичних вимикачів для інших споживачів. Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.14.

Переріз провідників напругою до 1 кВ вибирають за допустимим нагріванням.

$$I_{\text{доп}} \geq \begin{cases} I_p & \text{— для нормальних приміщень,} \\ 1,25 \cdot I_p & \text{— для вибухонебезпечних приміщень.} \end{cases} \quad (2.48)$$

Для лінії ТП – РП 1 доцільно обрати кабель марки АВВГ [11] прокладений у траншеї перерізом 4х70 з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 149 \text{ А} > I_p = 76,5 \text{ А}$. Вибір такого перерізу кабельної лінії аргументоване тим що всі кабелі, які живлять РП 1,2 під'єднано до спільної шини 0,4 кВ трансформаторної підстанції ТМ-1000/10. Тому обрані кабелі живлення та захисні вимикачі повинні витримувати значення струмів КЗ які виникають шинах ТП 0,4 кВ.

Для всіх інших внутрішньоцехових ліній вибір провідників виконується за аналогічною методикою [6] з урахуванням довжини траси, умов прокладання, допустимого падіння напруги та категорії споживачів. Відібрані типи кабелів та відповідні перерізи зведено до таблиці 2.14, що дозволяє систематизувати дані та обґрунтувати відповідність вибраних провідників умовам експлуатації.

Перевіримо втрату напруги в лінії, що живить ЕП-23 [6]:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_{\text{пит}} + Q_p \cdot X_{\text{пит}}}{U_H} \cdot l, \quad (2.49)$$

$$\Delta U_{\text{РП2-ЕП23}} = \frac{9 \cdot 3,84 + 9 \cdot 1,73 \cdot 0,088}{380} \cdot 25 = 2,36 \text{ (В)},$$

$$\Delta U_{\text{ТП-РП2}} = \frac{26,88 \cdot 0,549 + 21,92 \cdot 0,065}{380} \cdot 50 = 2,13 \text{ (В)},$$

$$\Delta U = \Delta U_{\text{ТП-РП2}} + \Delta U_{\text{РП2-ЕП23}} = 2,13 + 2,36 = 4,49 \text{ (В)},$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U_{\text{ТП-ЕП23}}}{U_H} \cdot 100\% = \frac{4,49}{380} \cdot 100\% = 1,18 \%, \quad (2.50)$$

Така втрата напруги є допустимою, для інших споживачів розрахунок виконуємо аналогічно.

Таблиця 2.14 – Комутаційно-захисна апаратура та КЛ цеху

ЕП	Ip, А	In, А	Тип АВ	Inом, А	Iрозч, А	Iсв, А	Тип ЛЖС	S, мм ²	спос. прок.	Iдоп, А
РП 1	76,5	390,7	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	700	АВВГ	4х70	В траншеї	149
РП 2	52,7	277,1	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	700	АВВГ	4х70	В траншеї	149
ЕП 1	7,9	39,7	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
ЕП 2	46,7	233,7	ЕВ 100/3L 63А	63	63	300	АВВГ	4х25	Відкрито	80
ЕП 3	1,3	6,5	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
ЕП 4	2,4	12,2	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
ЕП 5	10,3	51,7	ЕВ 100/3L 32А	32	32	300	АВВГ	4х6	Відкрито	34
ЕП 6	32,7	98,2	ЕВ 100/3L 40А	40	40	300	АВВГ	4х10	Відкрито	46
ЕП 7	9,1	27,3	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
ЕП 13	20,7	103,3	ЕВ 100/3L 32А	32	32	300	АВВГ	4х6	Відкрито	34
ЕП 14	65,4	327,2	ЕВ 100/3L 80А	80	80	400	АВВГ	4х35	Відкрито	98
ЕП 15,16	32,9	164,6	ЕВ 100/3L 40А	40	40	300	АВВГ	4х10	Відкрито	46
ЕП 20	7,7	38,5	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
ЕП 21	7,9	39,5	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
ЕП 22	37,4	187,0	ЕВ 100/3L 63А	63	63	300	АВВГ	4х25	Відкрито	80
ЕП 8,9	26,1	130,7	ЕВ 100/3L 32А	32	32	300	АВВГ	4х6	Відкрито	34
ЕП 10	17,6	88,1	ЕВ 100/3L 32А	32	32	300	АВВГ	4х6	Відкрито	34
ЕП 11,12	1,6	8,2	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
ЕП 17,18	3,6	18,2	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
ЕП 19	1,6	8,2	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
ЕП 23,24	27,3	136,7	ЕВ 100/3L 40А	40	40	300	АВВГ	4х10	Відкрито	46
ЕП 25	46,7	233,7	ЕВ 100/3L 63А	63	63	300	АВВГ	4х25	Відкрито	80
ЕП 26	46,7	233,7	ЕВ 100/3L 63А	63	63	300	АВВГ	4х25	Відкрито	80

В цілому було здійснено обґрунтований вибір типу провідників та елементів захисту для внутрішньоцехової електромережі. Як основний тип силового кабелю прийнято АВВГ з алюмінієвими жилами, який відповідає вимогам за критеріями пожежної безпеки, механічної надійності та допустимого струмового навантаження відповідно до умов експлуатації в промисловому середовищі.

З метою забезпечення надійного захисту кабельних ліній і електроприймачів від перевантажень та струмів короткого замикання, передбачено встановлення автоматичних вимикачів серій ЕВ і ЕВ2 виробництва компанії ЕТІ. Ці пристрої мають вбудовані теплові та електромагнітні розчіплювачі, що забезпечують своєчасне та селективне відключення при виникненні аварійних режимів.

2.10 Визначення струмів КЗ в мережах напругою до 1 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання проводиться з метою перевірки захисних апаратів за умовою комутаційної здатності [12].

Виконаємо розрахунок струмів короткого замикання для ділянки, що живить ЕП-6. Складемо розрахункову схему рисунок 2.7.

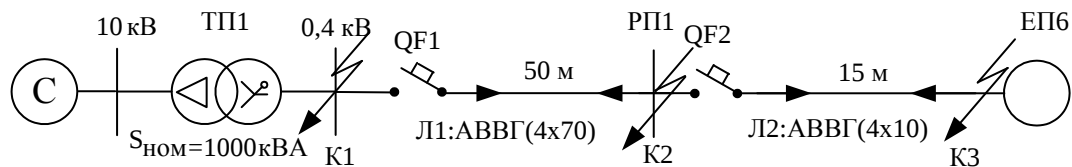


Рисунок 2.7 – Схема електропостачання ЕП-1

Знаходимо номінальний коефіцієнт трансформації:

$$t_r = \frac{U_{BH}}{U_{HH}} = \frac{10}{0,4} = 25, \quad (2.51)$$

Якщо трансформатор отримує живлення середньою або високою напругою, то енергопостачальна компанія повинна вказувати характеристики підстанції з якої здійснюється живлення, $I_K'' = 10$ кА.

Визначаємо опір системи:

$$Z_c = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_K''} \cdot \frac{1}{t_r^2} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1}{25^2} = 1,016 \text{ (мОм)}. \quad (2.52)$$

де С - коефіцієнт напруги;

U_n – номінальна напруга системи в точці з'єднання з мережею;

I_K'' – початкова сила струму КЗ.

Активний і реактивний опір системи знаходиться:

$$X_c = 0,955 \cdot Z_c = 0,955 \cdot 1,016 = 0,97 \text{ (мОм)}, \quad (2.53)$$

$$R_c = 0,1 \cdot X_c = 0,1 \cdot 0,97 = 0,097 \text{ (мОм)}. \quad (2.54)$$

Визначимо опір трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{\text{НОМ.Т}}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{400^2}{1000 \cdot 10^3} = 9,6 \text{ (МОм)}. \quad (2.55)$$

Визначаємо опори ліній Л1, Л2, Л3:

$$Z_{Л1} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{0,549^2 + 0,065^2} \cdot 50 = 27,65 \text{ (МОм)},$$

$$Z_{Л2} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{3,84^2 + 0,088^2} \cdot 15 = 57,6 \text{ (МОм)}.$$

Розрахуємо значення струму при трифазному металічному КЗ за формулою:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}. \quad (2.56)$$

де Z_{Σ} - загальний повний опір елементів цехової мережі до точки КЗ.

- для точки К1:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (1,016 + 9,6) \cdot 10^{-3}} = 21,7 \text{ (кА)}.$$

- для точки К2:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (1,016 + 9,6 + 27,65) \cdot 10^{-3}} = 6,02 \text{ (кА)}.$$

- для точки К3:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (1,016 + 9,6 + 27,65 + 57,6) \cdot 10^{-3}} = 2,4 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо вибрані вимикачі на комутаційну здатність:

$$I_{\text{н.відк}} > I_{\text{к.мах}}^{(3)}. \quad (2.57)$$

QF1: EB2 250/3E 125A з $I_{\text{cu}} = 36 \text{ (кА)}$:

$$I_{\text{cu}} = 36 \text{ (кА)} > I_{\text{к.мах}}^{(3)} = 21,7 \text{ (кА)}.$$

Для точки К1 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

QF2: EB 100/3L 40A з $I_{cu} = 8$ (кА):

$$I_{cu} = 8 \text{ (кА)} > I_{к.мах}^{(3)} = 6,02 \text{ (кА)}.$$

Для точки К2 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

Виконаємо перевірку селективності дії захисту.

Визначимо струм однофазного КЗ з урахуванням перехідного процесу [6]:

$$I_{к2}^{(1)} = \frac{U_{ф.ном}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{ф-н} \cdot l}, \quad (2.58)$$

де $Z_{\Sigma}^{(1)}$ мОм – повний опір силового трансформатора струмам однофазного КЗ;

$Z_{ф-н}$ - питомий опір петлі фаза-нуль; l – відстань до місця КЗ.

- для точки К2, автоматичного вимикача QF1 струм буде визначатися:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{28,8}{3} + 50 \cdot 1,59} = 2,469 \text{ (кА)}.$$

- для точки К3, автоматичного вимикача QF2 струм буде визначатися:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{28,8}{3} + 50 \cdot 1,59 + 15 \cdot 7,41} = 1,099 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо чи виконується умова чутливості захисту:

$$I_{н.розч} \leq \frac{I_{к.мін}^{(1)}}{3},$$

- для точки К2, автоматичного вимикача QF1:

$$I_{н.розч} = 125 \text{ (А)} < \frac{I_K^{(1)}}{3} = \frac{2469}{3} = 823 \text{ (А)}.$$

Умова чутливості для даного вимикача виконується.

- для точки К3 автоматичного вимикача QF2 :

$$I_{H.P03Ч} = 40 \text{ (A)} < \frac{I_K^{(1)}}{3} = \frac{1099}{3} = 366,3 \text{ (A)},$$

Умова перевірки чутливості автоматичного вимикача QF2 виконується.

Селективність автоматичних вимикачів перевіряємо за умовами [6]:

$$\begin{cases} I_{c.B1} > (1,3..1,5)I_{c.B2}, \\ t_{c.B1} > t_{c.B2} + \Delta t. \end{cases} \quad (2.59)$$

Виконаємо перевірку на селективність для вимикачів, що захищають лінії ТП1 - РП1 та РП1 – ЕП6 (дані про вимикачі знаходяться в таблиці 4.2).

$$\begin{cases} I_{c.B1} = 700 \text{ (A)} > (1,3..1,5) \cdot 300 = 390 \div 450 \text{ (A)}, \\ t_{c.B1} = t_{c.B2} + \Delta t = 0,015 + 0,1 = 0,115 \text{ (с)}. \end{cases}$$

Умова селективності виконується.

Побудуємо карту селективності дії захисту. Зображено на рисунку 2.8.

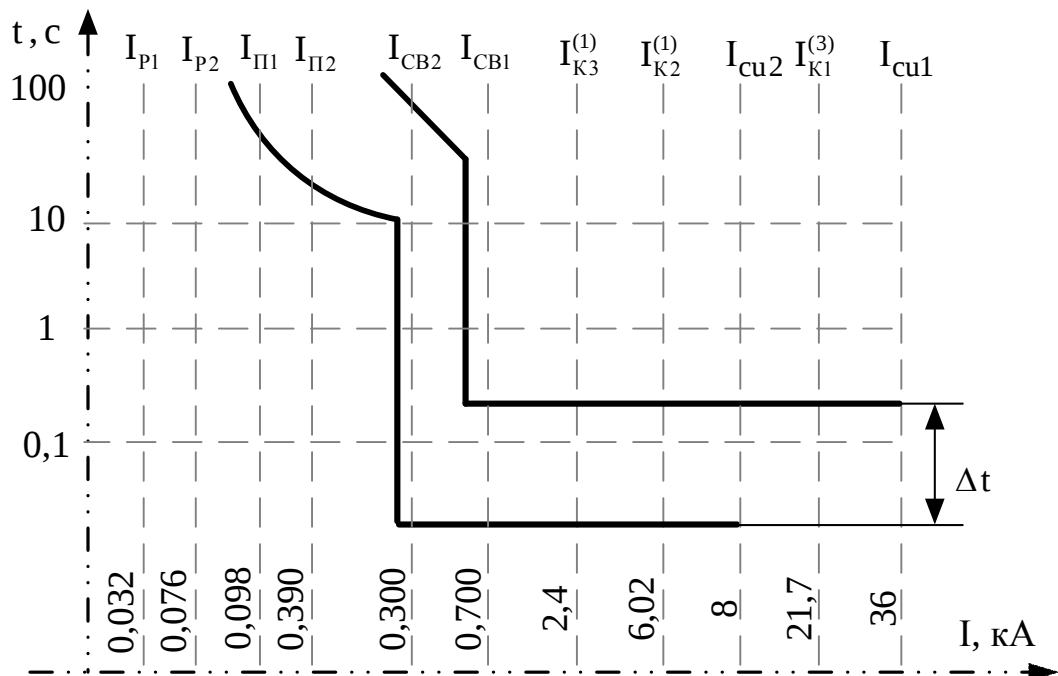


Рисунок 2.8 – Карта селективності дії захисту

Аналіз рисунку 2.8 вказує на те що обрані захисні апарати налаштовані на селективну роботу.

Висновки по розділу 2.

