

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування факультету)

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
(повна назва кафедри)

менеджменту

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему

Розробка системи електропостачання приватного акціонерного товариства
«Калинівський машинобудівний завод»

Виконав: студент 2 курсу, групи E-23мсз

спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Гуліватий В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ

Войтюк Ю.П.

(прізвище та ініціали)

« 16 » 06 2025 р.

Рецензент

к.т.н., доцент каф. ЕСС

Остра Н.В.

(прізвище та ініціали)

« 16 » 06 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

« 16 » 03 2025 р.

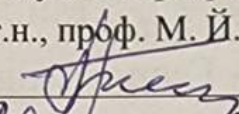
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 Електрична інженерія
Освітній ступінь – бакалавр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. М. Й. Бурбело


«20» 05 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Гулівату М. Віталію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Калинівський машинобудівний завод»

Керівник роботи Войтюк Юрій Петрович к.т.н., доц. каф. ЕСЕМ
затверджені наказом по ВНТУ від 10.03.2025 року, № 97

2. Термін подання студентом роботи «07» червня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: генплан підприємства; план цеху із розташуванням обладнання відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень; основні техніко-економічні показники (Додаток А).

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 навантажень цехової мережі

2.2 Реалізація схеми живлення цехової мережі

2.3 Вибір захисного обладнання та ліній живлення цехової мережі

2.4 Визначення струмів КЗ в мережах напругою до 1 кВ

2.5 Визначення розрахункових навантажень підприємства

2.6 Вибір оптимальної напруги живлення

2.7 Розрахунок техніко-економічного порівняння напруги

2.8 Вибір трансформаторів ГПП

2.9 Вибір і розміщення цехових ТП

2.10 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

2.11 Розрахунок струмів КЗ загальнозаводської мережі

3 ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Аналіз стану реактивного навантаження на підприємстві

3.2 Розрахунок оптимальної потужності конденсаторних установок

3.3 Визначення оптимальних пристроїв для КРП

3.4 Економічний ефект від встановлення КУ

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.3 Пожежна безпека

Висновки

Література

Додаток

– Генплан підприємства із картограмою навантажень і розподільною мережею

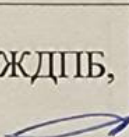
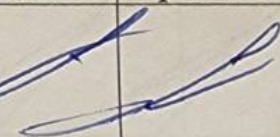
– Однолінійна схема електропостачання підприємства

– План цеху і силової мережі

– Розрахунково-монтажна таблиця

– Креслення із спецпитання

6. Консультанти розділів роботи

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

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

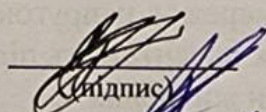
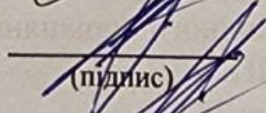
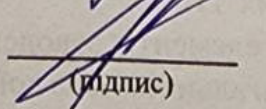
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим
1	Аналіз системи електропостачання підприємства	16.05.25	
2	Дослідження з актуальної для підприємства тематики	23.05.25	
3	Охорона праці	30.05.25	
4	Графічна частина	03.06.25	

Студент

Керівник бакалаврської
дипломної роботи

Нормоконтроль


(підпис)

(підпис)

(підпис)

Гуліватий В.О.
(прізвище та ініціали)

Войтюк Ю.П.
(прізвище та ініціали)

Войтюк Ю.П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гуліватий Віталій Олександрович. Розробка системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Калинівський машинобудівний завод». Бакалаврська дипломна робота. Спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕЕМ, 2025 – 87с.

Дана дипломна робота присвячена питанням розробки системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Калинівський машинобудівний завод»

Роботу було розроблено на базі даних отриманих під час проходження переддипломної практики на ПрАТ «КМЗ».

У дипломній роботі розглянуто питання проектування системи електропостачання підприємства та окремого цеху, зокрема виконано розрахунок електричних навантажень, обґрунтовано вибір кількості та потужності трансформаторних підстанцій, ліній живлення та засобів автоматизації.

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

Gulivaty Vitaliy Oleksandrovych. Development of the power supply system of the private joint-stock company "Kalyniv Machine-Building Plant". Bachelor thesis. Specialties 141 – Power engineering, electrical engineering and electromechanics. – ESEEM Department – Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2025 – 87p.

This thesis is devoted to the issues of developing the power supply system of the private joint-stock company "Kalyniv Machine-Building Plant"

The work was developed on the basis of data obtained during the pre-graduate internship at PrJSC "KMZ".

The thesis considers the issue of designing the power supply system of the enterprise and a separate workshop, in particular, the calculation of electrical loads is performed, the choice of the number and power of transformer substations, power lines and automation means is justified.

The main result of the scientific work is a study of the effectiveness of using reactive power compensation in the enterprise's SEP.

The work also considered the issues of labor protection and safety in emergency situations. Measures are given to reduce hazardous factors associated with production processes at this enterprise.

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

Drawings – 21

Tables – 31

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 навантажень цехової мережі	14
2.2 Реалізація схеми живлення цехової мережі	17
2.3 Вибір захисного обладнання та ліній живлення цехової мережі.....	18
2.4 Визначення струмів КЗ в мережах напругою до 1 кВ.....	21
2.5 Визначення розрахункових навантажень підприємства	25
2.6 Вибір оптимальної напруги живлення.....	28
2.7 Розрахунок техніко-економічного порівняння напруги	29
2.8 Вибір трансформаторів ГПП	31
2.9 Вибір і розміщення цехових ТП	33
2.10 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі.....	39
2.11 Розрахунок струмів КЗ загальнозаводської мережі	43
3 ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	47
3.1 Аналіз стану реактивного навантаження на підприємстві	47
3.2 Розрахунок оптимальної потужності конденсаторних установок.....	49
3.3 Визначення оптимальних пристроїв для КРП	51
3.4 Економічний ефект від встановлення КУ	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	58
4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	59
4.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочого місця	59
4.1.2 Електробезпека.....	60
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	61
4.2.1 Мікроклімат.....	61

4.2.2 Склад повітря робочої зони	62
4.2.3 Виробниче освітлення	63
4.2.4 Виробничий шум	64
4.3 Пожежна безпека	65
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70
ДОДАТКИ	74
Додаток А (обов'язковий). Вихідні дані	75
Додаток Б (обов'язковий). Графічна частина	78
Додаток В (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	85
Додаток Г (обов'язковий). Ілюстративна частина	87

ВСТУП

Актуальність роботи. До початку етапу експлуатації виробничої системи першочерговим завданням є розробка проектів забезпечення живлення об'єктів підприємства [1], що гарантують якісну і надійну роботу всіх електроприймачів, допоміжних пристроїв і ліній електропередачі у виробничих цехах, допоміжних і управлінських приміщеннях та інших будівлях.

Проектування системи електропостачання (СЕП) для будь-якої галузі є важливим кроком у створенні стабільної основи для довгострокової експлуатації та розвитку виробничих потужностей підприємства [2,3].

Особливої актуальності ця задача набуває для таких енергоємних об'єктів, як ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод» [4], де електрична енергія є ключовим ресурсом для виконання основних технологічних процесів. Неналежна організація живлення може призвести до простоїв обладнання, втрати якості продукції та економічних збитків.

Крім того, сучасні вимоги до енергоефективності та сталого розвитку зумовлюють необхідність оптимізації режимів споживання електроенергії, зокрема через впровадження систем компенсації реактивної потужності (КРП). Компенсація реактивної потужності за нинішнього стану електромережі є критично важливою умовою економічного й ефективного функціонування систем електропостачання [5]. Тому оптимальний вибір та впровадження пристроїв КРП, включно з сучасними системами динамічної компенсації, є не лише доцільним, а й необхідним для підвищення надійності, зниження енергетичних витрат та забезпечення стабільної роботи виробництва.

Методи розрахунку. У роботі для виконання розрахунку навантаження виробничих потужностей підприємства використовувався метод коефіцієнта розрахункового максимуму навантаження [6]. Згідно з сучасними методиками здійснено розрахунок активної і реактивної складових потужності обладнання та освітлення підприємства.

Об'єктом дипломної бакалаврської роботи є ПрАТ «КМЗ».

Предметом дослідження роботи являють розроблені проектні рішення для підвищення економічності СЕП підприємства.

Мета роботи: розробка системи електропостачання підприємства.

Наукова новизна. Удосконалено СЕП підприємства за допомогою впровадження новітнього високоекономічного обладнання. Основним результатом наукової роботи є дослідження ефективності використання компенсації реактивної потужності для підвищення ефективності роботи СЕП підприємства шляхом зменшення втрат та покращення якості електроенергії. Для цього розраховано оптимальну потужність пристроїв КРП та місця їх встановлення на основі аналізу електроспоживачів та добового графіка навантаження підприємством реактивної потужності. Визначено економічний ефект від встановлення засобів КРП.

Практична цінність. Отримані результати проектних рішень та технічних заходів можуть бути використані для реалізації оптимізації СЕП підприємства, що дає змогу підвищення економічності процесу споживання електроенергії.

Задачі дослідження. В ході виконання дослідження необхідно проаналізувати конфігурацію надійної та економічної системи електропостачання на підприємстві та технічні рішення щодо заходів охорони праці.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про технологічні процеси

Приватне акціонерне товариство «Калинівський машинобудівний завод» (ПрАТ «КМЗ») [4] є сучасним підприємством, що функціонує у місті Калинівка Вінницької області за адресою: вулиця Незалежності, 67. Основна спеціалізація заводу полягає у розробці, виробництві та комплексному впровадженні обладнання для харчової та переробної промисловості.

До спектра послуг, які надає підприємство, входять проектування, виготовлення, автоматизація, монтаж, електромонтаж, пусконаладжувальні роботи, а також сервісне обслуговування [4]. Загальна площа виробничих приміщень перевищує 50 000 м², на яких розміщені виробничі цехи, склади та адміністративні будівлі. ПрАТ «КМЗ» реалізує комплексні проекти для підприємств різного масштабу, забезпечуючи повний цикл від розробки технічного рішення до запуску готового обладнання в експлуатацію.

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



Рисунок 1.1 – Вхід на підприємство ПрАТ «КМЗ»

Технологічні процеси на ПрАТ «КМЗ» побудовані на принципах повного виробничого циклу, від інженерного проектування до введення обладнання в експлуатацію. Основною спеціалізацією підприємства є виготовлення та монтаж

обладнання для підприємств молочної, харчової та переробної промисловості, зокрема – для обробки молока, сироватки та інших продуктів.

Процес виробництва розпочинається з розробки технологічних рішень, які враховують специфіку сировини, вимоги до готової продукції, обсяг виробництва та особливості наявного обладнання замовника. Конструкторське бюро заводу проектує окремі модулі, лінії або цілі виробничі цехи з урахуванням можливостей подальшої автоматизації.

Наступним етапом є виготовлення комплектів обладнання, що включає високоточну механічну обробку, зварювання, збірку та контроль якості. Виробничі ділянки оснащені сучасним устаткуванням, що дозволяє працювати з різними типами харчової сталі, забезпечуючи відповідність санітарно-гігієнічним стандартам.

На рисунку 1.2 зображено розташування виробничих цехів ПрАТ «КМЗ».



Рисунок 1.2 – Виробничі цехи ПрАТ «КМЗ»

Окрему увагу приділяють процесам монтажу й демонтажу: фахівці підприємства виконують інсталяцію виробничих ліній безпосередньо на об'єкті замовника з урахуванням планування приміщення, підведення комунікацій, логістики транспортування та упаковки продукції.

Після завершення монтажу проводяться пусконаладжувальні роботи, у межах яких здійснюється перевірка систем управління, тестування обладнання та

підготовка до запуску. Усі етапи супроводжуються технічними консультаціями (шеф-монтаж), що дозволяє клієнтам оперативно впроваджувати рішення та скорочувати строки введення в експлуатацію.

Завод також пропонує післяпродажне обслуговування, включно з сервісом, капітальним ремонтом та модернізацією обладнання. Крім того, активно впроваджуються автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП), що дозволяє клієнтам підвищити ефективність, стабільність і контроль над виробничими циклами.

1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання

ПрАТ «КМЗ» є виробничим підприємством, робота якого в значній мірі залежить від стабільного електроживлення [3]. На заводі функціонує значна кількість енергозалежного обладнання: зварювальні установки, верстати металообробки, автоматизовані системи управління, компресорні установки, сушильні комплекси, а також лінії монтажу та випробування технологічного обладнання для харчової промисловості.

У зв'язку з цим система електропостачання підприємства повинна відповідати підвищеним вимогам надійності та безпеки [7]. Електротехнічна інфраструктура КМЗ охоплює головну розподільчу підстанцію, трансформатори, захисні реле, внутрішньоцехові лінії живлення, систему освітлення, заземлення та блискавкозахисту, а також програмно-керовані блоки для автоматизованого запуску й управління електродвигунами.

Враховуючи специфіку виробництва, зокрема безперервність окремих технологічних процесів (наприклад, обробки та зварювання нержавіючої сталі), електропостачання заводу повинно бути гарантовано навіть у разі аварійних відключень.

Згідно з чинними нормами електропостачання, основні електроприймачі підприємства класифікуються як споживачі II категорії надійності [7]. Це означає,

що у разі виходу з ладу основного джерела живлення має бути забезпечене автоматичне перемикання на альтернативне джерело або резервну лінію. Такий підхід дозволяє мінімізувати ризики простоїв, втрат продукції та пошкодження дорогого обладнання.

Надійність за II категорією електропостачання повністю відповідає технічним потребам ПрАТ «КМЗ» [4,7], де важливу роль відіграє безперебійність технологічних процесів, що мають вирішальне значення для виконання замовлень у встановлені строки.

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



Рисунок 1.3 – Генплан ПрАТ «КМЗ»

Відстань від підприємства до ПС 110/35/10 кВ «Калинівка» мереж ПАТ «Вінницяобленерго» яка розташована в с. Павлівка, Калинівського району:

- на напрузі 110 кВ від ПС системи 1,85 км;
- на напрузі 35 кВ від ПС системи 1,8 км;
- на напрузі 10 кВ від ПС системи 1,0 км;

Потужність короткого замикання зі сторони 10 кВ складає $S_{кз}=75$ МВА.

Вхідна РП складає $Q_{\text{вх}} = 1850$ квар.