У другому розділі бакалаврської дипломної роботи проведено розробку СЕП ДП «45 ЕМЗ» на підставі техніко-економічного обґрунтування при порівнянні різних варіантів реалізації окремих елементів СЕП. В результаті виконаних розрахунків можливих варіантів реалізації СЕП отримано наступні результати:

1. Виконано повний розрахунок електричних навантажень для окремих цехів, субабонентів та підприємства загалом, що дозволило визначити загальну потужність споживачів і структуру навантаження для подальшого проектування СЕП;

2. Проведено техніко-економічний аналіз доцільності використання зовнішнього живлення на напрузі 10 кВ у порівнянні з потенційно ефективнішою напругою 35 кВ. Незважаючи на менші втрати потужності при використанні 35 кВ, обрано клас напруги 10 кВ як найбільш практичний для умов підприємства. Рішення ґрунтується на близькому розташуванні трансформаторних підстанцій ПС «Східна» та ПС «Північна», що дає змогу здійснити приєднання без необхідності будівництва нових високовольтних ліній. Додатковим аргументом є щільна міська забудова, яка унеможливорює прокладення повітряних або кабельних ліній класу 35 кВ. Обраний варіант повністю відповідає вимогам II категорії надійності електропостачання, забезпечуючи підприємству два незалежні джерела живлення;

3. На основі техніко-економічного порівняння варіантів конфігурації системи електропостачання обґрунтовано доцільність застосування структури з двома двотрансформаторними підстанціями типу ТМ-1000/10. Така схема забезпечує раціональний розподіл навантаження між підстанціями, зменшення втрат електроенергії в кабельних лініях та підвищення енергоефективності системи в цілому. Обране рішення також відповідає просторовим умовам генерального плану підприємства, дозволяє уникнути перевантаження окремих ділянок мережі та забезпечує відповідність вимогам II категорії надійності електропостачання;

4. Розроблено однолінійну схему внутрішньозаводського електропостачання та обґрунтовано застосування вакуумних вимикачів типу ВРС-10-40/400 УЗ на стороні 10 кВ згідно з вимогами по термічній та динамічній стійкості до струмів КЗ;

5. Виконано вибір елементів цехової мережі 0,4 кВ, включаючи захисну апаратуру та кабельно-провідникову продукцію. Для живлення електроприймачів у механічному цеху обрано кабель типу АВВГ з алюмінієвими жилами, який відповідає вимогам за умовами допустимого тривалого струмового навантаження, пожежної безпеки та механічної міцності. Кабелі прокладаються відкритим способом по стінах цеху з урахуванням вільного тепловідведення, вібраційного впливу та зручності обслуговування. Для магістральних ділянок від трансформаторної підстанції до розподільчих пунктів РП-1 і РП-2 передбачено прокладання кабелів у траншеї;

6. Для захисту електричних ліній і технологічного обладнання використано автоматичні вимикачі серій ЕВ та ЕВ2 виробництва ЕТІ, які забезпечують надійне відключення ланцюга в разі перевантаження або короткого замикання;

7. Виконано розрахунок струмів трифазного короткого замикання на вводі РП-1 і РП-2, а також на шинних збірках та кінцях окремих кабельних ліній. Перевірено вибрані автоматичні вимикачі на відповідність умовам чутливості до КЗ та термічної стійкості. Результати розрахунків підтвердили здатність обраної апаратури ефективно спрацьовувати при аварійних режимах, забезпечуючи безпеку персоналу та цілісність обладнання;

Отримані результати дозволяють вважати розроблену систему електропостачання надійною, економічно ефективною та відповідною чинним нормативним вимогам, що забезпечить стабільне функціонування технологічних процесів на підприємстві.

3 ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Аналіз стану реактивного навантаження на підприємстві

На Державному підприємстві «45 Експериментальний механічний завод» значну частину навантаження формують потужні індуктивні споживачі, які є джерелами реактивної енергії [4]. Зокрема, це асинхронні електродвигуни великої потужності, які працюють у складі компресорних установок, насосних агрегатів, вентиляторів. Також обладнання для термічної обробки та плазмового різання. У компресорному відділенні, відділенні плазмового різання та зварювальних цехах зосереджено велике навантаження, що працює у безперервному режимі з низьким коефіцієнтом потужності.

Крім того, на підприємстві експлуатуються зварювальні трансформатори (контактні та точкові), які працюють у повторно-короткочасному режимі та вносять значну нерівномірність у реактивне навантаження. У цехах діють групи однотипних електроприймачів, таких як численні вентиляційні установки, що працюють одночасно й утворюють сталу індуктивну складову у споживанні. Додаткове реактивне навантаження формують освітлювальні мережі, в яких застосовані люмінесцентні світильники з електромагнітними дроселями.

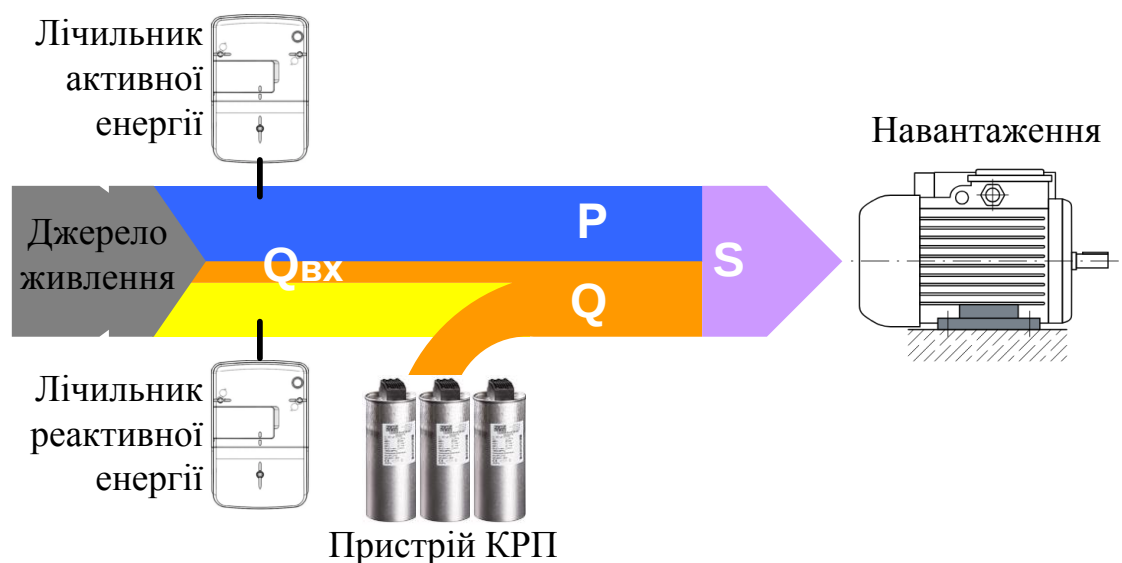


Рисунок 3.1 – Принцип здійснення КРП

У результаті технічного аналізу встановлено, що розрахункова реактивна потужність підприємства становить 1474,2 кВАр, а середня 1551,8 кВАр, що перевищує допустимі рівні для ефективного функціонування мережі. З урахуванням рівня вхідної реактивної потужності 800 кВАр, поточний рівень реактивного навантаження вимагає вжиття технічних заходів щодо його компенсації. Найбільший вклад у формування реактивного навантаження роблять плазморізальні установки (202,5 кВАр), відділи загального користування (277,7 кВАр), термічні дільниці та компресорне обладнання (72,65 кВАр).

Таким чином, реактивне навантаження на ДП «45 ЕМЗ» має системний характер і обумовлене специфікою встановленого обладнання. Його неконтрольоване зростання призводить до підвищених втрат активної енергії, перевантаження елементів мережі, зниження рівня напруги та економічних втрат. Це свідчить про необхідність впровадження пристроїв компенсації реактивної потужності (КРП) у вузлових точках системи електропостачання як технічно доцільного та енергетично ефективного рішення [5].

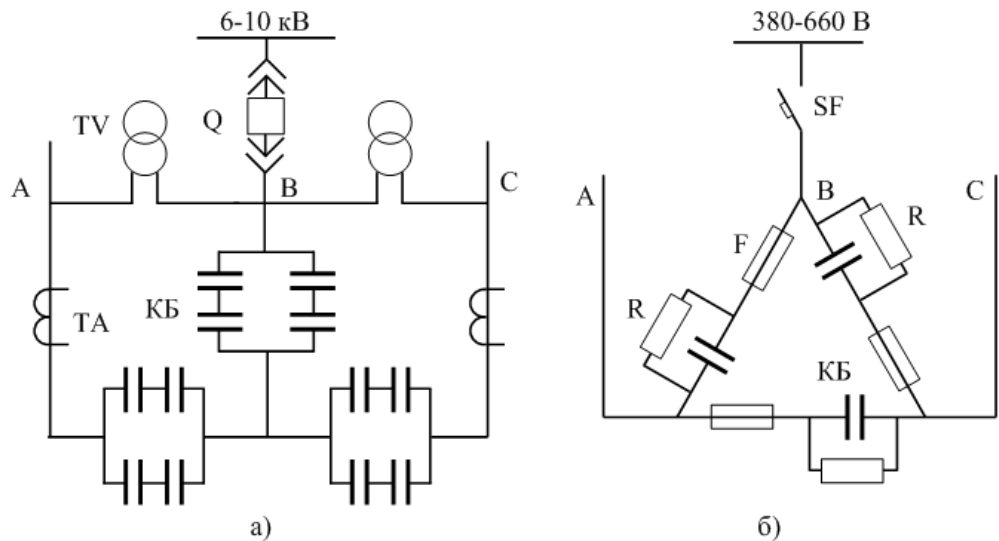


Рисунок 3.2 – Принципова схема однієї трифазної секції КУ: а) для мережі 6-10 кВ; б) для мережі 380-660 В

Впровадження пристроїв КРП на ДП «45 ЕМЗ» є економічно доцільним та технічно обґрунтованим рішенням. Це дозволить знизити навантаження на мережу, оптимізувати роботу електрообладнання, підвищити енергоефективність системи електропостачання.

3.2 Розрахунок оптимальної потужності пристроїв КРП

Що вирішити задачу знаходження оптимальної потужності засобів КРП складаємо однолінійну схему зображену на рисунку 3.3.

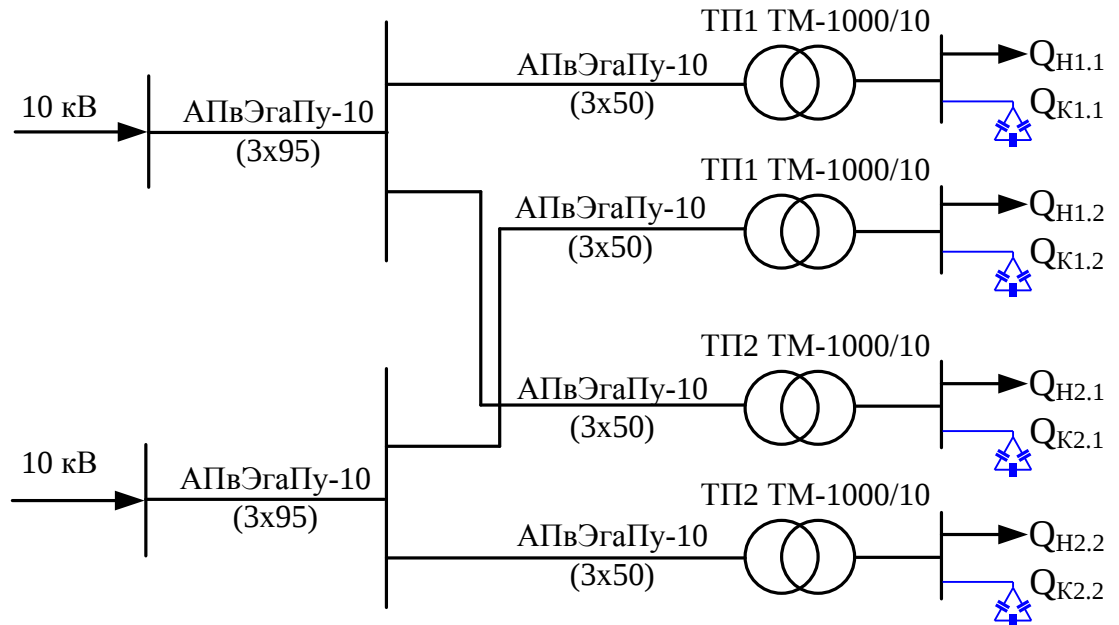


Рисунок 3.3 – Однолінійна схема електропостачання

Математична модель для даного розрахунку має наступний вигляд [23]:

$$\begin{cases} 3(Q_K) = \frac{B_0}{U^2} \times \sum_{i=1}^n [(Q_{Hi} - Q_{Ki})^2 (R_{KLi} + R_{Ti})] \rightarrow \min_{Q_K}; \\ Q_{Ki} \geq 0, i=1, 2..n; \\ \sum_{i=1}^n Q_{Ki} = \sum_{i=1}^n Q_{Hi} - Q_{BX}. \end{cases} \quad (3.1)$$

Для даної математичної моделі керовані змінні – потужність батарей у вузлах навантаження $q_k = (q_{k1}, q_{k2}, \dots, q_{kn})$.

де B_0 – питома вартість втрат активної потужності;

U – номінальна напруга, до якої приведені активні опори схеми заміщення;

n – кількість ЦТП;

Q_{Hi} – реактивне навантаження окремої лінії живлення i -тої ЦТП;

Q_{Ki} – потужність КУ окремої секції шин НН i -тої ЦТП;

$R_{KLi} = r_{oKLi} \cdot L_{KLi}$ – активний опір окремої лінії;

R_{Ti} – активний опір окремого трансформатора i -тої ЦТП;

Q_{BX} – вхідна реактивна потужність.

Розрахунок буде проведений на листі САПР MathCad. Створена математична модель на робочому листі MathCad згідно (3.1) [7] представлена на рисунку 3.4.