Час використання максимального навантаження $T_{\text{м}} = 5000$ год/рік.

Час максимальних втрат складає $\tau_{\text{м}} = 3410,9$ год/рік.

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

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження ПАТ «Калинівський МБЗ»

№	Найменування	$P_{\text{н}}$, кВт
1	Складальний цех	5160
2	Механічний цех	6000
3	Заготівельний цех	1080
4	Адміністративно-побутовий корпус	96
5	Будівля ЦТНС	27,6
6	Ковальсько-пресова діляниця	936
7	Інструментальний цех	720
8	Гальванічна діляниця	300
9	Експериментальний цех	192
10	Котельня	48
11	Цех товарів народного споживання	360
12	Насосна станція	14,4
13	Відділ головного механіка	256,8
14	Ливарний цех	1428
15	Нафтова ловушка	2,88
16	Транспортна діляниця	21,6
17	Компресорна станція	33,6
18	Газорозподільний пункт	1,8

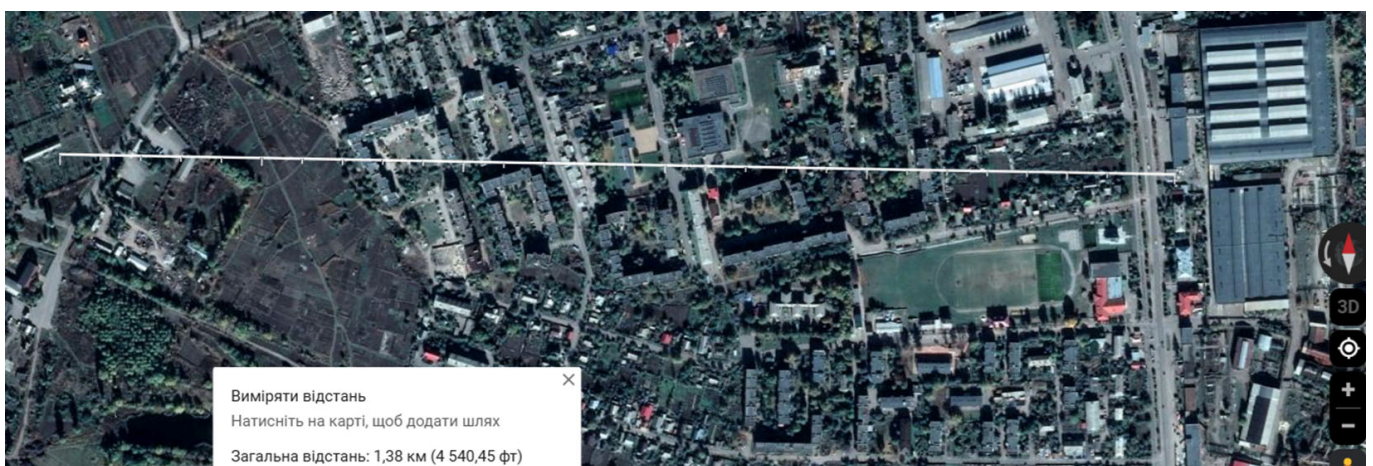


Рисунок 1.4 – Спосіб підведення зовнішньої лінії живлення до підприємства

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.

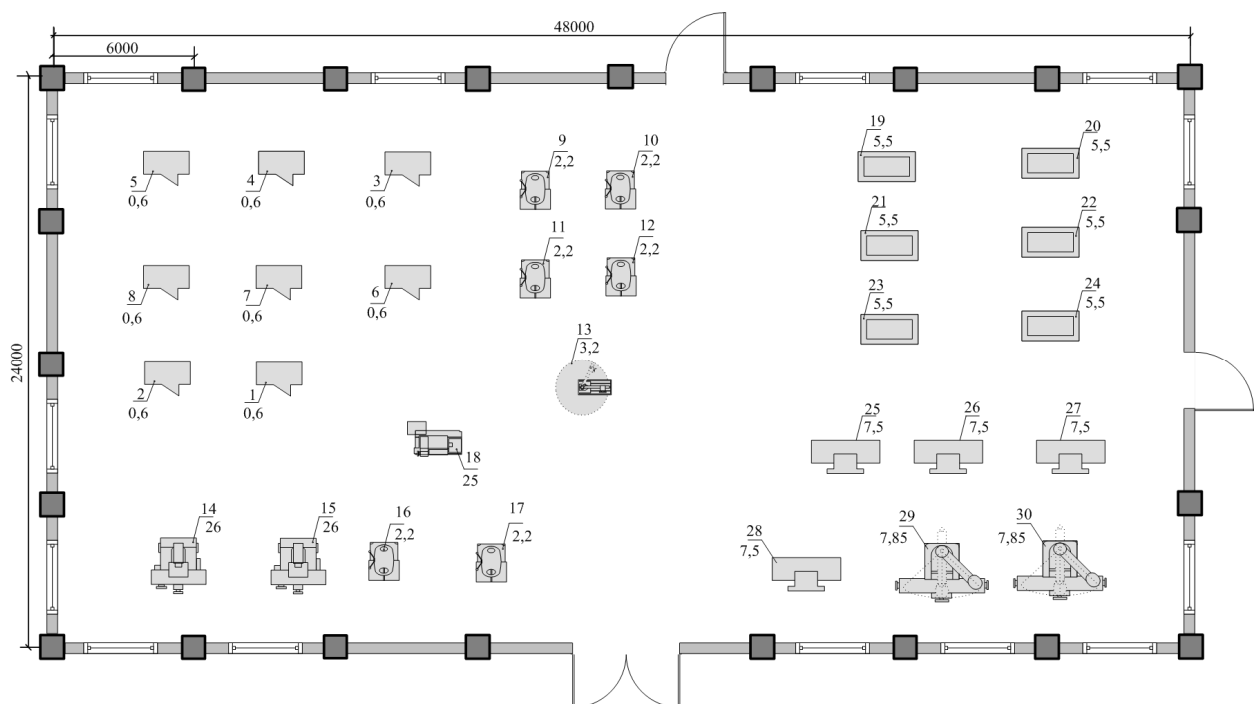


Рисунок 1.5 – План цеху

Таблиця 1.2 – Електричні навантаження цеху

№ на плані	Назва обладнання	$P_{н}, \text{кВт}$
1-8	Настольно-свердлильні верстати	0,6
9-12	Вертикально-свердлильні верстати	2,2
13	Свердлильний верстат	3,2
14-15	Шліфувальні верстати	26
16-17	Вертикально-свердлильні верстати	2,2
18	Токарний верстат	25
19-24	Слюсарні верстати	5,5
26-28	Поперечно-стругальні верстати	7,5
29-30	Фрезерні верстати	7,85

Висновки по розділу 1.

У першому розділі дипломної роботи було здійснено комплексний аналіз технологічних процесів, що реалізуються на базі ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод». Розглянуто основні виробничі ділянки, які виступають споживачами електричної енергії.

Проведена оцінка характеру електроспоживання дозволяє сформувати загальне уявлення про вимоги до системи електропостачання підприємства. Встановлено, що для забезпечення безперебійної та стабільної роботи виробничого процесу необхідне електроживлення високої надійності. Особливо це стосується технологічних ліній, які працюють у циклічному або безперервному режимі.

З огляду на виробничу специфіку та масштаби діяльності заводу, система електропостачання має відповідати вимогам до споживачів II категорії надійності, що передбачає наявність резервного живлення для запобігання простоїв обладнання та порушення технологічного процесу.

Розглянуто електроприймачі механічного цеху ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод», серед яких основне навантаження формують електродвигуни металообробних верстатів. Встановлено, що для даного обладнання доцільно застосувати систему електропостачання з електроприймачами II категорії надійності, оскільки зупинка живлення може призвести до порушення технологічного процесу, збільшення кількості браку та простоїв.

Таким чином, при проектуванні системи електропостачання ПрАТ «КМЗ» слід орієнтуватися на високий рівень надійності, енергетичну ефективність та можливість подальшої модернізації за рахунок інтеграції сучасних енергозберігаючих та автоматизованих рішень, відповідно до вимог галузі та технічних умов заводу.

2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Розрахунок навантажень цехової мережі

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 п'яти розподільчих пунктів (РП1–РП5), які з'єднані з трансформаторною підстанцією ТП.

Розрахункові навантаження окремих груп споживачів:

$$P_p = P_H ; \quad Q_p = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi_H, \quad (2.1)$$

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

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

ЕП які працюють в повторно-короткочасного режимі роботи:

$$P_H = P_{\text{пасп.}} \cdot \sqrt{T_{\text{ПВ.пасп}}}, \quad (2.2)$$

Величина розрахункових навантажень:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}, \quad (2.3)$$

$$Q_p = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi_{Ci}, & \text{при } n_e \leq 10, \\ \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi_{Ci}, & \text{при } n_e > 10. \end{cases} \quad (2.4)$$

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

n_e - значення ефективного числа ЕП;

План електропостачання механічного цеху зображений на рисунку 2.1.

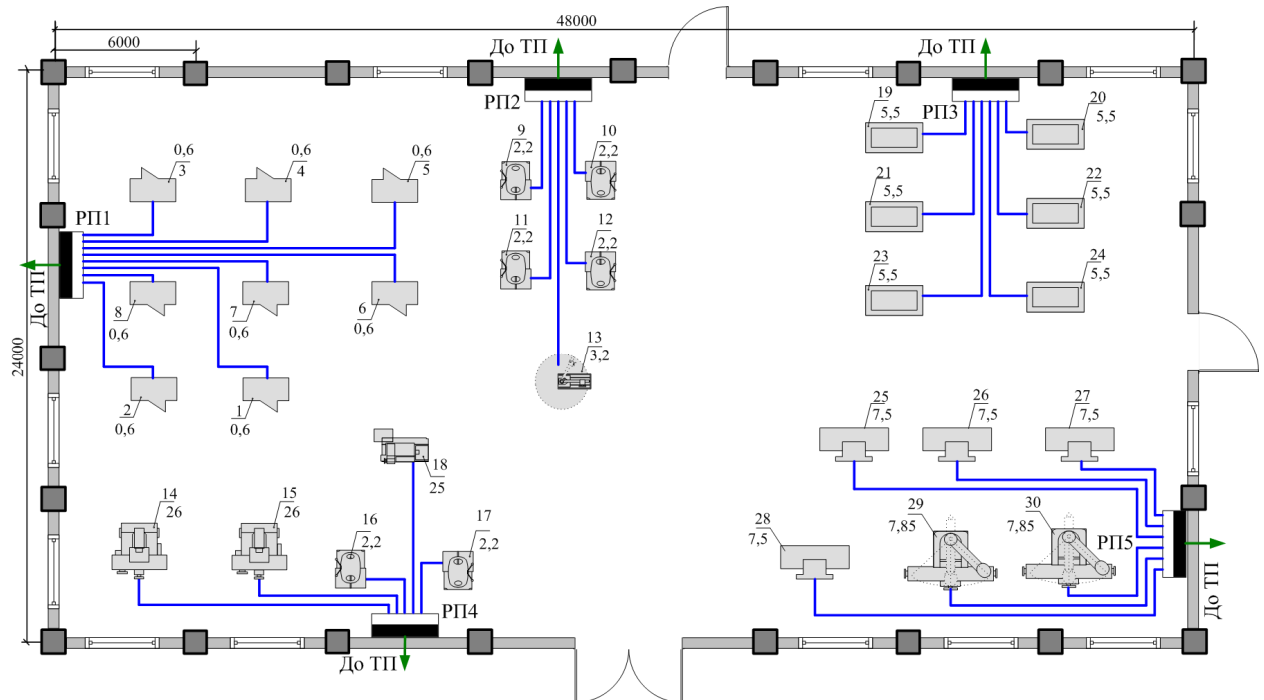


Рисунок 2.1 – Проект електропостачання механічного цеху

Середні активні реактивні потужності:

$$P_C = K_B \cdot P_H; \quad Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (2.5)$$

Значення коефіцієнт використання групи споживачів:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}}, \quad (2.6)$$

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2}, \quad (2.7)$$

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

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.8)$$

Значення розрахункового струму буде рівний:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}. \quad (2.9)$$

Розрахунок силового навантаження для РП1:

$$P_C = 8 \cdot 0,6 \cdot 0,12 = 0,58 \text{ (кВт)},$$

$$Q_C = 8 \cdot 0,6 \cdot 0,12 \cdot 2,29 = 1,32 \text{ (квар)},$$

$$K_B = \frac{0,58}{4,8} = 0,12,$$

$$n_e = \frac{(8 \cdot 0,6)^2}{8 \cdot 0,6^2} = 8 \text{ (шт.)}.$$

Із [9, таблиця 1.1] визначаємо $K_p = 2,13$, звідси:

$$P_p = 0,58 \cdot 2,13 = 1,23 \text{ (кВт)},$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 1,32 = 1,45 \text{ (квар)},$$

$$S_p = \sqrt{1,23^2 + 1,45^2} = 1,9 \text{ (кВА)},$$

$$I_p = \frac{1,9 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 2,9 \text{ (А)}.$$

Аналогічно проводиться даний розрахунок для усіх інших ЕП та РП цеху, а результат даного розрахунку наведено в таблиці 2.1.

Проведені розрахунки електричних навантажень і аналіз схеми розміщення обладнання у механічному цеху дають можливість обґрунтовано підібрати основні елементи внутрішньоцехової системи електропостачання [6], зокрема типи розподільчих пристроїв, захисну апаратуру та перетини кабельних ліній, що забезпечить надійне, безпечне та енергоефективне живлення технологічного обладнання відповідно до його потужності й режимів роботи. У результаті забезпечується стабільна робота виробничих процесів, зниження експлуатаційних витрат та відповідність чинним нормам і стандартам з електробезпеки.

Таблиця 2.1 - Розрахунок електричних навантажень цехової мережі

№	Назва	n	$P_{ном}$	кВт	Кв	tgφ	P _{см}	Q _{см}	$n \cdot p_n^2$	n _с	Км	P _м	Q _м	S _м	I _м
			одн.	заг.								кВт	кВАР	кВА	А
1-8	Настольно-свердильні верстати	8	0,6	4,8	0,12	2,29	0,58	1,32	2,88						3,1
	Всього по РП-1	8	-	4,8	0,12		0,58	1,32	2,88	8	2,13	1,23	1,45	1,9	2,9
9-12	Вертикально-свердильні верстати	4	2,2	8,8	0,12	2,29	1,06	2,42	19,36						11,46
13	Свердильний верстат	1	3,2	3,2	0,2	1	0,64	0,64	10,24						9,5
	Всього по РП-2	5	-	12	0,14		1,7	3,06	29,6	4	2,53	4,29	3,36	5,45	8,3
14-15	Шліфувальні верстати	2	26	52	0,15	1,33	7,8	10,37	1352						90,3
16-17	Вертикально-свердильні верстати	2	2,2	4,4	0,12	2,29	0,53	1,21	9,68						11,46
18	Токарний верстат	1	25	25	0,2	1,33	5	6,65	625						86,8
	Всього по РП-3	5	-	81,4	0,16		13,33	18,23	1986,68	3	2,77	36,92	20,06	42	63,8
19-24	Слюсарні верстати	6	5,5	33	0,16	1,33	5,28	7,02	181,5						19,1
	Всього по РП-4	6	-	33	0,16		5,28	7,05	181,5	6	1,89	9,98	7,72	12,62	19,2
26-28	Поперечно-стругальні верстати	4	7,5	30	0,12	1,33	3,6	4,79	225						26
29-30	Фрезерні верстати	2	7,85	15,7	0,12	2,29	1,88	4,31	123,25						40,9
	Всього по РП-5	6	-	45,7	0,12		5,48	9,1	348,25	5	2,54	13,93	10,01	17,15	26
	Всього по цеху	30	-	176,9	0,15		26,36	38,74	2548,91	12	1,56	41,13	42,61	59,2	90

2.2 Реалізація схеми живлення цехової мережі

Оскільки радіальні схеми забезпечують високу надійність електропостачання [6], для механічного цеху КМЗ обрано саме таку схему цехової мережі, що відображено на рисунку 2.1.

Для реалізації функцій захисту кабельних ліній передбачено встановлення автоматичних вимикачів серій ЕВ та ЕВ2 виробництва ЕТІ [10], які оснащуються тепловими, електромагнітними або напівпровідниковими розчіплювачами, що забезпечує оперативне відключення при перевантаженнях та коротких замиканнях.

Згідно з вимогами ПУЕ, прокладання кабелів внутрішньо цехової мережі виконується відкритим способом з урахуванням умов експлуатації, температурного режиму, вібраційного впливу та пожежної безпеки.

Для ліній, що з'єднують трансформаторну підстанцію з розподільчими пунктами РП1–РП5, використовується кабель з алюмінієвими жилами марки АВВГ, прокладений в землі.

Від розподільчих пунктів до електроприймачів кабелі прокладаються

відкритим способом, що забезпечує вільне тепловідведення та легкий доступ для обслуговування, з урахуванням допустимого струмового навантаження, довжини траси та забезпечення надійного електричного контакту, що гарантує стабільну роботу обладнання в умовах цеху.

2.3 Вибір захисного обладнання та ліній живлення цехової мережі

Вибір автоматичних вимикачів здійснюється за наступних умов:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_p, \quad (2.10)$$

$$I_{с.в} = K_n \cdot I_n, \quad (2.11)$$

$$I_{н.в\dot{I}ДК} \geq I_{К.маx}^{(3)}. \quad (2.12)$$

Здійснюємо вибір автоматичного вимикача для захисту електроприймача 1.

Розрахунковий струм ЕП-1:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta}, \quad (2.13)$$

$$I_p = \frac{0,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,4 \cdot 0,73 \cdot 0,8} = 3,1 \text{ (A)}.$$

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

$$I_p = \begin{cases} 5 \cdot I_p - \text{для АД з КЗ ротором чи СД,} \\ 2,5 \cdot I_p - \text{для АД з ФР,} \\ 3 \cdot I_p - \text{для ДПС та зварювальних Т – рів,} \end{cases} \quad (2.14)$$

$$I_n = 5 \cdot I_p = 5 \cdot 3,1 = 15,5 \text{ (A)}.$$

Вибираємо для захисту ЕП-1 автоматичний вимикач з напівпровідниковим розчіплювачами. Розрахуємо $I_{н.розч}$ та $I_{с.відс}$ для ЕП-1:

$$I_{н.розч\dot{I}п} \geq 1 \cdot 3,1 = 3,1 \text{ (A)},$$

$$I_{\text{с.відс}} \geq 2,1 \cdot 15,5 = 32,55 \text{ (A)}.$$

За розрахованими значеннями струмів вибираємо автоматичний вимикач EB100/3L50A3p [10] з тепловими і електромагнітними розчіплювачами з номінальним струмом вимикача 50 А, номінальним струмом розчіплювача 50 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:

$$I_p = 2,9 \text{ (A)}.$$

Піковий струм визначаємо за формулою:

$$I_{\text{п}} = I_p - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}}, \quad (2.15)$$

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

$K_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання найбільш потужного електроприймача.

$$I_{\text{н}} = 2,9 - 0,12 \cdot 2,9 + 32,55 = 35,1 \text{ (A)}.$$

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

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

$$I_{\text{н.розчіп}} \geq 1,1 \cdot 2,9 = 3,19 \text{ (A)},$$

$$I_{\text{с.відс}} \geq 1,5 \cdot 35,1 = 52,65 \text{ (A)}.$$

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 2.2.

Переріз провідників напругою до 1 кВ вибирають за допустимим нагріванням.

$$I_{\text{доп}} \geq \begin{cases} I_p & \text{— для нормальних приміщень,} \\ 1,25 \cdot I_p & \text{— для вибухонебезпечних приміщень.} \end{cases} \quad (2.16)$$

Для лінії ТП – РП 1 доцільно обрати кабель марки АВВГ [11] прокладений у землі перерізом 4х50 з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 132 \text{ А} > I_p = 2,9 \text{ А}$. Вибір такого перерізу кабельної лінії аргументоване тим що всі кабелі, які живлять РП 1-5 під'єднано до спільної шини 0,4 кВ трансформаторної підстанції ТМ-1600/10. 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 2.2, що дозволяє систематизувати дані та обґрунтувати відповідність вибраних провідників умовам експлуатації.

Перевіримо втрату напруги в лінії, що живить ЕП-1 [6]:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_{\text{ПІТ}} + Q_p \cdot X_{\text{ПІТ}}}{U_n} \cdot l, \quad (2.17)$$

$$\Delta U_{\text{РП-ЕП}} = \frac{0,6 \cdot 2,4 + 0,6 \cdot 2,29 \cdot 0,084}{380} \cdot 17 = 0,07 \text{ (В)},$$

$$\Delta U_{\text{ТП-РП-1}} = \frac{1,23 \cdot 0,769 + 1,45 \cdot 0,066}{380} \cdot 69 = 0,2 \text{ (В)},$$

$$\Delta U = \Delta U_{\text{ТП-РП-1}} + \Delta U_{\text{РП-1-ЕП}} = 0,07 + 0,2 = 0,27 \text{ (В)},$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U_{\text{ТП-ЕП-1}}}{U_n} \cdot 100\% = \frac{0,27}{380} \cdot 100\% = 0,07 \%, \quad (2.18)$$

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

У даному розділі проведено вибір провідників цехової мережі та комутаційно-захисної апаратури. Для встановлення в цеху прийнято кабель типу АВВГ, що

відповідають вимогам пожежної безпеки, механічної міцності та допустимого струмового навантаження. Для захисту електричних ліній та обладнання від перевантажень і коротких замикань передбачено встановлення автоматичних вимикачів від виробника ЕТІ типу ЕВ та ЕВ2.

Таблиця 2.2 – Комутаційно-захисна апаратура та КЛ цеху

ЕП	I_p , А	I_n , А	Тип АВ	$I_{ном}$, А	$I_{розч}$, А	$I_{св}$, А	Тип ЛЖС	S, мм ²	спос. прок.	$I_{доп}$, А
РП1	2,9	35,1	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	700	АВВГ	4х50	В землі	132
РП2	8,3	126,97	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	700	АВВГ	4х50	В землі	132
РП3	63,8	999,19	ЕВ2 250/3Е 160А	160	160	800	АВВГ	4х70	В землі	165
РП4	19,2	216,68	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	700	АВВГ	4х50	В землі	132
РП5	26	452,33	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	700	АВВГ	4х50	В землі	132
ЕП 1–8	3,1	15,5	ЕВ 100/3L 50А	50	50	300	АВВГ	4х16	Відкрито	62
ЕП 9–12	11,46	57,3	ЕВ 100/3L 50А	50	50	300	АВВГ	4х16	Відкрито	62
ЕП 13	9,5	47,5	ЕВ 100/3L 50А	50	50	300	АВВГ	4х16	Відкрито	62
ЕП 14, 15	90,3	451,5	ЕВ 100/3L 100А	100	100	500	АВВГ	4х50	Відкрито	117
ЕП 16, 17	11,46	57,3	ЕВ 100/3L 50А	50	50	300	АВВГ	4х16	Відкрито	62
ЕП 18	86,8	449	ЕВ 100/3L 100А	100	100	500	АВВГ	4х50	Відкрито	117
ЕП 19–24	19,1	95,5	ЕВ 100/3L 50А	50	50	300	АВВГ	4х16	Відкрито	62
ЕП 25–28	26	130	ЕВ 100/3L 50А	50	50	300	АВВГ	4х16	Відкрито	62
ЕП 29, 30	40,9	204,5	ЕВ 100/3L 50А	50	50	300	АВВГ	4х16	Відкрито	62

2.4 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-1. Складемо розрахункову схему рисунок 2.2.

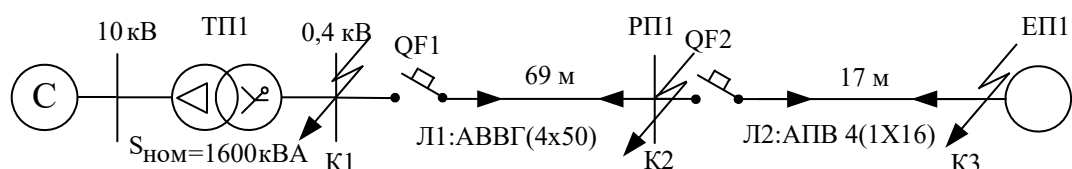


Рисунок 2.2 – Схема електропостачання ЕП-1

Знаходимо номінальний коефіцієнт трансформації:

$$t_r = \frac{U_{BH}}{U_{HH}} = \frac{10}{0,4} = 25, \quad (2.19)$$

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:

$$Z_c = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_K''} \cdot \frac{1}{t_r^2} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1}{25^2} = 1,016 \text{ (мОм)}. \quad (2.20)$$

де C - 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:

$$X_c = 0,955 \cdot Z_c = 0,955 \cdot 1,016 = 0,97 \text{ (мОм)}, \quad (2.21)$$

$$R_c = 0,1 \cdot X_c = 0,1 \cdot 0,97 = 0,097 \text{ (мОм)}. \quad (2.22)$$

Визначимо опір трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{\text{ном.Т}}} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{400^2}{1600 \cdot 10^3} = 5,5 \text{ (мОм)}. \quad (2.23)$$

Визначаємо опори ліній Л1, Л2, Л3:

$$Z_{Л1} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{0,769^2 + 0,066^2} \cdot 69 = 53,25 \text{ (мОм)},$$

$$Z_{Л2} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{2,4^2 + 0,084^2} \cdot 17 = 40,83 \text{ (мОм)}.$$

Розрахуємо значення струму при трифазному металічному КЗ за формулою:

$$I_{K.\text{макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_\Sigma}. \quad (2.24)$$

де Z_Σ - загальний повний опір елементів цехової мережі до точки КЗ.

- для точки К1:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 6,52 \cdot 10^{-3}} = 35,3 \text{ (кА)}.$$

- для точки К2:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (6,52 + 53,3) \cdot 10^{-3}} = 3,85 \text{ (кА)}.$$

- для точки К3:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (6,52 + 53,3 + 40,84) \cdot 10^{-3}} = 2,29 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо вибрані вимикачі на комутаційну здатність:

$$I_{\text{н.відк}} > I_{\text{к.макс}}^{(3)}. \quad (2.25)$$

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

$$I_{\text{cu}} = 36 \text{ (кА)} > I_{\text{к.макс}}^{(3)} = 35,3 \text{ (кА)}.$$

Для точки К1 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

QF2: EB 100/3L 50A з $I_{\text{cu}} = 8 \text{ (кА)}$:

$$I_{\text{cu}} = 8 \text{ (кА)} > I_{\text{к.макс}}^{(3)} = 3,85 \text{ (кА)}.$$

Для точки К2 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

Виконаємо перевірку селективності дії захисту.

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

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ф.ном}}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{\text{ф-н}} \cdot l}, \quad (2.26)$$

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

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

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

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{16,5}{3} + 69 \cdot 2,22} = 1,386 \text{ (кА)}.$$

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

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{7,5}{3} + 69 \cdot 2,22 + 17 \cdot 4,43} = 0,938 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо чи виконується умова чутливості захисту:

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

- для точки К2, автоматичного вимикача QF1:

$$I_{н.розч} = 125 \text{ (А)} < \frac{I_K^{(1)}}{3} = \frac{1386}{3} = 462 \text{ (А)}.$$

Умова чутливості для даного вимикача виконується.

- для точки К3 автоматичного вимикача QF2 :

$$I_{н.розч} = 50 \text{ (А)} < \frac{I_K^{(1)}}{3} = \frac{938}{3} = 312 \text{ (А)},$$

Умова перевірки чутливості автоматичного вимикача QF2 виконується.

Селективність автоматичних вимикачів перевіряємо за умовами [6]:

$$\begin{cases} I_{с.В1} > (1,3..1,5)I_{с.В2}, \\ t_{с.В1} > t_{с.В2} + \Delta t. \end{cases} \quad (2.27)$$

Виконаємо перевірку на селективність для вимикачів, що захищають лінії ТП1

- РП1 та РП1 – ЕП1 (дані про вимикачі знаходяться в таблиці 4.2).

$$\begin{cases} I_{с.В1} = 700(\text{А}) > (1,3..1,5) \cdot 300 = 390 \div 450(\text{А}), \\ t_{с.В1} = t_{с.В2} + \Delta t = 0,015 + 0,1 = 0,115(\text{с}). \end{cases}$$

Умова селективності виконується.

Побудуємо карту селективності дії захисту. Зображено на рисунку 2.3.