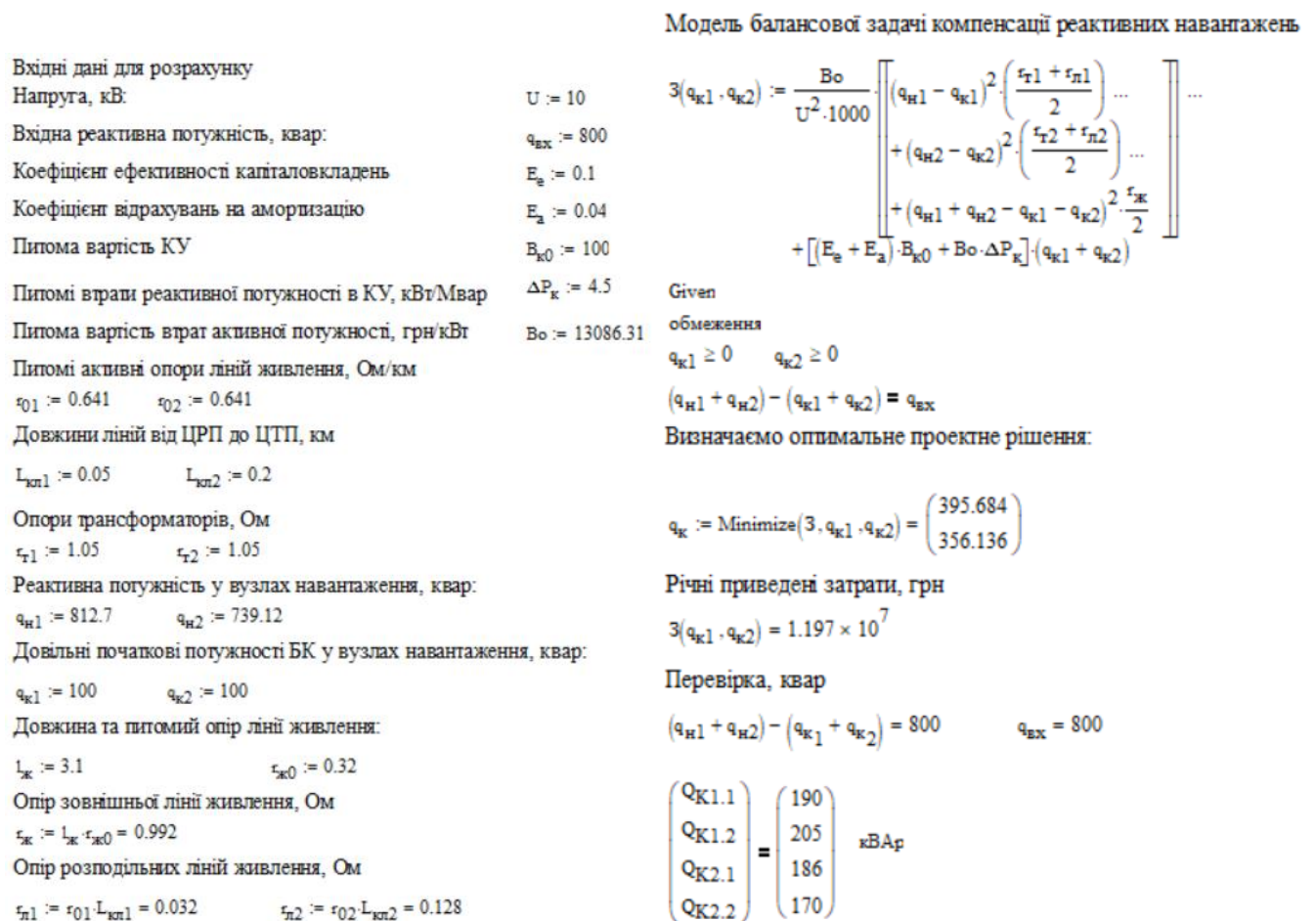


Рисунок 3.4 – Вигляд розрахунку задачі КРН в середовищі MathCad

Результат розрахунку показав що на ДП «45 ЕМЗ» оптимально здійснити компенсацію реактивної потужності відносно кожного вузла навантаження у розмірі:

ТП1 трансформатор №1 – 190 квар;

ТП1 трансформатор №2 – 205 квар;

ТП2 трансформатор №1 – 186 квар;

ТП2 трансформатор №2 – 170 квар.

3.3 Визначення оптимальних пристроїв для КРП

У цьому підрозділі буде виконано техніко-економічне порівняння варіантів реалізації компенсації реактивної потужності для групи навантажень, що приєднані до трансформатора Т1 підстанції ТП-1. Зокрема, буде розглянуто два підходи:

- централізовану компенсацію реактивної потужності на стороні низької напруги трансформатора;
- комбіновану систему, яка поєднує централізовану та локальну компенсацію безпосередньо біля потужних споживачів.

Метою аналізу є вибір оптимального варіанту КРП з урахуванням технічних характеристик навантаження, вимог до якості електроенергії, структури електричної мережі цеху, а також вартості обладнання, втрат потужності та ефективності використання встановлених засобів.

Вибір типу, потужності, місця встановлення і принципу управління пристроями компенсації має забезпечувати найоптимальніший економічний ефект. При цьому слід враховувати, що:

- найбільший економічний ефект досягається при розміщенні засобів компенсації безпосередньо поблизу електроприймача;
- статистичні конденсатори можуть встановлюватися поблизу одиничного навантаження, з великим терміном навантаження;
- індивідуальна компенсація найбільш ефективна і доцільна для потужних електроприймачів, але супроводжуватись відключенням компенсуючого пристрою з відключенням споживача.

На рисунку 3.5 представлено добовий графік реактивного навантаження для Т1/ТП-1 підприємства. Аналіз даного графіка показує що максимальне значення яке необхідно скомпенсувати пристроєм КРП рівне 250 кВАр, а мінімальне 125 кВАр. Тому на стороні 0,4 кВ Т1/ТП-1 доцільно встановити регульовану КУ типу ККУ-04-250-10-21У3, ціна якого 115 320 грн. а зовнішній вигляд і технічні характеристики представлені на рисунку 3.6.

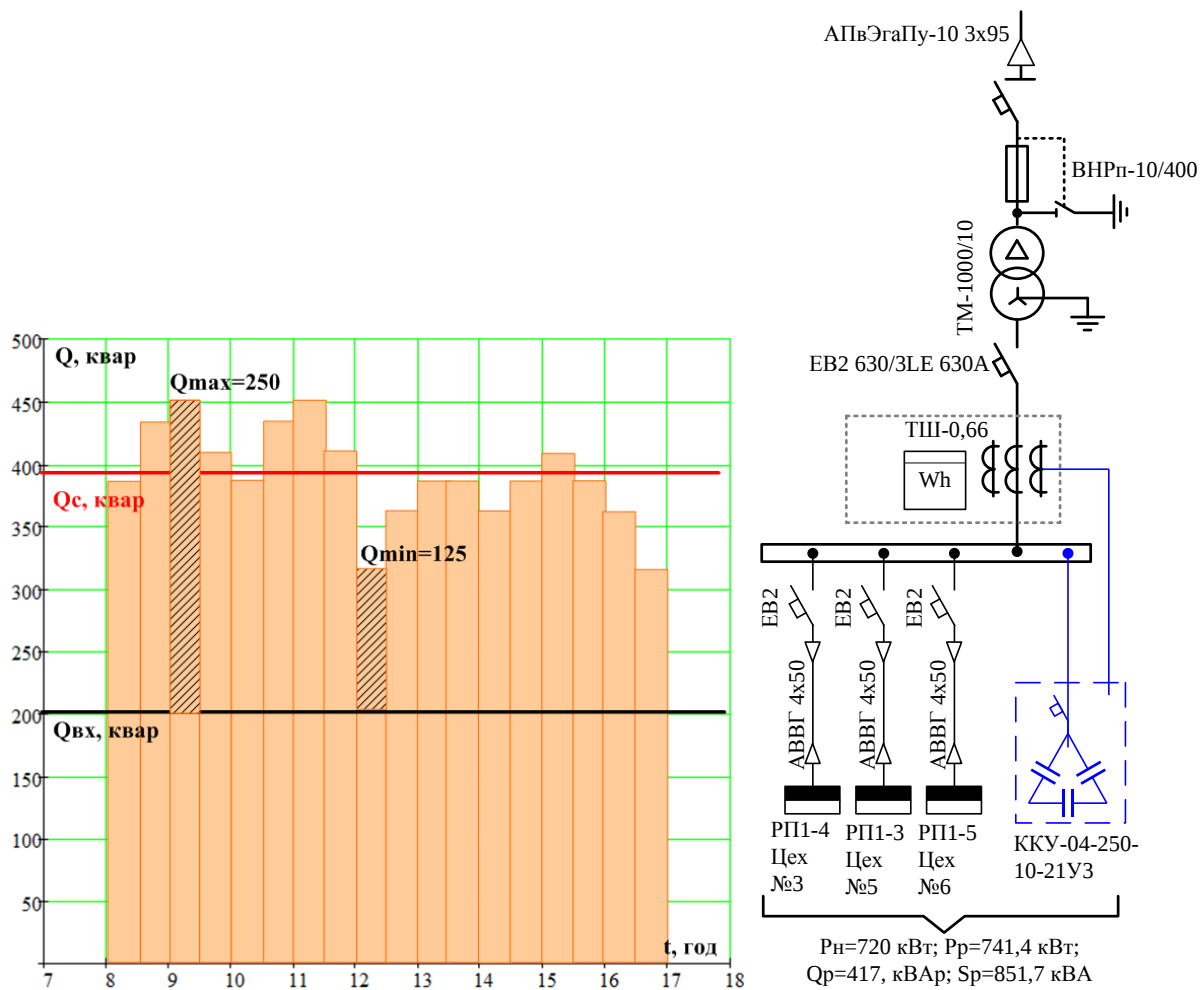


Рисунок 3.5 – Добовий графік реактивного навантаження та централізована КРП на Т1/ТП1

Зовнішній вигляд ККУ-04-250-10-21У3 представлено на рисунку 3.6.



Напряга мережі – 0,4 кВ;
 Частота мережі – 50 Гц;
 Номінальна потужність установки – 250 кВАр;
 Регулювання – автоматичне;
 Ступінь захисту корпусу - IP21 (можливо IP54 за вимогою замовника);
 Тип охолодження – примусове;
 Температура навколишнього середовища -10 до +30;
 Гарантійний термін експлуатації – 12 місяців.
 Комплект поставки:
 Установка компенсації реактивної потужності ККУ-0,4-250-10, паспорт,
 Розшифровка назви конденсаторної установки ККУ-0,4-250-10:
 - ККУ – комплектні конденсаторні установки;
 -0,4 - номінальна напруга, кВ;
 -250 - номінальна потужність, кВАр;
 -10 - мінімальний ступінь регулювання, кВАр;

Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд ККУ-04-250-10-21У3

Для визначення оптимальної потужності КУ при комбінованому регулюванні реактивного навантаження складемо однолінійну схему живлення електропримачів від Т1/ТП1. Дані навантаження приєднаного до Т1/ТП1 показано в таблиці 3.1 та на рисунку 3.9.

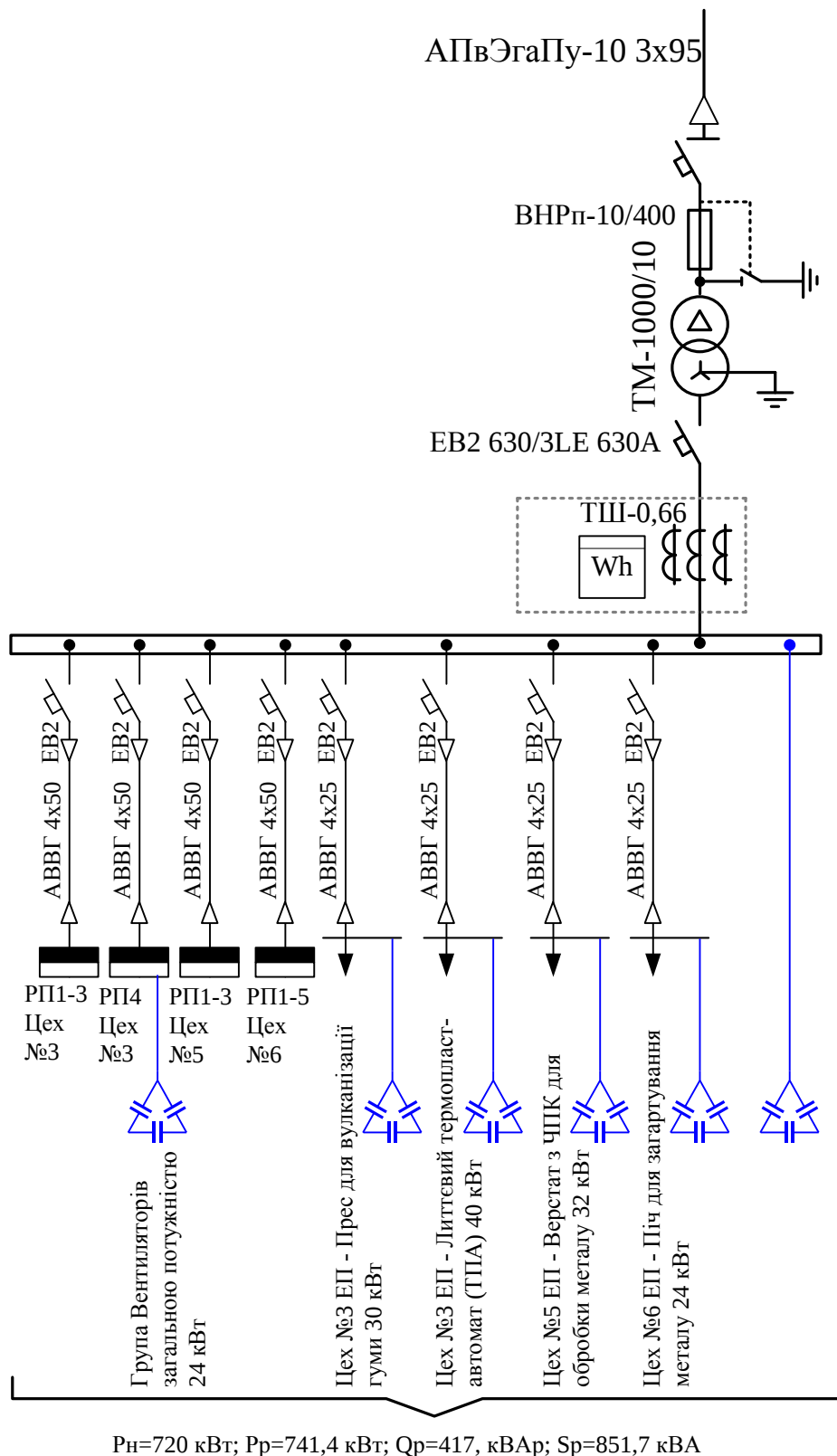


Рисунок 3.9 – Комбінована КРП на Т1/ТП1

Таблиця 3.1 – Параметри КУ при комбінованій КРП

Точка приєднання КУ	Вид КРП	P_n , кВт	$\cos\phi$	Q , кВАр	Тип КУ	$Q_{ку}$, кВАр	Ціна, грн.
Цех №3 ЕП - Прес для вулканізації гуми	Індивідуальна (нерегульована)	30	0,75	21,2	Конденсаторна батарея ETI LPC-DW 400V 20kVAr	20	3190
Цех №3 ЕП - Литтєвий термопласт-автомат (ТПА)	Індивідуальна (нерегульована)	40	0,75	26,5	Конденсаторна батарея ETI LPC-DW 400V 25kVAr	25	3930
Цех №5 ЕП - Верстат з ЧПК для обробки металу 32	Індивідуальна (регульована)	32	0,7	40,8	ККУ-04-40-5	40	33240
Цех №6 ЕП - Піч для загартування металу 24	Індивідуальна (нерегульована)	24	0,71	31,7	Конденсаторна батарея ETI LPC-DW 400V 30kVAr	30	4780
РП4 Цех №3 Група Вентиляторів загальною потужністю 24	Групова (нерегульована)	24	0,75	21,2	Конденсаторна батарея ETI LPC-DW 400V 20kVAr	20	3190
РП1-3 Цех №3	Централізована	126	0,8	79,60			
РП1-3 Цех №5	Централізована	168	0,8	79,20			
РП1-5 Цех №6	Централізована	276	0,85	117,0			
Т1/ТП1 0,4 кВ	Централізована (регульована)			75,84	ККУ-04-80-5	80	49080
РАЗОМ							97410

У ході техніко-економічного аналізу варіантів компенсації реактивної потужності на стороні 0,4 кВ трансформатора Т1/ТП-1 було розглянуто два варіанта здійснення КРП:

- централізована компенсація (одна регульована КУ на шині 0,4 кВ Т1/ТП1);
- комбінована компенсація (що поєднує індивідуальні, групові та централізовані КУ).