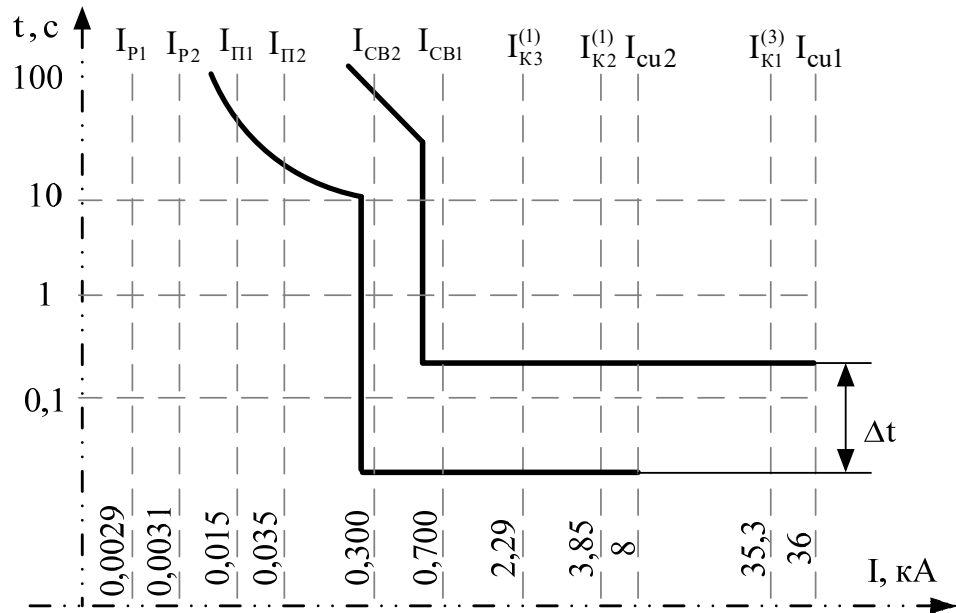


Рисунок 2.3 – Карта селективності дії захисту

Отже апарати налагоджені на селективну роботу.

Підбір кабельно-провідникової продукції та елементів захисту здійснено з урахуванням умов експлуатації, таких як наявність пилу, вібраційні навантаження, температурні коливання та вимоги електробезпеки. Все обладнання відповідає чинним стандартам ДСТУ і ПУЕ [3, 7], включаючи вимоги до ступеня захисту IP, і гарантує стабільну та безпечну роботу енергосистеми цеху з дотриманням принципів селективності та ефективного аварійного вимкнення.

2.5 Визначення розрахункових навантажень підприємства

Розрахунок активної та реактивної потужності силового обладнання підприємства, здійснюємо методом коефіцієнта попиту за такими формулами [6]:

$$P_C = K_{\Pi} \cdot P_H; \quad Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.28)$$

За методом коефіцієнта попиту визначено також розрахункове навантаження освітлювальних установок. Розрахункова потужність електричного освітлення:

$$P_O = P_{\text{Пит.О}} \cdot K_{\text{ПО}} \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot F, \quad (2.29)$$

$$Q_o = P_o \cdot \operatorname{tg} \phi_o. \quad (2.30)$$

де $P_{\text{пит.о}}$ - питома густина освітлювального навантаження знаходиться в межах :
0,011-0,022 в залежності від приміщення;

$K_{\text{по}}$ - коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$K_{\text{пра}}$ - коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі з;

$$K_{\text{по}} = \begin{cases} 0,95 - \text{великі виробничі приміщення,} \\ 0,8 - \text{порівняно невеликі виробничі приміщення,} \\ 0,6 - \text{склади, підстанції,} \\ 1,0 - \text{аварійне освітлення.} \end{cases} \quad (2.31)$$

$$K_{\text{пра}} = \begin{cases} 1,1 - \text{ДРЛ,} \\ 1,2 - \text{люмінесцентні - стартерні,} \\ 1,3 - 1,35 - \text{люмінесцентні - безстартерні.} \end{cases} \quad (2.32)$$

Розрахункові потужності дорівнюють сумі розрахункових потужностей силового та освітлювального навантажень:

$$P_p = P_c + P_o; \quad Q_p = Q_c + Q_o, \quad (2.33)$$

Розрахункові максимальні навантаження підприємства з виразів:

$$P_{p\Sigma} = K_o \left(\sum_{i=1}^N P_{pi} + P_{pi\Sigma} + P_{p3} \right) + P_{o\Sigma}; \quad Q_{p\Sigma} = K_o \left(\sum_{i=1}^N Q_{pi} + Q_{pi\Sigma} + Q_{p3} \right), \quad (2.34)$$

де P_{pi}, Q_{pi} - розрахункові максимальні навантаження ТП або цехів, кВт, квар;

N - число ТП або цехів;

$P_{pi\Sigma}, Q_{pi\Sigma}$ - розрахункове максимальне навантаження цехових ЕП;

K_o - коефіцієнт одночасності максимумів навантаження з [1];

$P_{p\Sigma}, Q_{p\Sigma}$ - розрахункові максимальні навантаження, кВт, квар.

З [1, таблиця 1.4] визначаємо, що $K_o = 0,95$.

Сумарне навантаження підприємства:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}, \quad (2.35)$$

Для прикладу проведемо розрахунок для 1 корпусу:

$$P_c = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ (кВт)},$$

$$P_{po} = 0,017 \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1215 = 21,1 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{po} = 21,1 \cdot 0,43 = 9,1 \text{ (кВАр)},$$

$$P_p = P_c + P_{po} = 150 + 21,1 = 171,1 \text{ (кВт)},$$

$$Q_p = Q_c + Q_{po} = 128,3 + 9,1 = 138,4 \text{ (кВАр)},$$

$$S_p = \sqrt{171,1^2 + 138,4^2} = 220,0 \text{ (кВА)}.$$

Для всього підприємства:

$$P_{p\Sigma} = P_{p\Sigma} \cdot k_{одн} = 6425,4 \cdot 0,95 = 6153 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_{p\Sigma} \cdot k_{одн} = 5952,7 \cdot 0,95 = 5676,2 \text{ (кВАр)},$$

$$S_p = \sqrt{6153^2 + 5676,2^2} = 8371,3 \text{ (кВА)}.$$

Використовуючи дані формули здійснюємо розрахунок навантажень підприємства за допомогою Excel, а результати зводимо у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок навантажень підприємств

Назва цеху	Силове навантаження					Освітлювальне навантаження					Сумарне навантаження		
	$P_{\text{нб}}$ кВт	$K_{\text{п}}$	$\text{tg} \varphi$	P_c кВт	Q_c квар	$F, \text{м}^2$	$P_{\text{шт.о}}$ Вт/м ² /1000	$K_{\text{по}}$	$K_{\text{пра}}$	P_o кВт	P_p кВт	Q_p квар	S_p кВА
Складальний цех	5160	0,24	1,17	1260,0	1474,2	21060	16	1	1,2	404,4	1664,4	1648,1	2342,3
Механічний цех	6000	0,27	1,17	1600,0	1870,6	6300	15	1	1,2	113,4	1713,4	1920,8	2573,9
Заготівельний цех	1080	0,61	0,75	660,0	495,0	4050	16	1	1,2	77,8	737,8	528,4	907,5
Адмін.-побут. корпус	96	0,50	0,48	48,0	23,0	2646	14	0,8	1,2	35,6	83,6	38,3	91,9
Будівля ЦТНС	27,6	0,58	0,62	16,1	10,0	1404	13	0,8	1,2	17,5	33,6	17,5	37,9
Ковальсько-пресова	936	0,38	1,17	360,0	420,9	1368	12	0,8	1,2	15,8	375,8	428,0	569,5
Інструментальний цех	720	0,16	1,73	112,0	193,8	1368	15	1	1,2	24,6	136,6	204,3	245,8
Гальванічна дільниця	300	0,60	0,88	180,0	158,4	1368	13	1	1,2	21,3	201,3	167,6	262,0
Експериментальний цех	192	0,42	0,75	80,0	60,0	1368	12	1	1,2	19,7	99,7	68,5	120,9
Котельня	48	0,42	0,75	20,0	15,0	729	13	0,8	1,2	9,1	29,1	18,9	34,7
Цех товарів нар.спож.	360	0,56	0,62	200,0	124,0	7452	16	1	1,2	143,1	343,1	185,5	390,0
Насосна станція	14,4	0,50	0,75	7,2	5,4	225	11	0,8	1,2	2,4	9,6	6,4	11,5
Відділ голов. Механ.	256,8	0,36	0,75	92,0	69,0	2490	15	0,8	1,2	35,9	127,9	84,4	153,2
Ливарний цех	1428	0,55	0,75	780,0	585,0	2931	14	0,8	1,2	39,4	819,4	601,9	1016,7
Нафтова ловушка	2,88	0,42	0,75	1,2	0,9	882	11	0,6	1,2	7,0	8,2	3,9	9,1
Транспортна дільниця	21,6	0,33	1,17	7,2	8,4	576	14	0,8	1,2	7,7	14,9	11,8	19,0
Компресорна станція	33,6	0,63	0,75	21,0	15,8	396	13	0,6	1,2	3,7	24,7	17,3	30,2
Газорозподільний пункт	1,8	0,67	0,48	1,2	0,6	144	11	0,6	1,2	1,1	2,3	1,1	2,6
Всього	16678,7			5445,9	5529,9	56757				979,4	6153,0	5676,2	8371,3

2.6 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, відстань до джерела живлення та характеристики електрообладнання.

$$U_{\text{ек}} = 4,34 \sqrt{L + 16 \cdot P_p}, \quad (2.36)$$

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:

$$U_{\text{ек}} = 4,34 \sqrt{1,8 + 16 \cdot 6,153} = 43,4 \text{ (кВ)}.$$

Під час визначення напруги за розрахунковою формулою може виникнути ситуація, коли отримане значення не відповідає жодному із стандартних рівнів напруги. У такому випадку для подальших розрахунків приймаються два найближчі стандартні значення – більше і менше відносно розрахованого. Надалі виконуються порівняльні розрахунки для обох варіантів. У нашому випадку розглядаються два класи напруги: нижчий – 35 кВ, з підключенням до ПС 110/35/10 кВ «Калинівка» через повітряну лінію довжиною 1,8 км, та вищий – 110 кВ, також від ПС «Калинівка» з довжиною лінії 1,85 км. Для обґрунтування оптимального рішення необхідно врахувати витрати на будівництво, обслуговування, втрати електроенергії та інші супутні витрати для кожного з варіантів.

2.7 Розрахунок техніко-економічного порівняння напруги

Для виконання техніко-економічних розрахунків необхідно розрахувати витрати на капітальні інвестиції для вищої та нижчої номінальної напруги [13]. Для цього розраховуються витрати на лінію живлення, трансформатор, річні витрати та амортизаційні відрахування.

Для попереднього вибору кабельних ліній визначаємо розрахунковий струм ліній та здійснюємо переріз кабельних ліній відповідно допустимого струму.

$$I_p = \frac{S_p / 2}{\sqrt{3} U_{ном}} \text{ (A)}, \quad (2.37)$$

$$I_{p35} = \frac{8458,41 / 2}{\sqrt{3} \cdot 35} = 69 \text{ (A)},$$

$$I_{p110} = \frac{8458,41 / 2}{\sqrt{3} \cdot 110} = 22 \text{ (A)}.$$

В якості повітряної лінії 110 кВ приймаємо алюмінієвий провід АС 185 [11], допустимий струм якого 410 А.

В якості повітряної лінії 35 кВ приймаємо алюмінієвий провід АС 185 [11], допустимий струм якого 395 А.

Виконаємо розрахунок капітальних вкладень та представимо їх у вигляді таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Розрахунок капітальних вкладень

Перелік елементів схем	Вартість	35 кВ		110 кВ	
		Кількість	Вартість	Кількість	Вартість
Лінії електропередавання, км	тис.грн. за 1 км КЛ	км	тис.грн.	км	тис.грн.
ПЛ 35 кВ АС 3×185	231,26	3·1,8=5,4	1248,80		
ПЛ 110 кВ АС 3×185	158,92			3·1,85=5,55	882,00
ВСЬОГО по лініях			1248,80		882,00
Підстанції	тис.грн. за одиницю ПС.	штук	тис.грн.	штук	тис.грн.
Спорудження ПС 35 кВ 2×6,3 МВА	48964	1	48964		
Спорудження ПС 110 кВ 2×6,3 МВА	88340			1	88340
ВСЬОГО по ПС			48964		88340
ВСЬОГО			50212,80		89222,00

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

$$\Delta W_a = \Delta P_m \cdot \tau = 3I_m^2 R_e \cdot 10^{-3} \cdot \tau \text{ (кВт·год/рік)}, \quad (2.38)$$

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

Вартість втрат електроенергії в ЛЕП:

$$C_{\Delta W_{110}} = 2 \cdot 3 \cdot 22^2 \cdot 0,158 \cdot 1,85 \cdot 10^{-6} \cdot 3410,9 \cdot 6,649 = 19,2 \text{ (тис.грн./рік)},$$

$$C_{\Delta W_{35}} = 2 \cdot 3 \cdot 69^2 \cdot 0,158 \cdot 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot 3410,9 \cdot 6,649 = 189,62 \text{ (тис.грн./рік)}.$$

Визначаємо щорічні витрати на технічне обслуговування, виконання ремонтних робіт, амортизаційні відрахування та вартість втрат, а результати зводимо у таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Щорічні витрати на технічне обслуговування, виконання ремонтних робіт, амортизаційні відрахування та вартість втрат

Перелік поточних витрат	Варіанти	
	35 кВ	110 кВ
Щорічні витрати на технічне обслуговування і ремонт, в тому числі:		
ПЛ – 110 кВ, 1,2% від К		10,58
ПЛ – 35 кВ, 1,2% від К	14,99	
ПС 110 кВ, 2,4% від К		2120,16
ПС 35 кВ, 2,4% від К	1175,14	
ПС 10 кВ, 4,3% від К		
Всього щорічні витрати на обслуговування, ВО тис.грн.	1190,12	2130,74
Амортизація, в тому числі:		
ПЛ – 110 кВ, 2% від К		17,64
ПЛ – 35 кВ, 2% від К	24,98	
ПС 110 кВ, 3,6% від К		3180,24
ПС 35 кВ, 3,6% від К	1807,66	
Всього щорічні витрати на амортизацію, Ва тис.грн.	1832,64	3197,88
Тариф на ЕЕ, грн./кВт*год	6,649	6,649
Вартість втрат електроенергії в ЛЕП, ВΔW тис.грн.	189,62	19,20
ВСЬОГО щорічні витрати (В) тис.грн.	3212,38	5347,82

Зведені річні витрати будуть складати:

$$З = E_H \cdot K + B, \quad (2.39)$$

де E_n – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E_n = 0,1$ [14]);

K – капітальні вкладення;

B – щорічні поточні витрати на експлуатацію СЕП.

Зведені річні витрати складають:

$$Z_{110} = 0,1 \cdot 89222,0 + 5347,8 = 14270,02 \text{ (тис.грн.)},$$

$$Z_{35} = 0,1 \cdot 50212,8 + 3212,38 = 8233,66 \text{ (тис.грн.)}.$$

Згідно розрахунків вигіднішим є варіант 35 кВ. Отже живлення підприємства буде здійснено на напрузі 35 кВ. Для цього на території підприємства необхідно спорудити головну понижувальну підстанцію (ГПП) 35/10 кВ.

2.8 Вибір трансформаторів ГПП

На ГПП встановлюємо два однакових трансформатори такої потужності, щоб у разі виходу з ладу одного з них, другий трансформатор забезпечив роботу основних споживачів на період відновлення пошкодженого [6].

Номінальна потужність трансформаторів двотрансформаторної ГПП:

$$S_n = (0,5 \div 0,7) \cdot S_p = (0,5 \div 0,7) \cdot 8371,29 = 4,19 \div 5,86 \text{ (МВА)}. \quad (2.4)$$

Вибираємо два трансформатори ТМ 6300/35 [8]. Номінальні параметри яких представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Номінальні параметри трансформаторів ГПП

Марка	S_n , кВА	U_{BH} , кВ	U_{HH} , кВ	ΔP_{XX} , кВт	ΔP_K , кВт	I_{XX} , %	U_K , %
ТМ-6300/35	6300	35,75	10,5	7,5	33,5	0,9	7,5

Перевіримо допустимість аварійного перевантаження під час виходу з ладу одного трансформатора. Для цього використаємо типовий графік навантаження [9], який зображено на рисунку 2.4.

Проведемо лінію номінального навантаження:

$$S_{HOM.T\%} = \frac{S_{HOM.T}}{S_M} \cdot 100\% = \frac{6300}{8371,29} \cdot 100\% = 75,3\%, \quad (2.41)$$

З графіка випливає, що тривалість перевантаження $h' = 6,5$ год. Визначимо коефіцієнт початкового навантаження:

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{НОМ.Т\%}}} \cdot \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}}, \quad (2.42)$$

$$K_1 = \frac{1}{75,3} \cdot \sqrt{\frac{75^2 \cdot 1,5 + 65^2 \cdot 1}{2,5}} = 0,95.$$

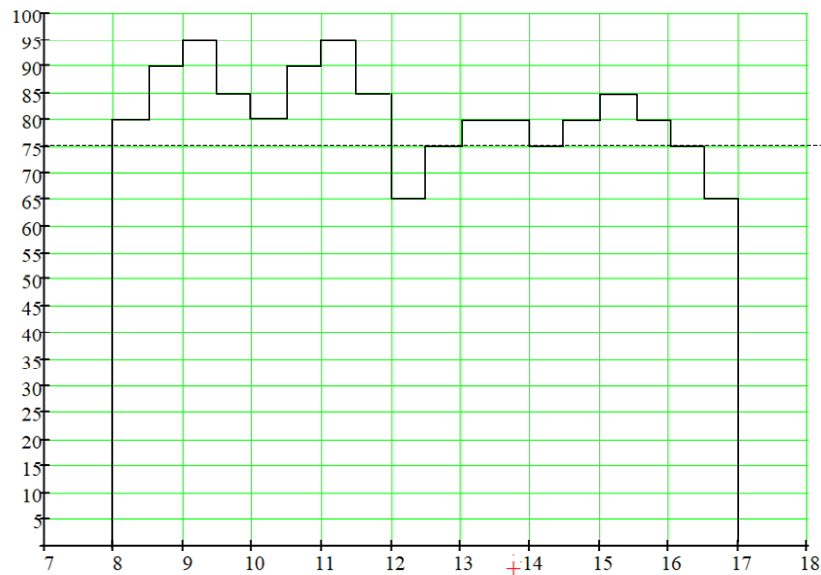


Рисунок 2.4 – Добовий графік навантаження для даного підприємства

Коефіцієнт перевантаження (середньоквадратичне значення):

$$K'_2 = \frac{1}{S_{\text{НОМ.Т\%}}} \cdot \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot \Delta h_i}{\sum \Delta h_i}} = \frac{1}{75,3} \cdot \sqrt{\frac{95^2 \cdot 1 + 90^2 \cdot 1 + 85^2 \cdot 1,5 + 80^2 \cdot 3}{6,5}} = 1,07, \quad (2.43)$$

Максимальне навантаження:

$$K_{\text{MAX}} = \frac{S_{\text{М}}}{S_{\text{НОМ.Т}}} = \frac{8371,29}{6300} = 1,328. \quad (2.44)$$

Оскільки $K'_2 = 1,07 > 0,8 \cdot K_{\text{MAX}} = 0,9 \cdot 1,328 = 1,06$, то приймаємо $K_2 = K'_2 = 1,07$ і $h = h' = 7$ год.

Значення $K_2 = 1,07 < 1,2$, є меншим чим допустиме перевантаження, значення якого наведено в [6].

2.9 Вибір і розміщення цехових ТП

Визначимо сумарну повну розрахункову потужність всіх цехів, електричне обладнання яких живиться на напрузі 0,38 кВ:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{12} \sqrt{P_{Pi}^2 + Q_{Pi}^2} = 8371,3 \text{ (кВА)}, \quad (2.45)$$

Визначимо загальну площу всіх цехів:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{12} F_i = 56757 \text{ (м}^2\text{)}, \quad (2.46)$$

Середнє питоме навантаження на 1 м² площі:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{8371,3}{56757} = 0,15 \text{ (кВА/м}^2\text{)}. \quad (2.47)$$

Згідно ПУЕ [7] (Правила улаштування електроустановок), вибір трансформаторів здійснюється на основі середнього питомого навантаження на 1 м² площі підприємства. У випадку, якщо середнє питоме навантаження складає:

- менше 0,2 кВА/м² — використовують трансформатори до 1000 кВА;
- від 0,2 до 0,3 кВА/м² — трансформатори потужністю 1600 кВА;
- понад 0,3 кВА/м² — трансформатори потужністю 2500 кВА.

У нашому випадку середнє питоме навантаження всього підприємства складає 0,15 кВА/м², що зазвичай передбачає встановлення трансформаторів до 1000 кВА. Проте, відповідно до положень ПУЕ та практики проектування, при наявності окремих цехів або ділянок із суттєво вищим питомим навантаженням допустимо встановлення трансформаторів більшої потужності.

З таблиці 2.3 видно, що найбільші споживачі – механічний цех (2573,9 кВА), складальний цех (2342,3 кВА), заготівельний цех (907,5 кВА), Ковальсько-пресова дільниця (569,5 кВА) та Ливарний цех (1016,7 кВА) – формують значну частину загального навантаження підприємства. Їх сумарне навантаження становить:

$$S_{\Sigma_{\text{основне}}} = 2573,9 + 2342,3 + 907,5 + 569,5 + 1016,7 = 7409,9 \text{ (кВА)}, \quad (2.48)$$

Це понад 88% від загального навантаження підприємства. Крім того, питома потужність на площу цехів становить:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{7409,9}{35709} = 0,21 \text{ (кВА/м}^2\text{)}. \quad (2.49)$$

Зокрема, у нашому випадку найбільш навантажені цехи мають питоме навантаження 0,21 кВА/м². Це свідчить про значну концентрацію електроспоживання в межах даних цехів. Відповідно до рекомендацій [6], у таких випадках доцільно передбачити встановлення трансформаторів підвищеної потужності, зокрема 1600 кВА, для забезпечення надійності живлення та уникнення перевантажень.

Такий підхід узгоджується з принципами енергетичної ефективності, раціонального використання обладнання та забезпечення резервування в мережі живлення.

Розрахуємо кількість двотрансформаторних підстанцій:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{8371,3}{2 \cdot 1600 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 3,1 \div 3,2. \quad (2.50)$$

Де $k_3 = 0,8 \div 0,85$ - коефіцієнт завантаження споживачів II – III категорії [6].

Так як дане підприємство належить до споживачів II категорії електропостачання необхідно встановити три двотрансформаторних підстанції.

Розподілимо трансформаторні підстанції між цехами і визначимо їх фактичний коефіцієнт завантаження. Дані розрахунку приведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Розподіл трансформаторних підстанцій 1600 кВА

№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Pp, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА	St, кВА	N, шт.	Kз, в.о.
ТП1	1	Складальний цех	1664,40	1648,10	2342,30			
	4	Адміністративно-побутовий корпус	83,60	38,30	91,90			
		Всього по ТП1	1748,00	1686,40	2428,88	1600	2	0,76
ТП2	2	Механічний цех	1713,40	1920,80	2573,90			
		Всього по ТП2	1713,40	1920,80	2573,95	1600	2	0,80

Продовження таблиці 2.7

№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Рр, кВт	Qp, кВА	Sp, кВА	St, кВА	N, шт.	Кз, в.о.
ТП3	3	Заготівельний цех	737,80	528,40	907,50	1600	2	0,66
	5	Будівля ЦТНС	33,60	17,50	37,90			
	6	Ковальсько-пресова дільниця	375,80	428,00	569,50			
	7	Інструментальний цех	136,60	204,30	245,80			
	8	Гальванічна дільниця	201,30	167,60	262,00			
	9	Експериментальний цех	99,70	68,50	120,90			
		Всього по ТП3	1584,80	1414,30	2124,11			
ТП4	10	Котельня	29,10	18,90	34,70	1600	2	0,52
	11	Цех товарів народного споживання	343,10	185,50	390,00			
	12	Насосна станція	9,60	6,40	11,50			
	13	Відділ головного механіка	127,90	84,40	153,20			
	14	Ливарний цех	819,40	601,90	1016,70			
	15	Нафтова ловушка	8,20	3,90	9,10			
	16	Транспортна дільниця	14,90	11,80	19,00			
	17	Компресорна станція	24,70	17,30	30,20			
	18	Газорозподільний пункт	2,30	1,10	2,60			
		Всього по ТП4	1379,20	931,20	1664,13			

Вибір оптимальнішого варіанту спорудження ЦТП обираємо за меншим значенням втрат енергії в ТП [15].

Таблиця 2.8 - Номінальні параметри трансформаторів

Марка	S _н , кВА	U _{вн} , кВ	U _{нн} , кВ	ΔP _{xx} , кВт	ΔP _к , кВт	I _{xx} , %	U _к , %
ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,8	18	1,3	5,5

Втрати енергії в трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{к}} \cdot \left(\frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{ном.т}}} \right)^2, \quad (2.51)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n \cdot \frac{\Delta I_{\text{х\%}}}{100} \cdot S_{\text{ном.т}} + \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta U_{\text{к}}}{100} \cdot \left(\frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{ном.т}}} \right)^2, \quad (2.52)$$

$$\Delta W_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{тр}} \cdot \tau, \quad (2.53)$$

де ΔP_{xx} , $\Delta P_{\text{к}}$ – втрати, відповідно, холостого ходу і короткого замикання в трансформаторах ТП;

$S_{\text{ном}}$ – номінальна потужність трансформатора ТП;

Значення часу максимальних втрат розраховуємо за формулою [16]:

$$\tau_m = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3411 \text{ (год.)}, (2.54)$$

Таблиця 2.9 - Втрати енергії в трансформаторах

	Марка ТП	п, шт.	St, кВА	Sn, кВА	Kз, %	ΔP, кВт	ΔQ, кВАр	ΔW, кВт*год/рік
ГПП	ТМ-6300/35	2	6300	8371,30	0,75	56,25	100,87	191869,70
ТП 1	ТМ-1600/10	2	1600	2428,88	0,66	26,34	41,66	89844,85
ТП 2	ТМ-1600/10	2	1600	2573,95	0,62	28,89	41,67	98547,89
ТП 3	ТМ-1600/10	2	1600	2124,11	0,75	21,46	41,65	73205,19
ТП 4	ТМ-1600/10	2	1600	1664,13	0,96	15,34	41,63	52309,78
Всього						148,28	267,48	427970,70

Отже для живлення цехів заводу встановлено три двотрансформаторних підстанцій з потужністю трансформаторів 1600 кВА.

Таблиця 2.10 – Координати розміщення цехів та ТП

№	Цех	ТП	Pr, кВт	X, м	Y, м	Pr*X, кВт*м	Pr*Y, кВт*м
1	Складальний цех	1	1664,40	122	183	203056,80	304585,20
2	Механічний цех	2	1713,40	320	168	548288,00	287851,20
3	Заготівельний цех	3	737,80	320	134	236096,00	98865,20
2	Адміністративно-побутовий корпус	1	83,60	133	90	11118,80	7524,00
5	Будівля ЦТНС	3	33,60	460	84	15456,00	2822,40
6	Ковальсько-пресова дільниця	3	375,80	471	159	177001,80	59752,20
7	Інструментальний цех	3	136,60	529	171	72261,40	23358,60
8	Гальванічна дільниця	3	201,30	549	99	110513,70	19928,70
9	Експериментальний цех	3	99,70	641	154	63907,70	15353,80
10	Котельня	4	29,10	564	241	16412,40	7013,10
11	Цех товарів народного споживання	4	343,10	758	294	260069,80	100871,40
12	Насосна станція	4	9,60	625	359	6000,00	3446,40
13	Відділ головного механіка	4	127,90	547	327	69961,30	41823,30
14	Ливарний цех	4	819,40	547	276	448211,80	226154,40
15	Нафтова ловушка	4	8,20	400	345	3280,00	2829,00
16	Транспортна дільниця	4	14,90	410	289	6109,00	4306,10
17	Компресорна станція	4	24,70	352	317	8694,40	7829,90
18	Газорозподільний пункт	4	2,30	322	271	740,60	623,30
			ΣPr, кВт	ΣPr*X/ΣPr	ΣPr*Y/ΣPr	ΣPr*X, кВт*м	ΣPr*Y, кВт*м
	Сумарно по ТП1		1748,00	122,53	178,55	214175,60	312109,20
	Сумарно по ТП2		1713,40	320,00	168,00	548288,00	287851,20
	Сумарно по ТП3		1584,80	426,07	138,87	675236,60	220080,90
	Сумарно по ТП4		1379,20	594,17	286,32	819479,30	394896,90
	Координати ЦЕН		6425,40	351,29	189,08	2257179,50	1214938,20

Розрахуємо місце установки цехових ТП за формулами:

$$X_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}; \quad Y_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}, \quad (2.55)$$

За допомогою розрахованих координат розміщення ТП вибираємо оптимальні координати. Для зручності покажемо це у вигляді таблиці.