На основі добового графіка реактивного навантаження (рисунок 3.5) визначено, що амплітуда реактивної потужності змінюється в межах 125...250 кВАр. Це обґрунтовує необхідність встановлення автоматизованої регульованої ККУ потужністю 250 кВАр на головній шині 0,4 кВ, яка коштує 115 320 грн.

Альтернативним підходом є комбінована КРП, яка реалізується через встановлення декількох менших КУ безпосередньо до навантажень (індивідуальні та групові КУ) і додаткової централізованої ККУ потужністю 80 кВАр (таблиця 3.1,

рисунок 3.9). Сумарна вартість реалізації такого рішення склала 97 410 грн, що на 17 910 грн дешевше за централізовану схему.

Проте економічна перевага не єдина. Також комбінована схема має такі важливі технічні переваги:

- підвищена енергоефективність. Індивідуальні КУ вмикаються одночасно з обладнанням, до якого вони підключені, що виключає надлишкову компенсацію та втрати холостого ходу;

- зменшення навантаження на головну КУ. Частина реактивної потужності компенсується локально, завдяки чому регульована ККУ працює в більш стабільному режимі;

- зниження струмів у шинопроводах і кабелях. Локальна компенсація дозволяє зменшити загальні струмові навантаження, що позитивно впливає на нагрівання та втрати;

- краще забезпечення селективного захисту. Розподіл компенсаційних пристроїв дозволяє гнучко керувати захистом кожної гілки;

- підвищення надійності системи. Відмова одного пристрою КРП не призводить до втрати всієї компенсації, як у централізованому варіанті.

- можливість точнішого балансування потужності. Особливо актуально для цехів з періодичним або нестабільним навантаженням (наприклад, ТПА або верстатів з ЧПК).

Враховуючи менші капітальні витрати (на 15,5% дешевше), кращі технічні характеристики та вищу адаптивність до умов роботи окремих споживачів, комбінована схема компенсації реактивної потужності є оптимальним варіантом для реалізації ДП «45 Експериментальний механічний завод». Вона дозволяє досягти ефективної компенсації при зменшенні витрат та підвищенні якості електропостачання.

Висновки по розділу 3.

У даному розділі дипломної роботи було здійснено аналіз стану реактивного навантаження в системі електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» та обґрунтовано доцільність впровадження засобів компенсації реактивної потужності для підвищення енергоефективності електропостачання.

1. Проведений аналіз показав, що значну частину реактивного навантаження формують потужні індуктивні споживачі, зокрема компресорне обладнання, установки термічної обробки, плазмового різання, зварювальні трансформатори та групи однотипних електродвигунів вентиляційних систем. Середня реактивна потужність підприємства перевищує 1500 кВАр, що вказує на значне перевантаження мережі та підтверджує потребу в компенсації.

2. На основі розрахункової математичної моделі, реалізованої в середовищі MathCad, визначено оптимальні потужності КРП для кожної трансформаторної підстанції підприємства. Отримано, що для забезпечення мінімальних втрат активної потужності та відпо відності нормативам, необхідно реалізувати компенсацію на рівні 170–205 кВАр на кожному з чотирьох трансформаторів.

3. Проведено техніко-економічне порівняння двох варіантів реалізації компенсації реактивної потужності для трансформатора Т1/ТП-1, при централізованому або комбінованому варіанті задіяння конденсаторних установок. Встановлено, що комбіноване регулювання реактивного навантаження, яке поєднує централізовану, групову та індивідуальну компенсацію, дозволяє зменшити загальні капітальні витрати на 15,5%, зменшення струмів у мережі, кращу селективність захисту та адаптацію до специфіки роботи окремих електроприймачів.

Таким чином, результати розділу доводять, що впровадження комбінованої системи КРП на підприємстві є технічно обґрунтованим і економічно ефективним рішенням, яке забезпечує стабільну роботу системи електропостачання, зниження енергетичних втрат та підвищення якості електроенергії.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі розглянуто питання охорони праці, що стосуються робіт з монтажу системи електропостачання ДП «45 експериментальний механічний завод, місто Вінниця. На електротехнічний персонал, що здійснює монтаж і експлуатацію системи електропостачання підприємства, впливають такі шкідливі виробничі фактори [26,27].

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); іонізація повітря.

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'єкта

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Живлення силового обладнання для монтажу та системи освітлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ ПБЕ [29,30] умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що будуються, є струмопровідною.

Під час монтажу й обслуговування обладнання електромонтажники повинні дотримуватися правил охорони праці [28], за якими потрібно перед початком монтажу електрообладнання вантажопідіймальних кранів змонтувати постійні настили з огорожами відповідно до ГОСТ 12.4.059, ГОСТ 23407, ГОСТ 24258. За правилами з охорони праці під час виконання робіт на кранах (на висоті) потрібно перебувати на раніше встановлених і надійно закріплених конструкціях чи засобах підмоцвання. Забороняється перебування людей на елементах конструкцій і обладнання під час їх піднімання та переміщення.

Навісні монтажні площадки, сходи та інші пристосування, що необхідні для виконання робіт на висоті, потрібно встановлювати на конструкціях, які монтуються до їх піднімання. Для переходу монтажників з однієї конструкції на іншу необхідно застосовувати драбини, перехідні містки і трапи, що мають огорожі. Забороняється перехід монтажників по встановлених конструкціях та їх елементах (фермах, ригелях тощо), на яких неможливо забезпечити необхідну ширину проходу при встановлених огорожах, без застосування спеціальних запобіжних пристроїв (натягнутого уздовж ферми чи ригеля каната для закріплення карабіна запобіжного поясу). Місця і способи кріплення каната повинні бути зазначені в ПВР. Спосіб стропування елементів конструкцій та обладнання повинен забезпечувати їх подавання до місця розміщення в положенні, близькому до проектного.

До робіт на висоті і верхолазних робіт допускаються навчені особи, стан здоров'я яких має відповідати медичним вимогам, встановленим для даних видів робіт («Положення про медичний огляд працівників певних категорій»). Працівники, які виконують верхолазні роботи, повинні мати відповідний запис в посвідченні про перевірку знань. До самостійних верхолазних робіт допускаються особи віком не молодші 18 років, які мають стаж верхолазних робіт не менше одного року і кваліфікаційний розряд не нижче четвертого. Робітники, які вперше допускаються до верхолазних робіт, протягом одного року повинні працювати під безпосереднім наглядом досвідчених спеціалістів, призначених наказом керівника підприємства. Працівники мають бути навчені безпеці праці до початку виконання верхолазних робіт.

Драбини, риштування, помости, кігті, лази та інші пристосування, що застосовуються для виконання робіт на висоті і верхолазних робіт, повинні бути сертифіковані, а також відповідати вимогам «Правил безпеки під час роботи з інструментом і пристроями».

Під час виконання робіт, коли немає можливості закріпити строп запобіжного поясу за конструкцію або опору, слід користуватися страхувальним канатом, що є відповідним до вимог ГОСТ 12.4.107. В цьому разі строп запобіжного паска заводиться за конструкцію, деталь опори тощо. Виконувати цю роботу повинні дві особи, друга особа в міру необхідності попускає чи натягує канат.

Під час роботи на конструкціях, під якими розташовані струмопровідні частини, що перебувають під напругою, ремонтні пристосування і інструмент прив'язуються для запобігання їх падінню. Застосовувати в цих випадках монтерські запобіжні паски зі стропами з металевого ланцюга забороняється.

Подавати деталі на конструкції чи устаткування слід за допомогою «нескінченного» канату. Працівник, який стоїть внизу, повинен утримувати канат для запобігання його розгойдуванню і наближенню до струмопровідних частин. Працівники, які виконують роботи на висоті або верхолазні роботи, повинні бути в спецодязі, що не заважає рухам. Особистий інструмент слід зберігати в сумці. Працівники, що здійснюють нагляд за членами бригади, які виконують верхолазні роботи або роботи на висоті, можуть розташовуватися на землі. Обслуговування освітлювальних пристроїв, розташованих на стелі машинних залів і цехів підприємств, з візків мостового крану слід провадити не менш ніж двома працівниками, один з яких з групою III. Під час виконання робіт з використанням крану ремонтникам має бути виданий наряд-допуск.

Ручний електрифікований інструмент повинен відповідати вимогам ДСТУ ІЕС 60745-1:2010 «Інструмент ручний електромеханічний. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги».

Номінальна напруга електроінструменту класів I та II не повинна перевищувати: 220 В – для електроінструменту постійного струму; 380 В – для електроінструменту змінного струму.

Електроінструмент, що живиться від електричної мережі, повинен бути оснащений незнімним гнучким кабелем (шнуром) із штепсельною вилкою.

Незнімний гнучкий кабель електроінструменту класу I повинен мати жилу, що з'єднує заземлювальний затискач електроінструменту із заземлювальним контактом штепсельної вилки.

Кабель у місці введення в електроінструмент класу I необхідно захищати від стирань та перегинань еластичною трубкою з ізоляційного матеріалу. Трубку необхідно закріплювати в корпусних деталях електроінструменту таким чином, щоб вона виступала за їх межі на довжину не менше п'яти діаметрів кабелю. Трубка на кабелі не повинна закріплюватись поза електроінструментом.

Для приєднання однофазного електроінструменту шланговий кабель повинен мати три жили: дві – для живлення, одна – для заземлювання. Для приєднання трифазного електроінструменту необхідно застосовувати чотирижильний кабель, одна з жил якого призначена для заземлювання. Це стосується тільки електроінструменту із заземленим корпусом.

Доступні для доторкання металеві деталі електроінструменту класу I, які можуть потрапити під напругу в разі пошкодження ізоляції, повинні бути з'єднані із заземлювальним затискачем. Електроінструменти класів II і III не підлягають заземленню. Заземлення корпусу електроінструменту необхідно виконувати за допомогою спеціальної жили кабелю живлення, яка не повинна одночасно бути провідником робочого струму. Не дозволяється використовувати для заземлення корпусу електроінструменту нульовий робочий провід.

Штепсельна вилка електроінструменту повинна мати відповідну кількість робочих і один заземлювальний контакт. Конструкція вилки повинна забезпечувати випереджувальне замикання заземлювального контакту при ввімкненні та більш запізніле розмикання при вимкненні. Конструкція штепсельних вилок електроінструменту класу III повинна передбачати унеможливлення зчленування їх з розетками на напругу вище 42 В.

Переносні понижувальні трансформатори, роздільні трансформатори та перетворювачі повинні бути оснащені на стороні вищої напруги кабелем зі

штепсельною вилкою для приєднання до електричної мережі. Довжина кабелю не повинна перевищувати 2 м, а його кінці необхідно закріплювати до затискачів трансформатора за допомогою паяння (зварювання) або болтового з'єднання. На стороні нижчої напруги трансформатора повинні бути передбачені гнізда під штепсельну вилку.

Кабель електроінструменту повинен бути захищений від випадкового пошкодження і зіткнення його з гарячими, вологими та масляними поверхнями.

4.1.2 Електробезпека

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення. Електропривід насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

Обов'язкова установка захисного заземлення та захисного відключення. При роботі з електроустаткуванням використовуються основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [31]. Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень наведені в таблиці 4.1. Робота з монтажу системи електропостачання та її обладнання відноситься до категорії Пб по важкості праці.

Таблиця 4.1 – Допустимі норми параметрів повітря на непостійних робочих місцях

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

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [32].

Під час монтажу системи електропостачання виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [32] наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери в робочій зоні монтажника

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення допустимих показників мікроклімату та складу повітря робочої зони відповідно до ДБН проектом передбачені наступні рішення [32]:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами , які встановленні безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;
- необхідно здійснювати контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;
- застосовувати природну вентиляцію: організовану та неорганізовану.

4.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [33] розряд зорової роботи V, підрозряд «а». Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 4.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характер зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика 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	а	малий	темний	400	200	3,0-	1,8

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

4.2.4 Виробничий шум

Під час монтажу системи електропостачання джерелом шуму є будівельне обладнання, машини, механізми та переносний електроінструмент – механічний шум. При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

- нормування за гранично допустимим спектром шуму;
- нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум – широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою – постійний; за

походженням – пневматичний. Допустимі рівні звукового тиску на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [34] і наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

4.2.5 Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сидниці). Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [35] і наведені в таблиці 4.5.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [36,37]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [38], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [39].

Отже, монтаж та експлуатація системи електропостачання ДП «45 експериментальний механічний завод, місто Вінниця відбувається в приміщеннях підприємства, які за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відносяться 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-Ia, де є тверді горючі речовини чи матеріали.

Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується II ступенем вогнестійкості. До II ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [40] наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між по-верхові (у т.ч. горищні та над підва-лами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки				плити, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [40] наведено в таблиці 4.7.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.8 (знаменник) [40].

Таблиця 4.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Таблиця 4.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
I, II	6/9	8/9	10/12

На території підприємства встановлено 78 порошкових вогнегасників ВВП-8 (ВП-5) і 42 газових вогнегасників ВВК-7 [41].

Висновки по розділу 4.