Таблиця 2.11 – Координати розміщення цехових ТП

	Розраховані		Оптимальні на генплані	
	Х, м	У, м	Х, м	У, м
ТП-1	122,53	178,55	203	135
ТП-2	320,00	168,00	260	160
ТП-3	426,07	138,87	390	135
ТП-4	594,17	286,32	485	250
ЦРП	351,29	189,08	220	135

Для уточнення місця розташування ТП побудуємо картограму навантажень і визначимо центр електричних навантажень підприємства. Картограму навантажень будуємо на кресленні генерального плану підприємства. Навантаження кожного з цехів зображаємо кругом, площа якого пропорційна розрахунковій активній потужності.

Приймаємо масштаб рівним $m_p = 0,1 \text{ кВт/м}^2$. Визначимо радіуси кругів при даному масштабі за формулою [6]:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{\text{Pi}}}{\pi \cdot m_p}}, \quad (2.56)$$

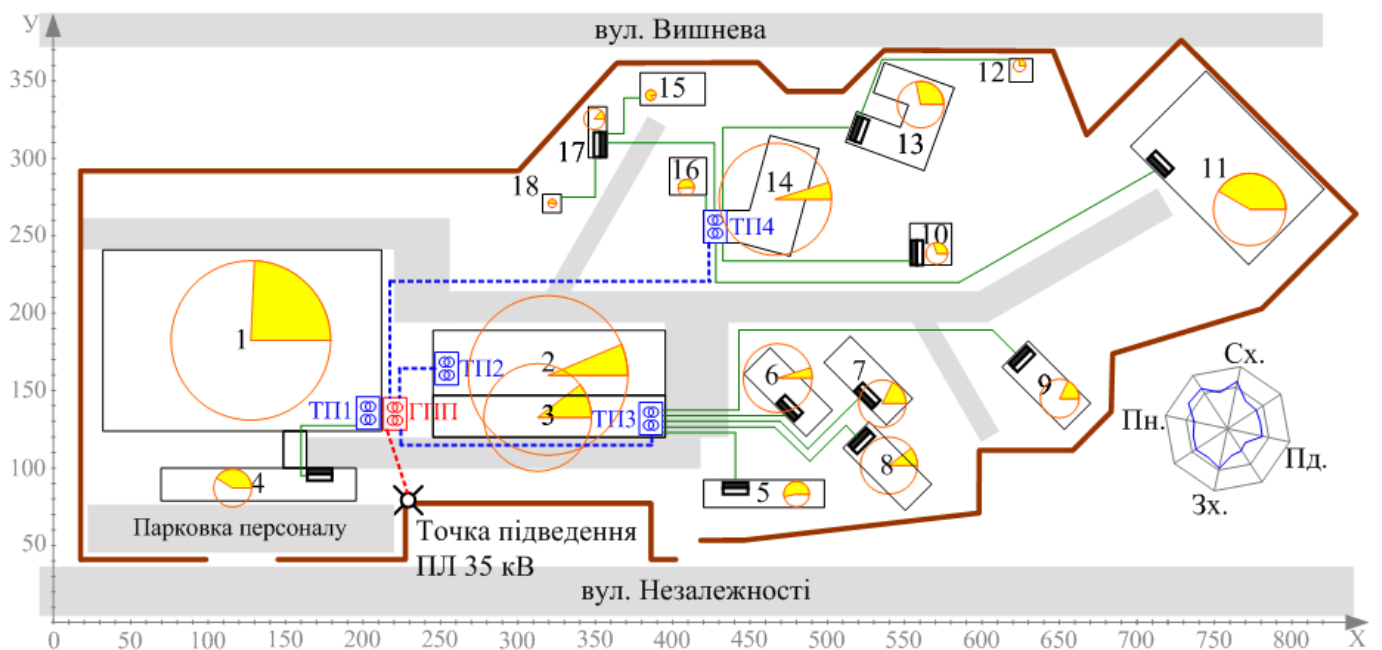
Сектор освітлювального навантаження цеху складає:

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{\text{Oi}}}{P_{\text{Pi}}}. \quad (2.57)$$

Розрахунки для всіх цехів здійснимо за допомогою Microsoft Office Excel, а результати зводимо до таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Дані для побудови картограми навантажень

№	Цех	X, м	Y, м	P _p , кВт	P _o , кВт	r, м	α°	d, м
1	Складальний цех	122	183	1664,40	404,40	51,48	87,5	102,96
2	Механічний цех	320	168	1713,40	113,40	52,23	23,8	104,47
3	Заготівельний цех	320	134	737,80	77,80	34,28	38,0	68,55
4	Адміністративно-побутовий корпус	133	90	83,60	35,60	11,54	153,3	23,08
5	Будівля ЦТНС	460	84	33,60	17,50	7,31	187,5	14,63
6	Ковальсько-пресова дільниця	471	159	375,80	15,80	24,46	15,1	48,92
7	Інструментальний цех	529	171	136,60	24,60	14,75	64,8	29,50
8	Гальванічна дільниця	549	99	201,30	21,30	17,90	38,1	35,81
9	Експериментальний цех	641	154	99,70	19,70	12,60	71,1	25,20
10	Котельня	564	241	29,10	9,10	6,81	112,6	13,61
11	Цех товарів народного споживання	758	294	343,10	143,10	23,37	150,1	46,75
12	Насосна станція	625	359	9,60	2,40	3,91	90,0	7,82
13	Відділ головного механіка	547	327	127,90	35,90	14,27	101,0	28,54
14	Ливарний цех	547	276	819,40	39,40	36,12	17,3	72,24
15	Нафтова ловушка	400	345	8,20	7,00	3,61	307,3	7,23
16	Транспортна дільниця	410	289	14,90	7,70	4,87	186,0	9,74
17	Компресорна станція	352	317	24,70	3,70	6,27	53,9	12,54
18	Газорозподільний пункт	322	271	2,30	1,10	1,91	172,2	3,83



Умовні позначення

	Двотрансформаторна ТП		ПЛ 35 кВ
	РП 0,4 кВ		КЛ 10 кВ
	Точка підведення зовнішньої ПЛ		КЛ 0,4 кВ

Рисунок 2.5 – Генеральний план підприємства

2.10 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

Згідно з [7], електрообладнання необхідно підбирати за типом установки, величиною номінального струму і номінальною напругою та перевіряється на термічну і динамічну стійкість при аварійних режимах роботи.

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

$$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.мережі}}, \quad (2.58)$$

$$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{max}}. \quad (2.59)$$

Визначимо I_{max} для нормального режиму роботи ЦРП:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{8371,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 69 \text{ (A)},$$

$$I_{\text{па}} = \frac{S_p \cdot k_{\text{н.па}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{8371,3}{\sqrt{3} \cdot 35} = 138 \text{ (A)},$$

$$I_{\text{рат}} = \frac{S_T \cdot k_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{6300 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 35} = 145,5 \text{ (A)}.$$

Отже на стороні 35 кВ доцільно задіяти вакуумні стаціонарні вимикачі Українського виробництва типу ВВ/Н40Т 40.5кV 630А 25кА з пружинно-моторним приводом [17]. Номінальний струм даних силових вимикачів рівний $I_{\text{ном.в}} = 630 \text{ A} > I_{\text{м.ав}} = 145,5 \text{ A}$ для всіх приєднань до ЦРП.

Попередньо було обрано броньовані кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену в ПВХ оболонці типу АПвЭгаПу-10 3×70 [18] прокладені в траншеї.

Переріз зовнішньої ПЛ доцільно обрати за економічною густиною струму:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{м}}}{J_{\text{ек}}}, \quad (2.60)$$

де $J_{\text{ек}}$ – економічна густина струму (для ПЛ 35 кВ $J_{\text{ек}} = 0,8-1,0 \text{ А/мм}^2$ [6]).

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{м}}}{J_{\text{ек}}} = \frac{138}{0,8} = 182 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Для зовнішньої лінії живлення доцільно вибрати повітряну лінію марки АС перерізом 185 мм^2 , допустимий струм якої 395 А.

Здійснюємо аналогічний розрахунок та вибір обладнання на стороні 140 кВ підприємства.

а) ТП1:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2428,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 85,9 \text{ (А)},$$

$$I_{\text{ра}} = \frac{S_{\text{р}}}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2428,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 171,8 \text{ (А)},$$

б) ТП2:

$$I_{\text{р}} = \frac{2573,9}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 91,0 \text{ (А)},$$

$$I_{\text{ра}} = \frac{2573,9}{\sqrt{3} \cdot 10} = 182,0 \text{ (А)},$$

в) ТП3:

$$I_{\text{р}} = \frac{2124,1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 75,1 \text{ (А)},$$

$$I_{\text{ра}} = \frac{2124,1}{\sqrt{3} \cdot 10} = 150,2 \text{ (А)},$$

г) ТП4:

$$I_{\text{р}} = \frac{1664,1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 58,8 \text{ (А)},$$

$$I_{\text{ра}} = \frac{1664,1}{\sqrt{3} \cdot 10} = 117,6 \text{ (А)},$$

$$I_{\max} = \frac{1,3 \cdot S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 129,3 \text{ (A)}.$$

Отже на стороні 10 кВ доцільно задіяти вакуумні вимикачі типу ВРС-10-20/630 [17]. Номінальний струм даних силових вимикачів рівний $I_{\text{ном.в}} = 630 \text{ A} > I_{\text{м.ав}} = 182 \text{ A}$ для всіх приєднань до ЦРП.

Для живлення ТП на стороні 10 кВ обрано броньовані кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену в ПВХ оболонці типу АПвЭгаПу-10 [18] прокладені в траншеї.

Для живлення ТП2 вибираємо кабель АПвЭгаПу-10 перерізом $3 \times 95 \text{ мм}^2$ з $I_{\text{доп}} = 221 \text{ A}$ [18].

Здійснюємо перевірку допустимого струму провідників для живлення ТП-2:

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}, \quad (2.61)$$

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.

$$182,0 \text{ (A)} \leq 1,04 \cdot 0,95 \cdot 1,18 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,96 \cdot 221 = 210,2 \text{ (A)}.$$

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

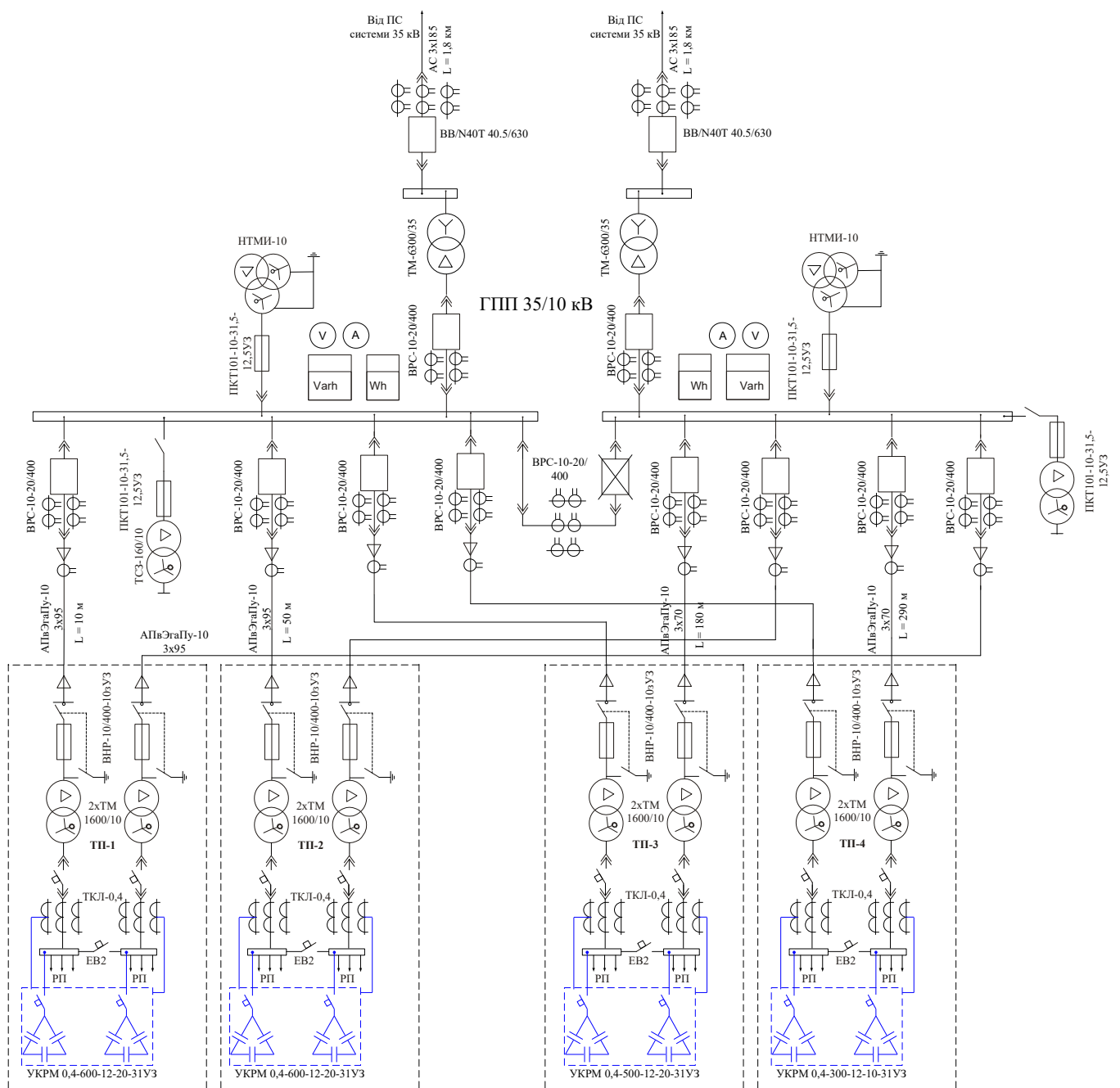
Кабелі всіх інших ключових приєднань на напрузі 10 кВ вибираємо аналогічно, а результати заносимо в таблицю 1.4.

У таблиці 2.13 представлена інформація про типи вимикачів і ліній електропередачі в залежності від типу підключення.

Таблиця 2.13 – Захисні апарати та лінії живлення СЕП

Лінія	I_p , А	$I_{па}$, А	Вимикач	$I_{ном}$, А	Марка лінії	S , мм ²	$I_{доп}$, А
С-ГПП	69,7	139,4	ВВ/Н40Т 40.5/630	630	АС	3×185	710
ГПП-ТП-1	85,9	171,8	ВРС-10-20/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×95	221
ГПП-ТП-2	91,0	182,0	ВРС-10-20/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×95	221
ГПП-ТП-3	75,1	150,2	ВРС-10-20/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×70	186
ГПП-ТП-4	58,8	129,3	ВРС-10-20/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×70	186

Схема підприємства показана на рисунку 2.7.



Рисунки 2.6 – Схема внутрішньозаводського електропостачання

2.11 Розрахунок струмів КЗ загальнозаводської мережі

З метою перевірки раніше обраних силових вимикачів та ліній живлення необхідно здійснити розрахунок струмів КЗ [12]. Розрахункова схема представлена на рисунку 2.7.

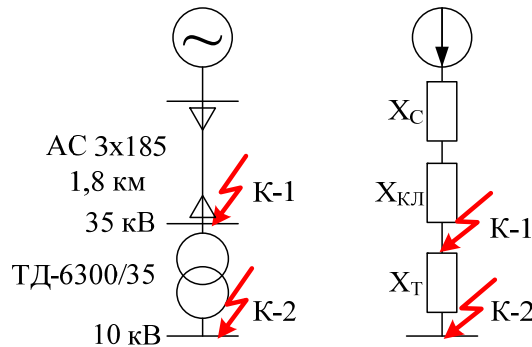


Рисунок 2.7 – Розрахункова та заступна схеми

Усі потрібні формули та результати розрахунку приведені в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Формули для розрахунку струмів КЗ на початку лінії

Назва параметра	Формула	Розрахунок
Опір системи, Ом	$X_c = \frac{U_{c.н.}}{\sqrt{3} \cdot I_K}$	$X_c = \frac{37 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6329} = 3,375$
Опір лінії живлення, Ом	$X_{л} = X_0 l \left(\frac{U_{c.н.}}{U_{c.н.л}} \right)^2$	$X_{л} = 0,158 \cdot 1,8 \cdot \left(\frac{37}{35} \right)^2 = 0,31$
Для точки короткого замикання К-1 на напрузі 35 кВ		
Сумарний опір від системи до точки К, Ом	$X_{\Sigma} = X_c + X_{л}$	$X_{\Sigma} = 3,375 + 0,31 = 3,69$
Періодична складова струму трифазного КЗ в початковий момент часу, кА	$I_{п0} = \frac{U_{c.н.}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}}$	$I_{п0} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot 3,69} = 5,797$
Постійна часу затухання аперіодичної складової струму, с	$T_{ac} = \frac{X_{\Sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{\Sigma}}$	$T_{ac} = \frac{5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5} = 0,032$
Час вимкнення КЗ, с	$t_{вим} = t_{pz.min} + t_{в.в.}$	$t_{вим} = 0,5 + 0,1 = 0,6$
Аперіодична складова струму КЗ	$i_{ат.с} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot e^{\frac{-t_{вим}}{T_{ac}}}$	$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 5,797 \cdot e^{\frac{-0,6}{0,032}} = 0,94$
Ударний струм КЗ, кА	$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot \left(1 + e^{\frac{-\tau}{T_{ac}}} \right)$	$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 5,797 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,032}} \right) = 14,1$
Тепловий імпульс, $кА^2 \cdot с$	$B_K = I_{ПО}^2 \cdot (t_{від} + T_{ac})$	$B_K = 5,797^2 \cdot (0,6 + 0,032) = 21,2$

Продовження таблиці 2.14

Назва параметра	Формула	Розрахунок
Опір системи, Ом	$X_c = \frac{U_{c.н.}}{\sqrt{3} \cdot I_K}$	$X_c = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6329} = 0,958$
Опір трансформатора, Ом	$X_T = \frac{e_K}{100} \cdot \frac{U_{c.н.}^2}{S_H}$	$X_T = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{10^2}{1600} = 0,035$
Для точки короткого замикання К-2 на напрузі 10 кВ		
Сумарний опір від системи до точки К, Ом	$X_\Sigma = X_c + X_{л.} + X_T$	$X_\Sigma = 0,958 + 0,31 + 0,035 = 1,303$
Періодична складова струму трифазного КЗ в початковий момент часу, кА	$I_{п0} = \frac{U_{c.н.}}{\sqrt{3} \cdot X_\Sigma}$	$I_{п0} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,303} = 4,65$
Час вимкнення КЗ, с	$t_{вим} = t_{рз. min} + t_{в.в.}$	$t_{вим} = 0,01 + 0,15 = 0,151$
Аперіодична складова струму КЗ	$i_{ат.с} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot e^{\frac{-t_{вим}}{T_{ас}}}$	$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 4,65 \cdot e^{\frac{-0,151}{0,03}} = 0,43$
Ударний струм КЗ, кА	$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot \left(1 + e^{\frac{-\tau}{T_{ас}}} \right)$	$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 4,65 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,032}} \right) = 11,3$
Тепловий імпульс, $кА^2 \cdot с$	$B_K = I_{ПО}^2 \cdot (t_{від} + T_{ас})$	$B_K = 4,65^2 \cdot (0,151 + 0,032) = 3,96$

Виконаємо перевірку обраних вимикачі типу ВВ/Н40Т на комутаційну здатність і стійкість до дії струмів КЗ. Результати перевірки в таблиці 2.15 для вимикачів 35 кВ та в таблиці 2.16 для вимикачів 10 кВ.

Таблиця 2.15– Формули для перевірки обраного типу вимикачів 35 кВ

ГПП - 35 кВ	ВВ/Н40Т 40.5кВ 630А 25кА	D BF-35/4000 Т1
$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 40,5 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
$I_{max} = 0,022 \text{ кА}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_{ном} = 4000 \text{ А}$
$I_{п.т} = 5,797 \text{ кА}$	$I_{відк.ном} = 25 \text{ кА}$	-
$i_{a.т} = 0,94 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{відк.ном} \cdot \beta_H =$ $= \sqrt{2} \cdot 25 \cdot 0,33 = 11,7 \text{ кА}$	-
$I_{п.0} = 5,797 \text{ кА}$	$I_{дин} = 25 \text{ кА}$	-
$i_y = 14,1 \text{ кА}$	$i_{дин} = 25 \text{ кА}$	$i_{дин} = 160 \text{ кА}$
$B_K = 21,2 \text{ кА}^2 \cdot с$	$I_T^2 \cdot t_T = 160 \text{ кА}^2 \cdot с$	$I_T^2 \cdot t_T = 512 \text{ кА}^2 \cdot с$

Усі необхідні умови виконуються. Приходимо до висновку, що вимикачі типу ВВ/Н40Т можуть бути використані при проектуванні СЕП.

Таблиця 2.16 – Вибір вимикачів та роз'єднувачів 10 кВ

Умови вибору	Дані для вимикачів	Дані розрахунків
$I_{н.відк} \geq I_{пт}$	$I_{н.відк} = 40 \text{ кА}$	$I_{пт} = I_{пт.с} = 4,65 \text{ кА}$
$\sqrt{2}I_{н.відкл} \geq \sqrt{2}I_{пт.с} + i_{ат.с}$	$\sqrt{2}I_{н.відкл} = \sqrt{2} \cdot 40 = 56,6 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 4,65 + 0,43 = 7 \text{ (кА)}$
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 100 \text{ кА}$	$i_{уд} = i_{уд.с} = 11,3 \text{ (кА)}$
$I_{дин} \geq I_{по}$	$I_{дин} = 40 \text{ кА}$	$I_{по} = I_{по.с} = 4,65 \text{ (кА)}$
$B_k = I_{по}^2 t_{по}$	$I_T^2 t_T = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$B_k = 3,96 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$

Переріз ПЛ за термічною стійкістю до дії струмів КЗ [4]:

$$s \geq s_{\min} = \frac{I_k \sqrt{t_{\text{вим}}}}{C_T}, \quad (2.62)$$

$$s = 185 \text{ (мм}^2\text{)} \geq s_{\min} = \frac{5,797 \sqrt{0,6}}{90} = 50 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Отже, обрані повітряні лінії живлення задовольняють умовам термічної стійкості до дії струму КЗ.

Переріз жил кабелів за термічною стійкістю до дії струмів КЗ:

$$s = 70 \text{ (мм}^2\text{)} \geq s_{\min} = \frac{4,65 \sqrt{0,151}}{94} = 19,2 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Умова виконується, отже живлячі кабелі АПвЭгаПу-10 3х70 вибрані вірно.

Висновки по розділу 2.

Аналіз системи електропостачання підприємства ПрАТ «КМЗ» показав що для підвищення ефективності процесу електроспоживання доцільно виконати наступні проектні рішення:

- кількість трансформаторних підстанції для оптимального електропостачання повинна бути рівна чотирьом, а потужність та тип трансформаторів ТМ 1600/10;

- для живлення ТП оптимальним рішенням буде використання ПЛ типу АС з перерізом ліній 3х185 мм². Дана ПЛ виконана на напрузі 35 кВ та живить ГПП з трансформаторами ТМ-6300/35;

- також в даному розділі був проведений аналіз та вибір типу засобів захисту електрообладнання в аварійних режимах роботи.

- проведено проектування внутрішньо цехової системи електропостачання для якої здійснено вибір захисного обладнання, типу та перерізу кабельних ліній

Отже в цілому для підприємства було розроблено систему електропостачання яка відповідає діючим нормам та, яка являється оптимальною за своїми економічними показниками.

Для підприємства характерне споживання значного об'єму реактивного навантаження, тому для покращення ефективності електропостачання в мережі підприємства доцільно використати пристрої для компенсації реактивної потужності.

3 ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Аналіз стану реактивного навантаження на підприємстві

Реактивна потужність – це складова загальної потужності в електроенергетичних системах (рисунок 3.1), яка не виконує корисної роботи, проте необхідна для забезпечення нормального функціонування пристроїв з електромагнітними колами, таких як асинхронні електродвигуни, трансформатори, індукційні печі тощо [19]. Попри свою функціональну важливість, реактивна потужність негативно впливає на електричну мережу: вона спричиняє підвищення струму в лініях, збільшує навантаження на трансформатори та кабелі, викликає додаткові втрати електроенергії та сприяє зниженню рівня напруги на затискачах споживачів [20, 21]. Через ці фактори підприємства зобов'язані підтримувати коефіцієнт потужності на нормативному рівні, що зазвичай досягається шляхом використання пристроїв компенсації реактивної потужності.

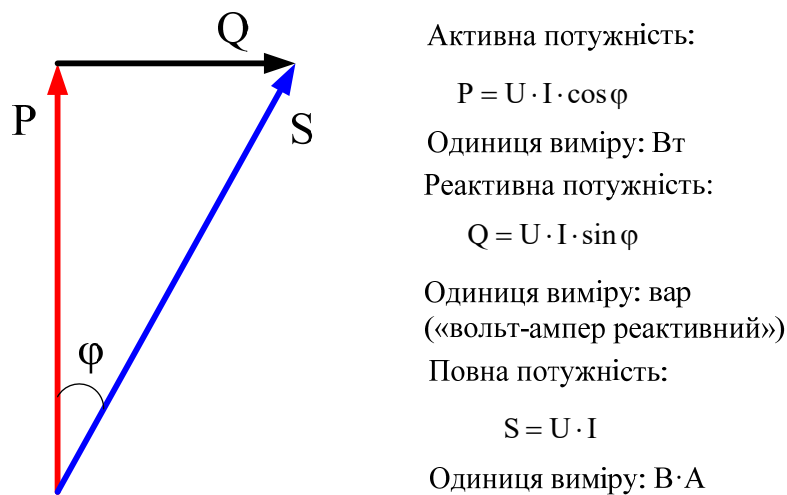


Рисунок 3.1 – Трикутник потужностей

Компенсація реактивної потужності – це сукупність технічних заходів, спрямованих на зменшення або повне усунення небажаного реактивного навантаження (рисунок 3.2) в електричних мережах з метою покращення енергоефективності [22], зниження втрат електроенергії та підвищення якості електропостачання. Реалізується компенсація здебільшого шляхом встановлення

пристроїв, які створюють реактивну потужність протилежного знака, найчастіше це батареї конденсаторів, синхронні компенсатори або сучасні електронні пристрої, такі як статичні вар-генератори (SVG) чи тиристорні установки. Основна мета компенсації це збільшення коефіцієнта потужності, що дозволяє зменшити струмові навантаження на лінії, уникнути перевантаження трансформаторів і знизити втрати потужності в мережі. У результаті, підприємство отримує стабільнішу роботу обладнання, менші витрати на електроенергію та зменшує ризики застосування штрафних санкцій з боку енергопостачальної компанії за надмірне споживання реактивної енергії.