В даній частині дипломної роботи був проведений аналіз безпеки життєдіяльності на підприємстві, проаналізовані небезпечні та шкідливі фактори, які впливають на робочий персонал цеху. Встановленні технічні рішення що до безпечної експлуатації об'єкта, системи запобігання пожежі, гігієни праці та виробничої санітарії.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської дипломної роботи щодо розробки системи електропостачання Державного підприємства «45 Експериментальний механічний завод» отримано наступні теоретичні та практичні результати:

1. У першому розділі дипломної роботи здійснено аналіз виробничої структури підприємства та особливостей енергоспоживання. Встановлено, що більшість електроприймачів належить до II категорії надійності, що обумовлено високою енергоємністю технологічних процесів, зокрема термічної обробки, точного зварювання та роботи верстатів з числовим програмним керуванням. На основі цього обґрунтовано необхідність побудови надійної системи електропостачання з резервуванням живлення та високою стабільністю параметрів.

2. У другому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування вибору основних елементів СЕП підприємства. Здійснено розрахунок електричних навантажень окремих цехів і всього підприємства, визначено загальну потужність споживачів та розроблено оптимальну структуру електропостачання. Встановлено, що доцільно здійснити підключення до мережі 10 кВ від двох ПС – «Східна» та «Північна». Обрано схему із двома двотрансформаторними підстанціями з трансформаторами ТМ-1000/10. Проведено вибір кабельно-провідникової продукції (типу АПвЭгаПу-10 та АВВГ), захисної апаратури серій ЕВ і ЕВ2, розроблено однолінійні схеми та виконано перевірку апаратури за критеріями чутливості та термічної стійкості до струмів короткого замикання.

3. У науково-дослідній частині дипломної роботи досліджено доцільність і ефективність впровадження засобів компенсації реактивної потужності для покращення енергетичних показників системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод».

Проведено детальний аналіз структури реактивного навантаження підприємства. Встановлено, що найбільшу частку індуктивного навантаження формують компресори, установки термічної обробки, зварювальні трансформатори та обладнання плазмового різання. Середня реактивна потужність на шинах

трансформаторних підстанцій перевищує 1500 кВАр, що негативно впливає на режим роботи мережі та обумовлює необхідність компенсації.

З метою оптимізації параметрів системи електропостачання створено математичну модель у середовищі MathCad для визначення оптимального розподілу потужностей КРП по шинних вузлах 0,4 кВ. Результати моделювання дозволили обґрунтувати доцільність реалізації комбінованої схеми компенсації, яка включає централізовані, групові та індивідуальні установки КРП.

Для оцінки техніко-економічної ефективності запропонованих рішень здійснено порівняльний аналіз централізованої та комбінованої схем. Встановлено, що комбінована КРП забезпечує зниження капітальних витрат на 15,5%, покращення енергоефективності за рахунок локальної компенсації безпосередньо біля споживачів, зменшення втрат у лініях, покращення селективності захисту та загальне підвищення надійності системи. Загальна вартість впровадження комбінованої схеми для Т1/ТП1 склала 97 410 грн, що є економічно вигіднішим у порівнянні з централізованим варіантом (115 320 грн).

Таким чином, дослідження підтвердило, що впровадження комбінованої системи КРП дозволяє не лише підвищити технічні характеристики електропостачання, а й досягти значного економічного ефекту. Запропоновані рішення відповідають вимогам ПУЕ, ДСТУ EN 50160 та сучасним стандартам енергоефективності, що робить їх доцільними для впровадження на підприємстві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
2. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2015. – 540 с.
3. Електричні системи і мережі. Частина 1 : навчальний посібник / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацадзе, В. В. Нетребський ; за ред. П. Д. Лежнюка. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 200 с.
4. ДП 45 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://45emp.business-guide.com.ua/>, дата звернення: 15.05.2025.
5. Формування умов оптимальності компенсації реактивної потужності в електричних мережах споживачів і енергопостачальних компаній : монографія / П. Д. Лежнюк, О. М. Нанака. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 148 с.
6. Бурбело М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 123 с.
7. Правила улаштування електроустановок (1-ше перегл. і допов. вид.). Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
8. Тарифи ПАТ "Вінницяобленерго" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.voe.com.ua/consumers/individuals/fees>, дата звернення: 15.05.2025.
9. РТМ 36.18.32.4. Методика розрахунку електричного навантаження. 9 с.
10. Промислові автоматичні вимикачі ЕВ та ЕВ2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eti.ua/produktsiya-ua/etibreak/eb2/>, дата звернення: 16.05.2025.
11. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
12. ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого

замикання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2008. 82 с.

13. Р-50-072-98. Енергозбереження. Методика розрахунку технологічних втрат електроенергії в діючих мережах електропостачання напругою від 0,4 до 110 кВт включно.

14. Міжнародна стандартизація та технічне забезпечення енергоефективності підприємств [монографія] / Н. А. Медведєва та ін. – Київ : НУБіП України, 2019. – 294 с.

15. Трансформатори силові [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099>, дата звернення: 17.05.2025.

16. ДСТУ 3463-96. Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів. Київ : ДП «УкрНДНЦ». 204 с.

17. Вимикачі навантаження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://001.com.ua/uk/vumykachi-navantazhennya-c756>, дата звернення: 17.05.2025.

18. Офіційний сайт ТОВ «Завод Південкабель» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.yuzhcable.info>, дата звернення: 17.05.2025.

19. Жежеленко І. В., Півняк Г. Г., Трофімов Г. Г., Папаїка Ю. А. Реактивна потужність в електричних мережах : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. 72 с.

20. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021. Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах. Київ : НЕК «Укренерго», 2021. 316 с.

21. Бурбело М. Й. Електромагнітна сумісність і керування якістю електроенергії в системах електропостачання : електронний навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2023. 159 с.

22. Л. Б. Терешкевич, Т. М. Червінська. "Компенсація реактивної потужності в умовах несиметрії напруг в електричних мережах" – Вінниця: ВНТУ, 2025. 117 с.

23. П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, А. В. Килимчук. Компенсація взаємовпливу неоднорідних електричних мереж з використанням лінійних регуляторів – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 172 с.

24. Демов О. Д., Півнюк Ю. Ю. Оптимізація впровадження та використання компенсувальних установок у розподільних електричних мережах : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2018. 80 с.
25. Бурбело М. Й., Войтюк Ю. П., Мельничук Л. М. Підвищення ефективності компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2019. 88 с.
26. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
27. 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->.
28. 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.
29. 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.
30. 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>.
31. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
32. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
33. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

34. 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>.

35. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

36. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

37. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

38. 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>.

39. 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.

40. 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.

41. 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

Додаток А ВИХІДНІ ДАННІ

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«45 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД», МІСТО ВІННИЦЯ**

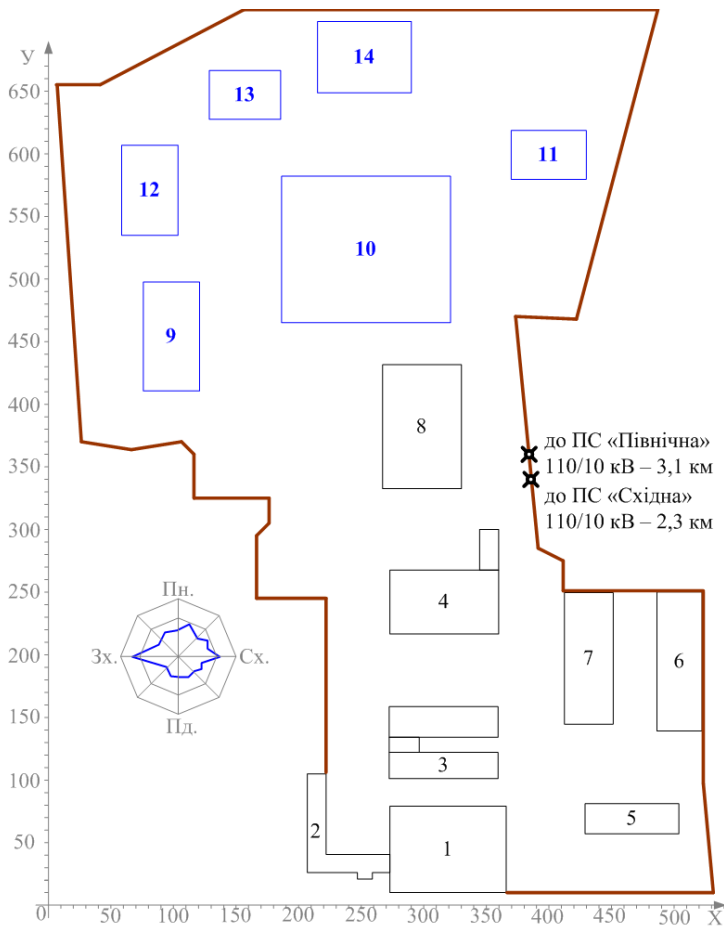


Рисунок 1 – Генплан ДП «45 ЕМЗ»

Відстань від підприємства до живлячої підстанції енергосистеми:
 на напрузі 10 кВ – «Східна» 110/10 кВ – 3,1 км;
 на напрузі 10 кВ – «Північна» 110/10 кВ – 2,3 км;
 на напрузі 6 кВ – «Хімік» 110/6 кВ – 2,0 км.
 Потужність короткого замикання зі сторони 10 кВ складає $S_{кз}=200$ МВА.
 Вхідна РП складає $Q_{вх} = 800$ кВАр.
 Час використання максимального навантаження $T_m=3500$ год/рік.
 Час максимальних втрат складає $t_m=1968,2$ год/рік.
 Тариф за активну електроенергію $t=6,649$ грн/кВт·год.

Таблиця 1 – Електричні навантаження ДП «45 ЕМЗ»

№	Назва цеху	P_n , кВт	K_p	$\cos\phi$	$\tan\phi$	F, m^2	$P_{пит.о}$ Вт/м ²	$K_{по}$	$K_{пра}$
1	Відділи: технічний, технологічний та виробничо-диспетчерський, а також ковальсько-пресова дільниця	400	0,7	0,71	0,99	6417	0,016	0,8	1,2
2	Заводоуправління	100	0,8	0,65	1,17	1983	0,02	0,85	1,2
3	Відділення виготовлення деталей із гуми і пластмас	220	0,9	0,8	0,75	3654	0,016	0,8	1,1
4	Компресорна	250	0,6	0,9	0,48	4437	0,015	0,85	1,1
5	Цех №1	200	0,8	0,8	0,75	1800	0,017	0,85	1,1
6	Цех №2	300	0,8	0,85	0,62	3996	0,018	0,8	1,1
7	Склад металу	110	0,7	0,8	0,75	4095	0,017	0,9	1,1
8	Відділення плазмового різання	450	0,6	0,8	0,75	6237	0,019	0,8	1,2
9	Субабонент №1	40	0,6	0,7	1,02	600	0,017	0,85	1,1
10	Субабонент №2	180	0,9	0,85	0,62	1500	0,02	0,85	1,2
11	Субабонент №3	180	0,7	0,8	0,75	2340	0,019	0,9	1,1
12	Субабонент №4	120	0,8	0,8	0,75	1200	0,02	0,85	1,2
13	Субабонент №5	140	0,9	0,85	0,62	2100	0,02	0,8	1,2
14	Субабонент №6	180	0,7	0,8	0,75	3000	0,016	0,8	1,1

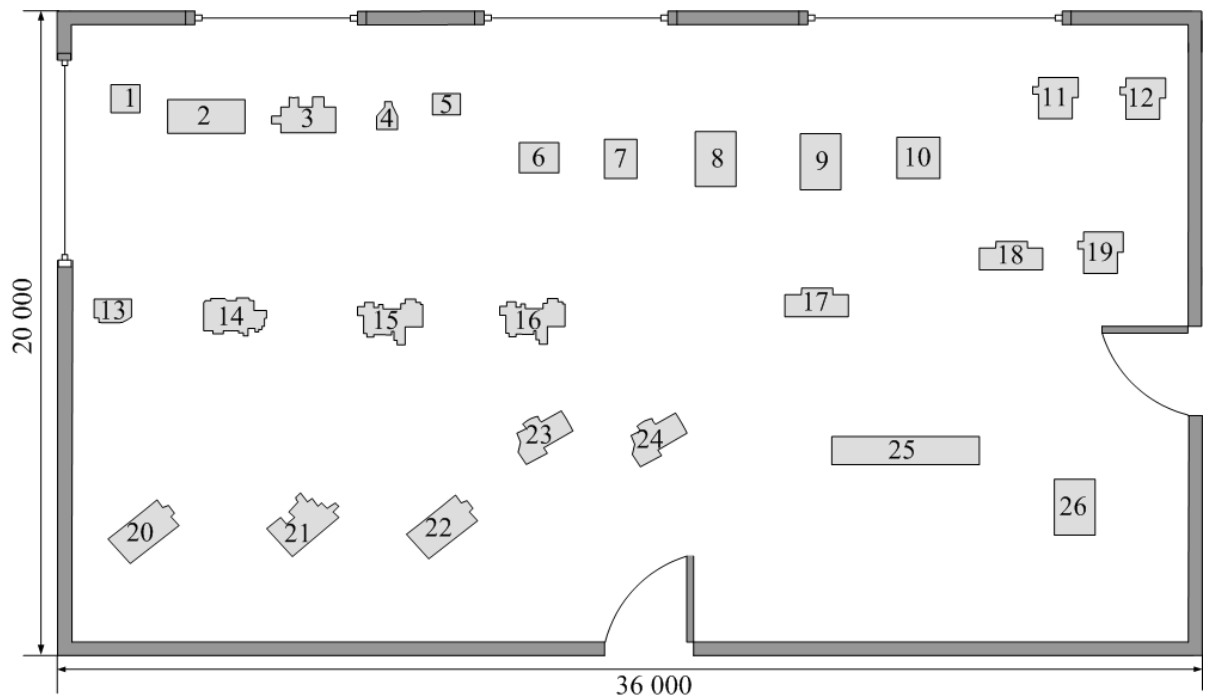


Рисунок 2 – План механічного цеху

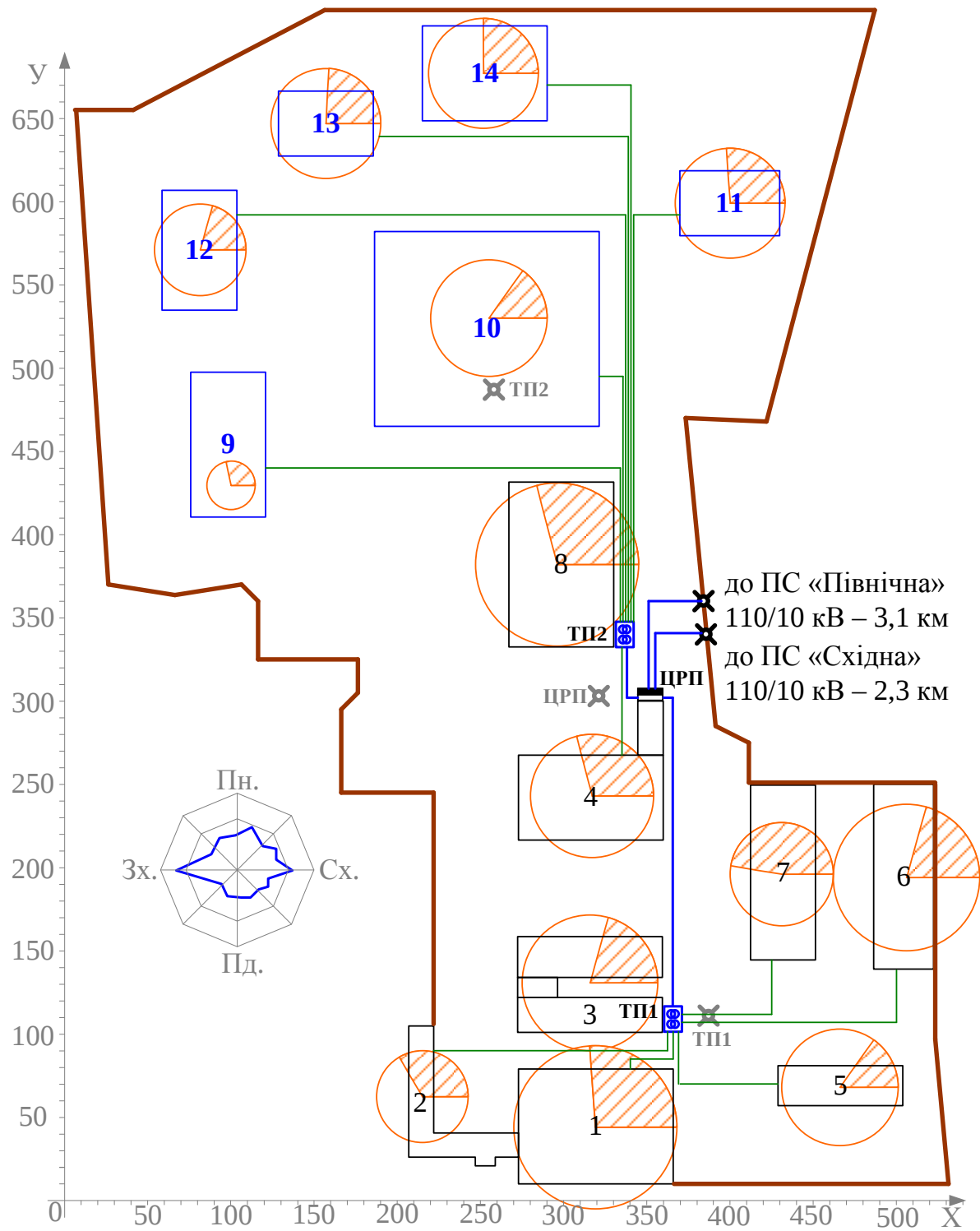
Таблиця 2 – Електричні навантаження цеху

№ на плані	Назва електроприймача	Р _н , кВт
1	Вентилятор	3,4
2	Верстат відрізний абразивний	20
3	Кругова ділильна машина	0,56
4	Універсальний ультразвуковий прошивочний верстат	0,8
5	Універсальний копювально-прошивочний верстат	3,4
6	Анодно-механічний відрізний верстат	14
7	Ультразвуковий прошивочний верстат	3
8-9	Вертикально-свердильний верстат	8,6
10	Вертикально-свердильний верстат	5,8
11-12	Копювально-фрезерний верстат	0,54
13	Токарно-револьверний верстат	6,8
14	Токарно-револьверний верстат	28
15-16	Токарно-затилочний напівавтомат	13
17-18	Двосторонній центрувальний верстат	1,2
19	Копювально-фрезерний верстат	0,54
20	Пилка ножовочна	3,6
21	Верстат для стругання пуансонів	2,6
22	Поперечно-стругальний верстат	16
23-24	Поперечно-стругальний верстат	9
25	Токарно-гвинторізний верстат	20
26	Токарно-гвинторізний верстат	20

Додаток Б ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«45 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД», МІСТО ВІННИЦЯ**

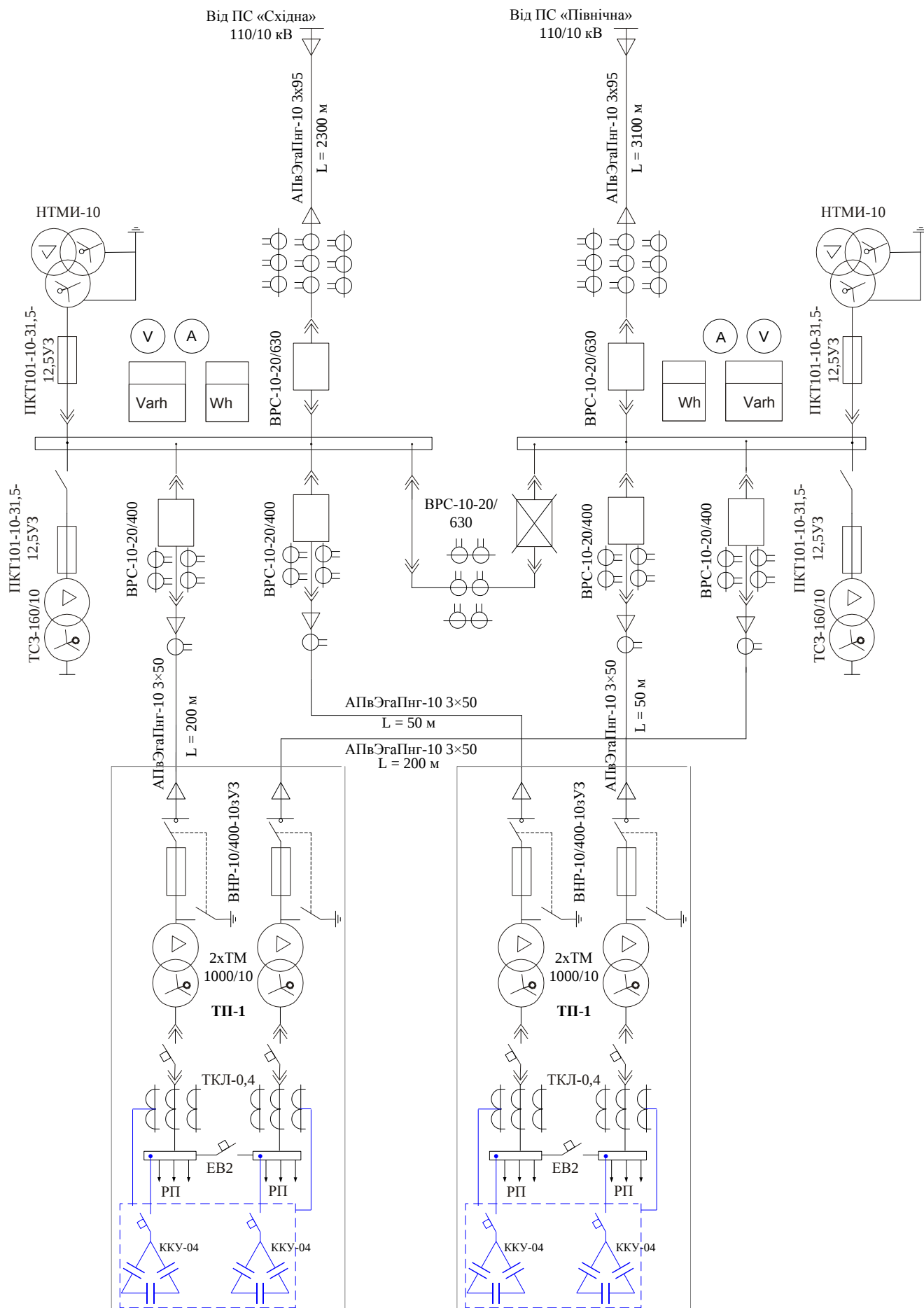
План підприємства із силовими розподільчими, та живильними мережами



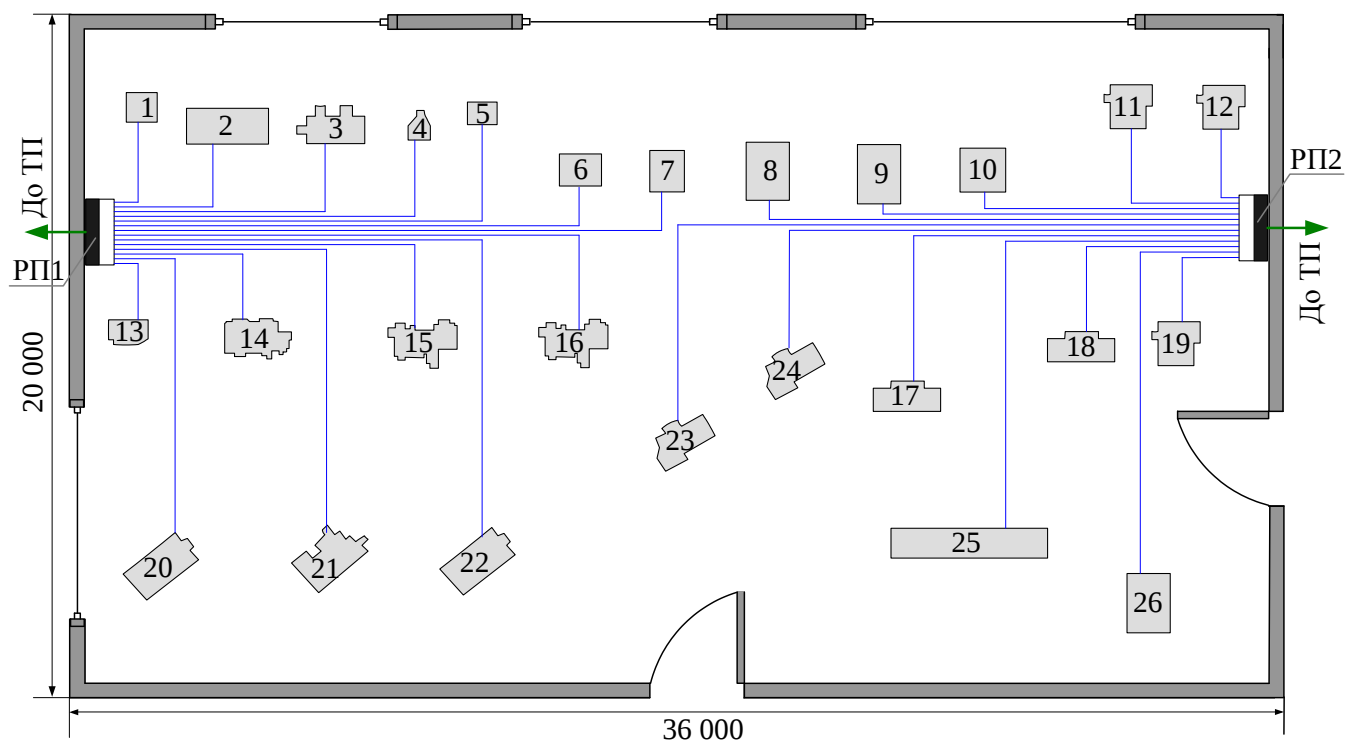
Умовні позначення

- | | | | |
|--|--------------------------------|--|-----------|
| | Точка підведення зовнішньої КЛ | | КЛ 10 кВ |
| | ЦРП 10 кВ | | КЛ 0,4 кВ |
| | Двотрансформаторна ТП | | |

Однолінійна схема електропостачання підприємства



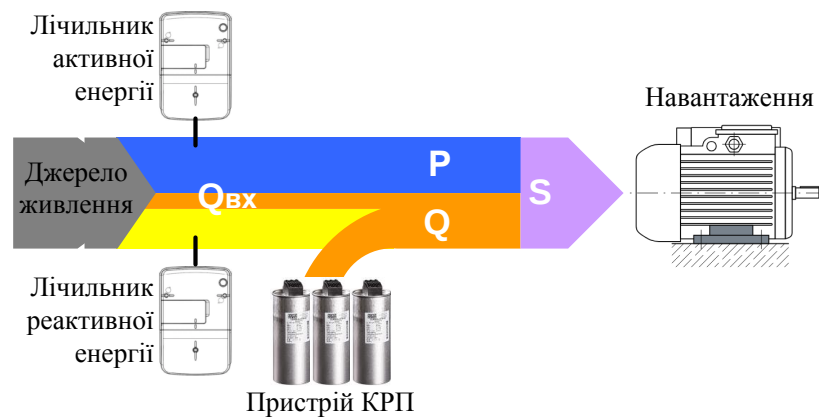
План електропостачання цеху



Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху

[illegible]

Оптимальна потужність конденсаторних установок



Принцип здійснення КРП

Вхідні дані для розрахунку

Напруга, кВ:

$$U := 10$$

Вхідна реактивна потужність, квар:

$$q_{вх} := 800$$

Коефіцієнт ефективності капіталовкладень

$$E_e := 0.1$$

Коефіцієнт відрахувань на амортизацію

$$E_a := 0.04$$

Питома вартість КУ

$$B_{к0} := 100$$

Питомі втрати реактивної потужності в КУ, кВт/Мвар

$$\Delta P_K := 4.5$$

Питома вартість втрат активної потужності, грн/кВт

$$B_o := 13086.31$$

Питомі активні опори ліній живлення, Ом/км

$$r_{01} := 0.641 \quad r_{02} := 0.641$$

Довжини ліній від ЦРП до ЦТП, км

$$L_{кл1} := 0.05 \quad L_{кл2} := 0.2$$

Опори трансформаторів, Ом

$$r_{т1} := 1.05 \quad r_{т2} := 1.05$$

Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар:

$$q_{н1} := 812.7 \quad q_{н2} := 739.12$$

Довільні початкові потужності БК у вузлах навантаження, квар:

$$q_{к1} := 100 \quad q_{к2} := 100$$

Довжина та питомий опір ліній живлення:

$$l_{ж} := 3.1 \quad r_{ж0} := 0.32$$

Опір зовнішньої лінії живлення, Ом

$$r_{ж} := l_{ж} \cdot r_{ж0} = 0.992$$

Опір розподільних ліній живлення, Ом

$$r_{л1} := r_{01} \cdot L_{кл1} = 0.032 \quad r_{л2} := r_{02} \cdot L_{кл2} = 0.128$$

Модель балансової задачі компенсації реактивних навантажень

$$3(q_{к1} \cdot q_{к2}) := \frac{B_o}{U^2 \cdot 1000} \left[\begin{aligned} &(q_{н1} - q_{к1})^2 \cdot \left(\frac{r_{т1} + r_{л1}}{2} \right) \dots \\ &+ (q_{н2} - q_{к2})^2 \cdot \left(\frac{r_{т2} + r_{л2}}{2} \right) \dots \\ &+ (q_{н1} + q_{н2} - q_{к1} - q_{к2})^2 \cdot \frac{r_{ж}}{2} \end{aligned} \right] + [(E_e + E_a) \cdot B_{к0} + B_o \cdot \Delta P_K] \cdot (q_{к1} + q_{к2})$$

Given

обмеження

$$q_{к1} \geq 0 \quad q_{к2} \geq 0$$

$$(q_{н1} + q_{н2}) - (q_{к1} + q_{к2}) = q_{вх}$$

Визначаємо оптимальне проектне рішення:

$$q_k := \text{Minimize}(3, q_{к1} \cdot q_{к2}) = \begin{pmatrix} 395.684 \\ 356.136 \end{pmatrix}$$

Річні приведені затрати, грн

$$3(q_{к1} \cdot q_{к2}) = 1.197 \times 10^7$$

Перевірка, квар

$$(q_{н1} + q_{н2}) - (q_{к1} + q_{к2}) = 800 \quad q_{вх} = 800$$

$$\begin{pmatrix} Q_{К1.1} \\ Q_{К1.2} \\ Q_{К2.1} \\ Q_{К2.2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 190 \\ 205 \\ 186 \\ 170 \end{pmatrix} \text{ кВАр}$$

Вигляд розрахунку задачі КРН в середовищі MathCad

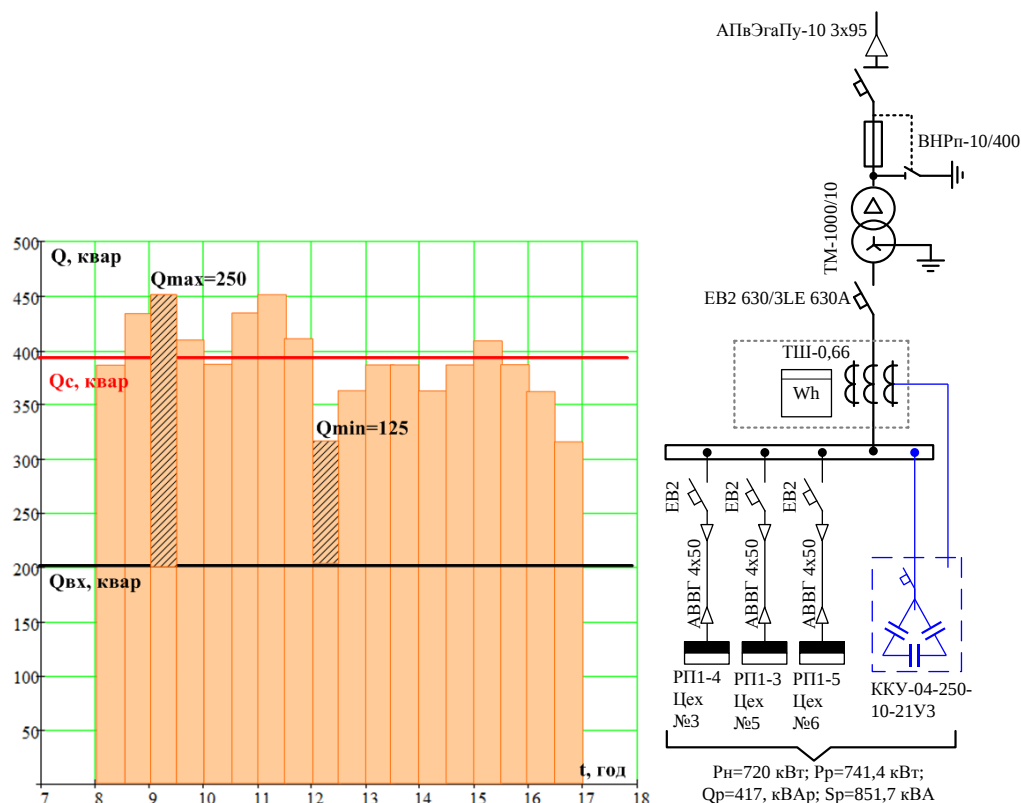
ТП1 трансформатор №1 – 190 квар;

ТП1 трансформатор №2 – 205 квар;

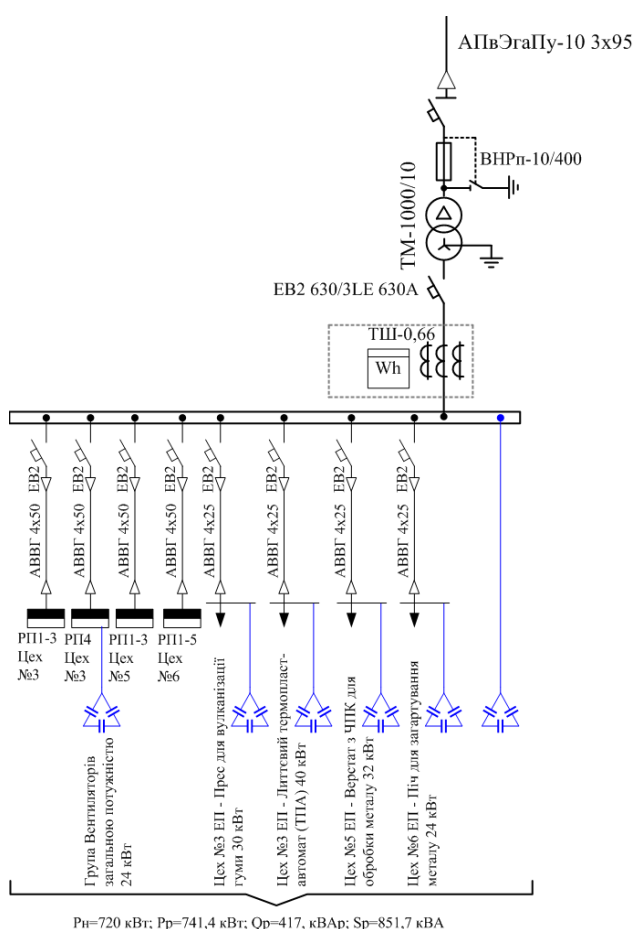
ТП2 трансформатор №1 – 186 квар;

ТП2 трансформатор №2 – 170 квар.

Визначення оптимальних пристроїв для КРП



Добовий графік реактивного навантаження та централізована КРП на Т1/ТП1



Комбінована КРП на Т1/ТП1

Точка приєднання КУ	Вид КРП	Тип КУ
Цех №3 ЕП - Прес для вулканізації гуми	Індивідуальна (нерегульована)	Конденсаторна батарея ETI LPC-DW 400V 20kVA _r
Цех №3 ЕП - Литвий термопласт-автомат (ТПА)	Індивідуальна (нерегульована)	Конденсаторна батарея ETI LPC-DW 400V 25kVA _r
Цех №5 ЕП - Верстат з ЧПК для обробки металу 32	Індивідуальна (регульована)	ККУ-04-40-5
Цех №6 ЕП - Піч для загартування металу 24	Індивідуальна (нерегульована)	Конденсаторна батарея ETI LPC-DW 400V 30kVA _r
РП4 Цех №3 Група Вентиляторів загальною потужністю 24	Групово (нерегульована)	Конденсаторна батарея ETI LPC-DW 400V 20kVA _r
РП1-3 Цех №3	Централізована	
РП1-3 Цех №5	Централізована	
РП1-5 Цех №6	Централізована	
Т1/ТП1 0,4 кВ	Централізована (регульована)	ККУ-04-80-5
РАЗОМ		

**Додаток В ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ)
РОБОТИ**

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«45 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД», МІСТО ВІННИЦЯ**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Розробка системи електропостачання Державного підприємства «45 експериментальний механічний завод», місто Вінниця

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ: Кафедра ЕСЕМ, ФЕЕМ, ЕЕ-216
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 24,56 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту.

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Бурбело М. Й., завідувач кафедри ЕСЕМ
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Бабенко О. В., доцент кафедри ЕСЕМ
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Лобода Ю. В.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____
(підпис)

Бурбело М.Й., д.т.н., проф. каф. ЕСЕМ
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____
(підпис)

Якимовський Р.А.
(прізвище, ініціали)

Додаток Г ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА «45 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД», МІСТО ВІННИЦЯ

Бакалаврська дипломна робота на тему

Розробка системи електропостачання Державного підприємства «45 експериментальний механічний завод», місто Вінниця

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕЕ-21б
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Якимовський Роман Анатолійович

Науковий керівник:
Бурбело Михайло Йосипович,
доктор технічних наук, професор

Мета та задачі бакалаврської дипломної роботи

2

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка системи електропостачання ДП «45 ЕМЗ» шляхом підвищення надійності та економічності її роботи, що досягається за рахунок аналізу існуючої схеми живлення, розрахунку електричних навантажень, вибору оптимальної структури СЕП, а також впровадженню компенсації реактивної потужності.

Об'єкт дослідження – розробка системи електропостачання ДП «45 ЕМЗ».

Предмет дослідження – це процес функціонування системи електропостачання з подальшою розробкою заходів щодо компенсації реактивної потужності.

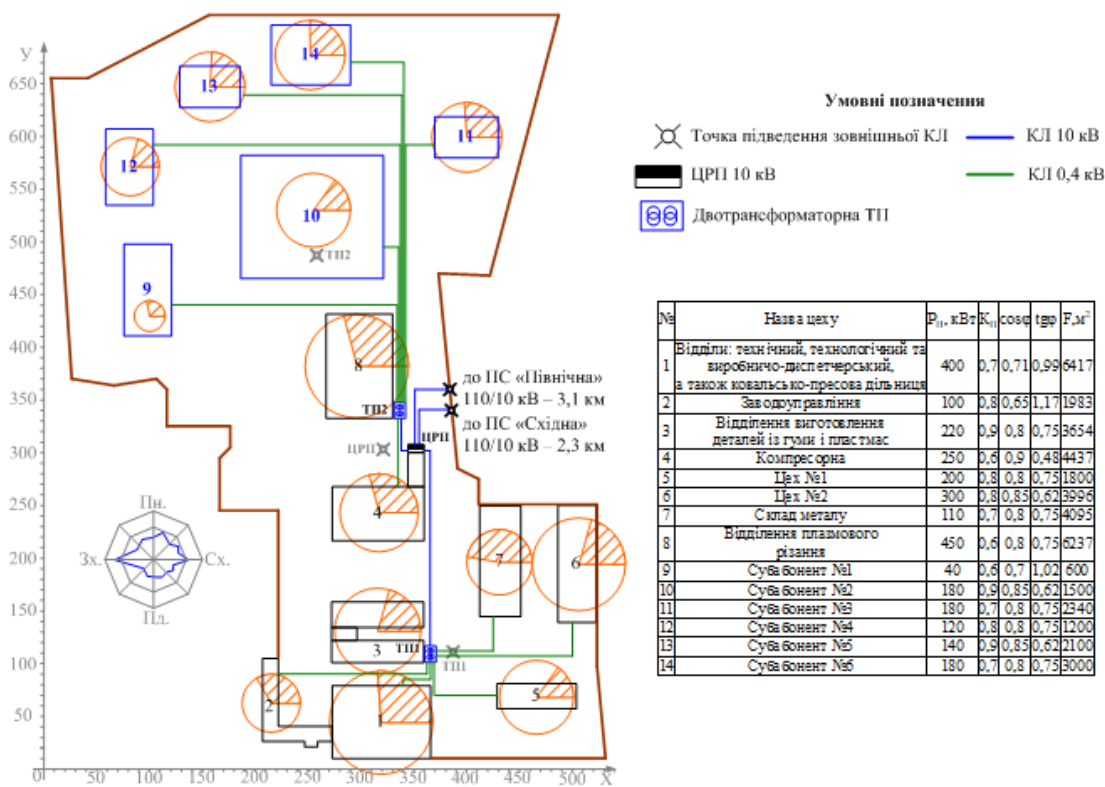
Методи дослідження. У даній роботі використано загальноприйняті теоретичні методи проектування систем електропостачання, зокрема методи визначення електричних навантажень на основі упорядкованих діаграм навантаження, коефіцієнтів попиту та використання, а також техніко-економічного порівняння варіантів конфігурацій СЕП [1,4,5].

У науково-дослідній частині дипломної роботи досліджено доцільність і ефективність впровадження засобів компенсації реактивної потужності для покращення енергетичних показників системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод».

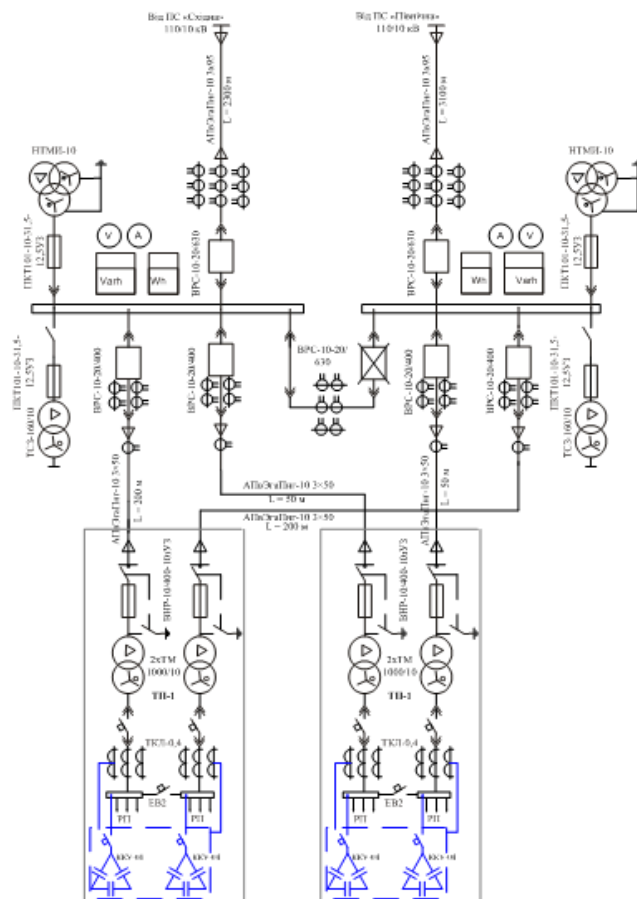
Проведено детальний аналіз структури реактивного навантаження підприємства. З метою оптимізації параметрів системи електропостачання створено математичну модель у середовищі MathCad для визначення оптимального розподілу потужностей КРП по шинних вузлах 0,4 кВ. Результати моделювання дозволили обґрунтувати доцільність реалізації комбінованої схеми компенсації, яка включає централізовані, групові та індивідуальні установки КРП.

Практична цінність. Розроблені технічні та організаційні рішення щодо розробки системи електропостачання ДП «45 ЕМЗ», включаючи вибір оптимальних схем живлення, параметрів трансформаторних підстанцій та засобів захисту, можуть бути безпосередньо впроваджені у виробничу інфраструктуру підприємства.

План підприємства із силовими розподільчими, та живильними мережами 3

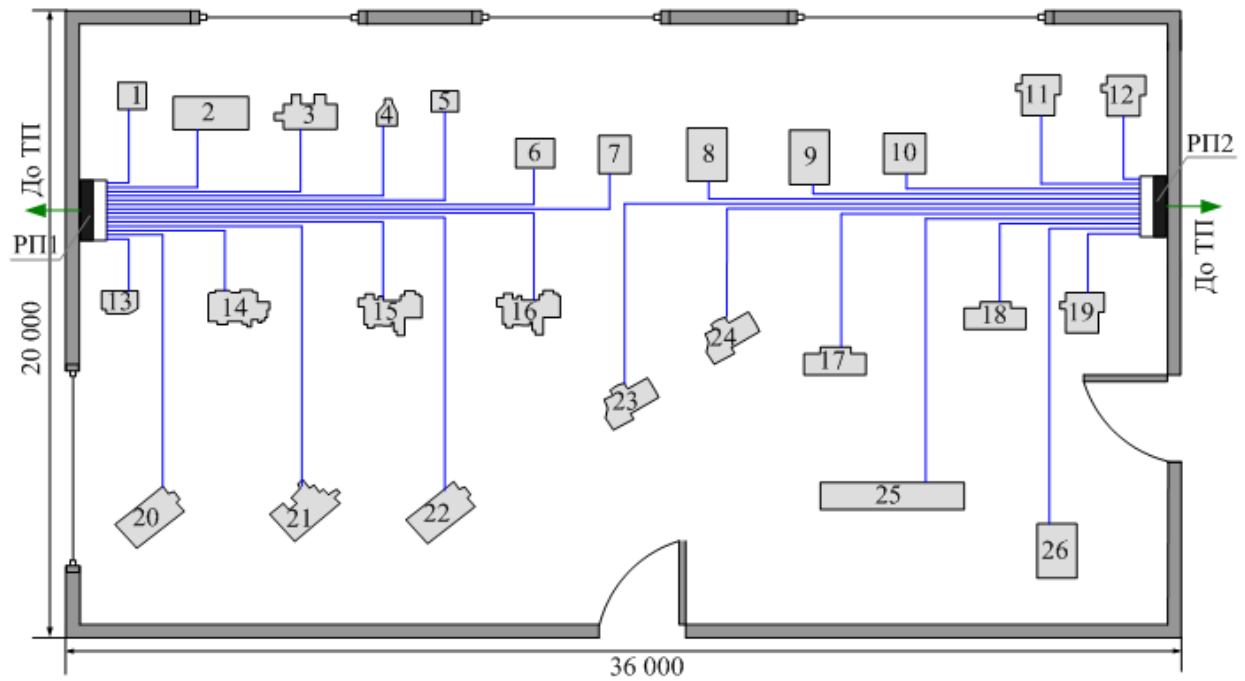


Однолінійна схема електропостачання енергетичного господарства 4



План електропостачання цеху

5



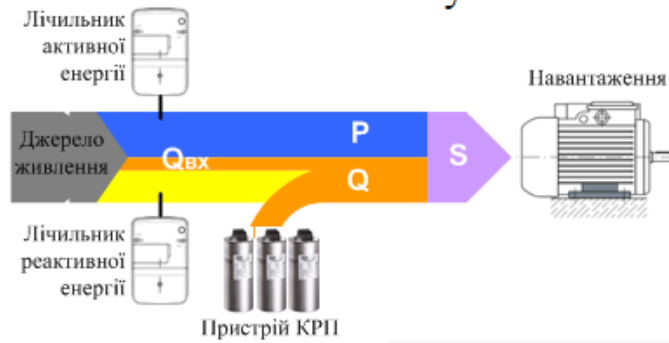
Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху

6

Линейні	Линейні						Розрахункова таблиця						РП	Линейні						Розрахункова таблиця						РП	Линейні						Розрахункова таблиця						Найменування РП																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Тип АВ	№. А	Довж. А	№. А	Довж. А	№. А	Тип АВ	№. А	Довж. А	№. А	Довж. А	№. А		Тип АВ	№. А	Довж. А	№. А	Довж. А	№. А	Тип АВ	№. А	Довж. А	№. А	Довж. А	№. А		Тип АВ	№. А	Довж. А	№. А	Довж. А	№. А																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
РП1	ЕВ1 250 IE 125	121	121	700	78.6	Випарно	ABB	4670	148	РП1	ЕВ 100 IL 16A	16	16	250	7.8	Випарно	ABB	4625	19	38.3	3.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Оптимальна потужність конденсаторних установок

7



ТП1 трансформатор №1 – 190 квар;
 ТП1 трансформатор №2 – 205 квар;
 ТП2 трансформатор №1 – 186 квар;
 ТП2 трансформатор №2 – 170 квар.

Вхідні дані для розрахунку
 Напруга, кВ: $U = 10$
 Вхідна реактивна потужність, квар: $Q_{\text{вх}} = 800$
 Коефіцієнт ефективності капіталовкладень: $E_k = 0.1$
 Коефіцієнт відрахувань на амортизацію: $E_a = 0.04$
 Потік вартість КУ: $B_{\text{к0}} = 100$
 Потік вартість реактивної потужності в КУ, кВт/Мвар: $\Delta P_k = 4.5$
 Потік вартість втрат активної потужності, грн/кВт: $B_0 = 13086.31$
 Потік активний опір ліній живлення, Ом/км: $r_{01} = 0.641$, $r_{02} = 0.641$
 Довжина ліній від КРП до ЦТП, км: $L_{\text{хв1}} = 0.05$, $L_{\text{хв2}} = 0.2$
 Опори трансформаторів, Ом: $r_{\text{т1}} = 1.05$, $r_{\text{т2}} = 1.05$
 Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар: $q_{\text{н1}} = 812.7$, $q_{\text{н2}} = 739.12$
 Довільні початкові потужності БК у вузлах навантаження, квар: $q_{\text{к1}} = 100$, $q_{\text{к2}} = 100$
 Довжина та питомий опір ліній живлення: $L_{\text{ж}} = 3.1$, $r_{\text{ж0}} = 0.32$
 Опір зовнішньої лінії живлення, Ом: $r_{\text{ж}} = L_{\text{ж}} \cdot r_{\text{ж0}} = 0.992$
 Опір розподільчих ліній живлення, Ом: $r_{\text{л1}} = r_{01} \cdot L_{\text{хв1}} = 0.032$, $r_{\text{л2}} = r_{02} \cdot L_{\text{хв2}} = 0.128$

Модель балансової задачі компенсації реактивних навантажень

$$3(q_{\text{н1}} + q_{\text{н2}}) = \frac{B_0}{U^2 \cdot 1000} \left[(q_{\text{н1}} - q_{\text{к1}})^2 \left(\frac{r_{\text{т1}} + r_{\text{л1}}}{2} \right) + (q_{\text{н2}} - q_{\text{к2}})^2 \left(\frac{r_{\text{т2}} + r_{\text{л2}}}{2} \right) - (q_{\text{н1}} + q_{\text{н2}} - q_{\text{к1}} - q_{\text{к2}})^2 \frac{r_{\text{ж}}}{2} \right] + [(E_k + E_a) B_{\text{к0}} + B_0 \cdot \Delta P_k] (q_{\text{н1}} + q_{\text{н2}})$$

Given

обмеження

$q_{\text{н1}} \geq 0$, $q_{\text{н2}} \geq 0$

$(q_{\text{н1}} + q_{\text{н2}}) - (q_{\text{н1}} + q_{\text{н2}}) = q_{\text{вх}}$

Визначаємо оптимальне проективне рішення:

$$q_{\text{к}} = \text{Minimize} \left(3 \cdot q_{\text{н1}} \cdot q_{\text{н2}} \right) = \begin{pmatrix} 395.684 \\ 356.136 \end{pmatrix}$$

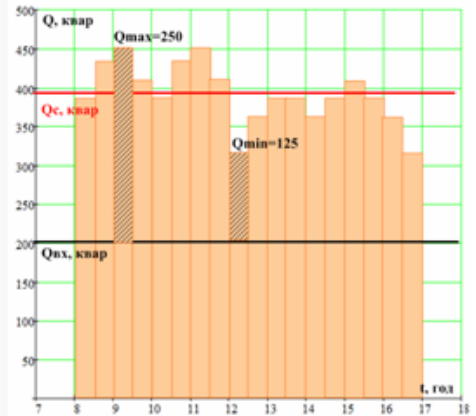
Річні приведені затрати, грн

$$3(q_{\text{н1}} + q_{\text{н2}}) = 1.197 \times 10^7$$

Перевірка, квар

$$(q_{\text{н1}} + q_{\text{н2}}) - (q_{\text{к1}} + q_{\text{к2}}) = 800 \quad q_{\text{вх}} = 800$$

$$\begin{pmatrix} Q_{\text{К1.1}} \\ Q_{\text{К1.2}} \\ Q_{\text{К2.1}} \\ Q_{\text{К2.2}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 190 \\ 205 \\ 186 \\ 170 \end{pmatrix} \text{ кВАр}$$

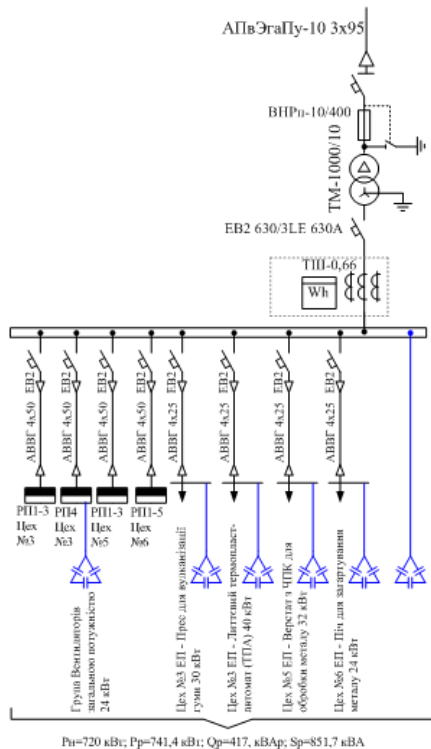


Добовий графік реактивного навантаження на Т1/ТП1

Вигляд розрахунку задачі КРН в середовищі MathCad

Визначення оптимальних пристроїв для КРП

8



Точка приєднання КУ	Вид КРП	Р _н , кВт	cos φ	Q, кВАр	Тип КУ	Q _{кв} , кВАр	Ціна, грн.
Цех №3 ЕП - Прес для вулканізації гуми	Індивідуальна (нерегульована)	30	0,75	21,2	Конденсаторна батарея ETILPC-DW 400V 20kV Ar	20	3190
Цех №3 ЕП - Литтєвий термопласт-автомат (ТПА)	Індивідуальна (нерегульована)	40	0,75	26,5	Конденсаторна батарея ETILPC-DW 400V 25kV Ar	25	3930
Цех №5 ЕП - Верстат з ЧПК для обробки металу 32	Індивідуальна (регульована)	32	0,7	40,8	ККУ-04-40-5	40	33240
Цех №6 ЕП - Пнч для загартування металу 24	Індивідуальна (нерегульована)	24	0,71	31,7	Конденсаторна батарея ETILPC-DW 400V 30kV Ar	30	4780
РП4 Цех №3 Група Вентиляторів загальною потужністю 24	Групово (нерегульована)	24	0,75	21,2	Конденсаторна батарея ETILPC-DW 400V 20kV Ar	20	3190
РП1-3 Цех №3	Централізована	126	0,8	79,60			
РП1-3 Цех №5	Централізована	168	0,8	79,20			
РП1-5 Цех №6	Централізована	276	0,85	117,0			
Т1 ТП1 0,4 кВ	Централізована (регульована)			75,84	ККУ-04-80-5	80	49080
РАЗОМ							97410

Рн=720 кВт; Рр=741,4 кВт; Qр=417, кВАр; Sp=851,7 кВА

Висновки по роботі

9

У науково-дослідній частині дипломної роботи досліджено доцільність і ефективність впровадження засобів компенсації реактивної потужності для покращення енергетичних показників системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод».

Проведено детальний аналіз структури реактивного навантаження підприємства. Встановлено, що найбільшу частку індуктивного навантаження формують компресори, установки термічної обробки, зварювальні трансформатори та обладнання плазмового різання. Середня реактивна потужність на шинах трансформаторних підстанцій перевищує 1500 кВАр, що негативно впливає на режим роботи мережі та обумовлює необхідність компенсації.

З метою оптимізації параметрів системи електропостачання створено математичну модель у середовищі MathCad для визначення оптимального розподілу потужностей КРП по шинних вузлах 0,4 кВ. Результати моделювання дозволили обґрунтувати доцільність реалізації комбінованої схеми компенсації, яка включає централізовані, групові та індивідуальні установки КРП.

Для оцінки техніко-економічної ефективності запропонованих рішень здійснено порівняльний аналіз централізованої та комбінованої схем. Встановлено, що комбінована КРП забезпечує зниження капітальних витрат на 15,5%, покращення енергоефективності за рахунок локальної компенсації безпосередньо біля споживачів, зменшення втрат у лініях, покращення селективності захисту та загальне підвищення надійності системи. Загальна вартість впровадження комбінованої схеми для Т1/ТП1 склала 97 410 грн, що є економічно вигіднішим у порівнянні з централізованим варіантом (115 320 грн).

Таким чином, дослідження підтвердило, що впровадження комбінованої системи КРП дозволяє не лише підвищити технічні характеристики електропостачання, а й досягти значного економічного ефекту. Запропоновані рішення відповідають вимогам ПУЕ, ДСТУ EN 50160 та сучасним стандартам енергоефективності, що робить їх доцільними для впровадження на підприємстві.