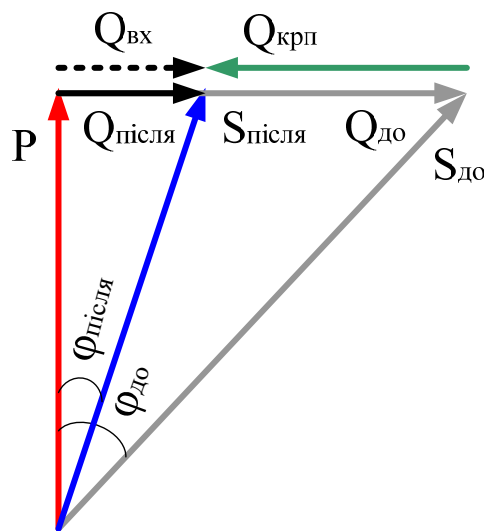


Рисунок 3.2 – Трикутник потужностей до та після КРП

Значне реактивне навантаження в електричних мережах підприємства призводить до ряду негативних технічних та економічних наслідків. Через збільшення струмів у лініях істотно зростають активні втрати електроенергії в кабелях, що знижує загальну енергоефективність системи. Перевантаження трансформаторів та розподільчих пристроїв скорочує їхній ресурс, підвищує ймовірність аварій та знижує надійність електропостачання. Одночасно спостерігається зниження напруги на затискачах електроприймачів [20], особливо в найвіддаленіших ділянках мережі, що негативно впливає на роботу чутливого обладнання. Крім технічних ускладнень, підприємство може нести додаткові фінансові витрати у вигляді штрафів за недотримання нормативного коефіцієнта

потужності ($\cos \varphi$), який регламентується умовами договору з енергопостачальною організацією. У комплексі ці чинники обґрунтовують необхідність впровадження засобів компенсації реактивної потужності.

На Калинівському машинобудівному заводі експлуатується велика кількість металообробного обладнання [4], зокрема токарні, фрезерні, шліфувальні верстати, які оснащені потужними асинхронними електродвигунами. Ці електроприймачі мають низький коефіцієнт потужності ($\cos \varphi \approx 0,7-0,8$), що вказує на високу частку реактивної складової у загальному навантаженні. Внаслідок цього зростає струм у мережах, що призводить до підвищених втрат активної енергії, перевантаження силових трансформаторів і електричних ліній, а також до можливого зниження напруги в робочих точках системи. Використання пристроїв компенсації реактивної потужності (КРП) на КМЗ дозволить значно знизити навантаження на електромережу, покращити енергоефективність, забезпечити стабільну роботу обладнання та уникнути фінансових втрат, що робить впровадження КРП актуальним і технічно доцільним рішенням.

3.2 Розрахунок оптимальної потужності пристроїв КРП

Для розрахунку балансової задачі КРП складаємо однолінійну схему представлену на рисунку 3.3, та схему заміщення мережі підприємства рисунок 3.4.

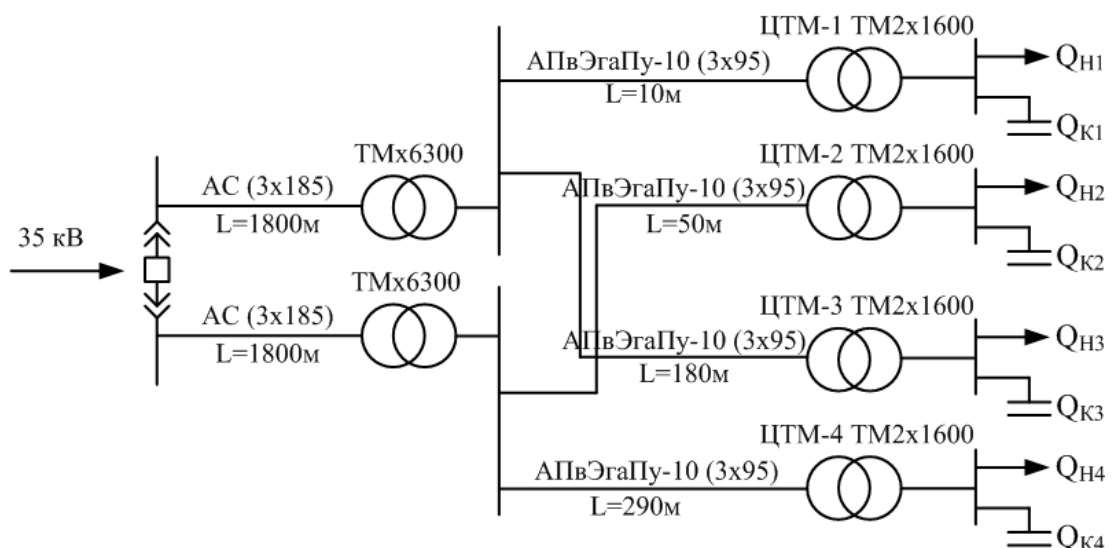


Рисунок 3.3 – Однолінійна схема електропостачання

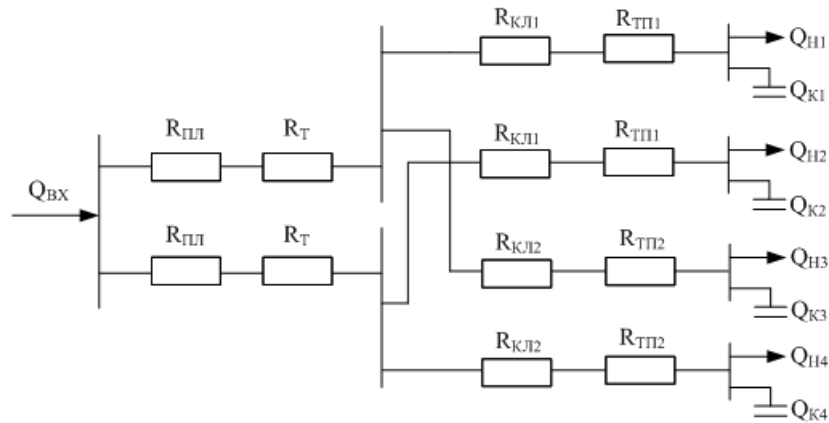


Рисунок 3.4 – Схема заміщення СЕП підприємства

Визначення оптимальної потужності засобів КРП можна досягти використовуючи дану математичну модель [23]:

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

Для математичної моделі керованими змінними являється величина потужності батарей компенсуючої установки.

де B_0 – вартість втрат активної потужності;

U – номінальна напруга;

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

Q_{Ki} – потужність КУ;

Q_{BX} – вхідна реактивна потужність.

На листі САПР MathCad проводимо розрахунок згідно моделі (3.1). Створена математична модель представлена на рисунку 3.5.

Напруга, кВ: $U := 10$
Відна реактивна потужність, квар: $q_{вк} := 1850$
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 $Bo := 22679.3$
Питомі активні опори ліній живлення, Ом/км
 $r_{01} := 0.32$ $r_{02} := 0.32$ $r_{03} := 0.443$ $r_{04} := 0.443$
Довжини ліній від ЦРП до ЦТП, км
 $L_{лн1} := 0.01$ $L_{лн2} := 0.05$ $L_{лн3} := 0.180$ $L_{лн4} := 0.290$
Опори трансформаторів, Ом
 $r_{т1} := 0.7$ $r_{т2} := r_{т1}$ $r_{т3} := r_{т1}$ $r_{т4} := r_{т1}$
Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар:
 $q_{н1} := 1686.4 + 41.66 = 1728.06$ $q_{н2} := 1920.8 + 41.67 = 1962.47$
 $q_{н3} := 1414.3 + 41.65 = 1455.95$ $q_{н4} := 931.2 + 41.63 = 972.83$
Довільні початкові потужності БК у вузлах навантаження, квар:
 $q_{к1} := 100$ $q_{к2} := 100$ $q_{к3} := 100$ $q_{к4} := 100$
Довжина та питомий опір лінії живлення:
 $l_{ж} := 1.8 + 50$ $r_{ж0} := 0.158$
Опір зовнішньої лінії живлення, Ом
 $r_{ж} := l_{ж} \cdot r_{ж0} = 8.184$
Опір трансформаторів ГПП, Ом
 $r_t := 0.1$
Опір розподільних ліній живлення, Ом
 $r_{н1} := r_{01} \cdot L_{лн1} = 0.003$ $r_{н3} := r_{03} \cdot L_{лн3} = 0.08$
 $r_{н2} := r_{02} \cdot L_{лн2} = 0.016$ $r_{н4} := r_{04} \cdot L_{лн4} = 0.128$

Модель балансової задачі компенсації реактивних навантажень

$$3(q_{к1} \cdot q_{к2} \cdot q_{к3} \cdot q_{к4}) := \frac{Bo}{U^2 \cdot 1000} \left[\begin{aligned} &(q_{н1} - q_{к1})^2 \cdot \left(\frac{r_{т1} + r_{л1}}{2} \right) \dots \\ &+ (q_{н2} - q_{к2})^2 \cdot \left(\frac{r_{т2} + r_{л2}}{2} \right) \dots \\ &+ (q_{н3} - q_{к3})^2 \cdot \left(\frac{r_{т3} + r_{л3}}{2} \right) \dots \\ &+ (q_{н4} - q_{к4})^2 \cdot \left(\frac{r_{т4} + r_{л4}}{2} \right) \dots \\ &+ \left(q_{н1} + q_{н2} + q_{н3} \dots \right. \\ &\quad \left. + q_{н4} - q_{к1} - q_{к2} - q_{к3} - q_{к4} \right)^2 \cdot \frac{r_{ж} + r_t}{2} \end{aligned} \right] + [(E_e + E_a) \cdot B_{к0} + Bo \cdot \Delta P_K] \cdot (q_{к1} + q_{к2} + q_{к3} + q_{к4})$$

Given
обмеження
 $q_{к1} \geq 0$ $q_{к2} \geq 0$ $q_{к3} \geq 0$ $q_{к4} \geq 0$
 $(q_{н1} + q_{н2} + q_{н3} + q_{н4}) - (q_{к1} + q_{к2} + q_{к3} + q_{к4}) = q_{вк}$

Визначаємо оптимальне проектне рішення:

$$q_k := \text{Minimize}(3 \cdot q_{к1} \cdot q_{к2} \cdot q_{к3} \cdot q_{к4}) = \begin{pmatrix} 1232.393 \\ 1475.713 \\ 1009.005 \\ 552.199 \end{pmatrix}$$

Річні приведені затрати, грн
 $3(q_{к1} \cdot q_{к2} \cdot q_{к3} \cdot q_{к4}) = 439060320.668$

Перевірка, квар
 $(q_{н1} + q_{н2} + q_{н3} + q_{н4}) - (q_{к1} + q_{к2} + q_{к3} + q_{к4}) = 1850.001$ $q_{вк} = 1850$

Рисунок 3.5 – Вигляд розрахунку задачі КРН в середовищі MathCad

3.3 Визначення оптимальних пристроїв для КРП

Батареї статичних конденсаторів – це пристрої, що складаються з кількох конденсаторів [22], з'єднаних у батарею для забезпечення компенсації реактивної потужності в електричних мережах.

Батареї статичних конденсаторів є одним із найпоширеніших пристроїв компенсації реактивної потужності в електричних мережах промислових підприємств завдяки простоті конструкції, низькій вартості та ефективності. Вони складаються з паралельно з'єднаних конденсаторів, які забезпечують підвищення коефіцієнта потужності ($\cos \phi$), зниження втрат електроенергії та розвантаження мережі. Основні переваги таких пристроїв включають швидке встановлення, невибагливість до обслуговування та можливість роботи зі стабільними навантаженнями.

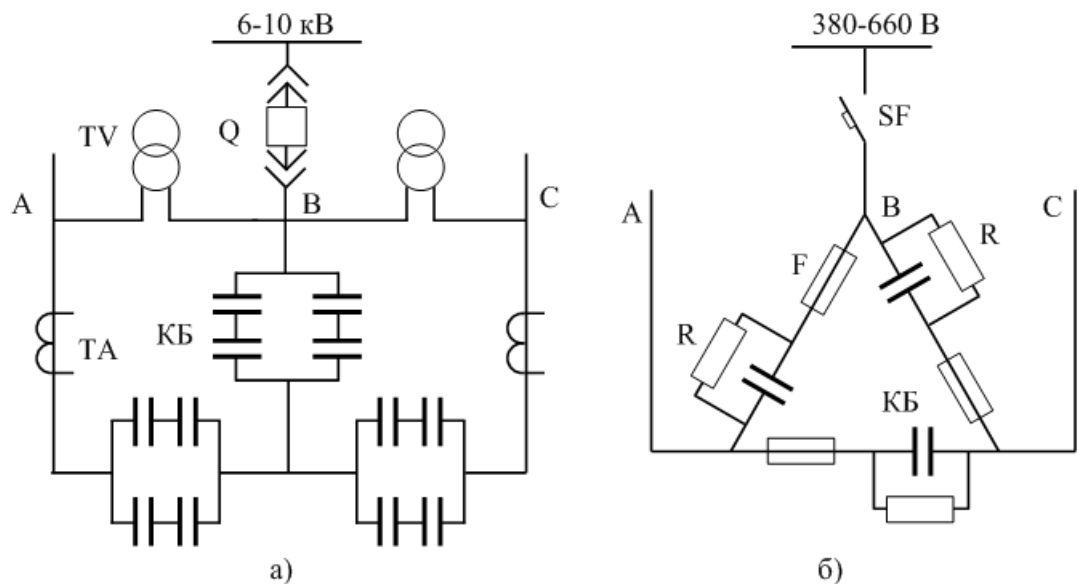


Рисунок 3.6 – Принципова схема однієї трифазної секції КУ: а) для мережі 6-10 кВ; б) для мережі 380-660 В

Основні особливості БСК [22]:

На відміну від регульованих пристроїв, статичні конденсатори не змінюють свій стан в залежності від коливань навантаження. Вони забезпечують постійну компенсацію реактивної потужності.

Простота конструкції та низька вартість – у порівнянні з іншими пристроями КРП, конденсаторні батареї мають просту конструкцію, легкі в обслуговуванні та доступні за ціною.

Конструкція батарей статичних конденсаторів:

Батареї статичних конденсаторів можуть складатися з окремих конденсаторних блоків, об'єднаних в одну систему. Кожен блок містить певну кількість конденсаторів, які можна підключати паралельно чи послідовно, щоб забезпечити необхідний рівень потужності. Батареї можуть бути стаціонарними або модульними, що дозволяє змінювати їх конфігурацію залежно від потреб мережі.

Принцип роботи. Конденсаторна батарея підключається паралельно до електричної мережі, зменшуючи потребу в реактивній потужності. Вона працює, генеруючи реактивну потужність протилежного знаку до реактивної потужності споживачів, тим самим компенсуючи її. Це знижує навантаження на генератори, трансформатори та лінії передачі.

На рисунку 3.7 представлено добовий графік реактивного навантаження для ГПП підприємства. Аналіз даного графіка дозволить визначити оптимальні параметри пристроїв КРП в мережі підприємства.

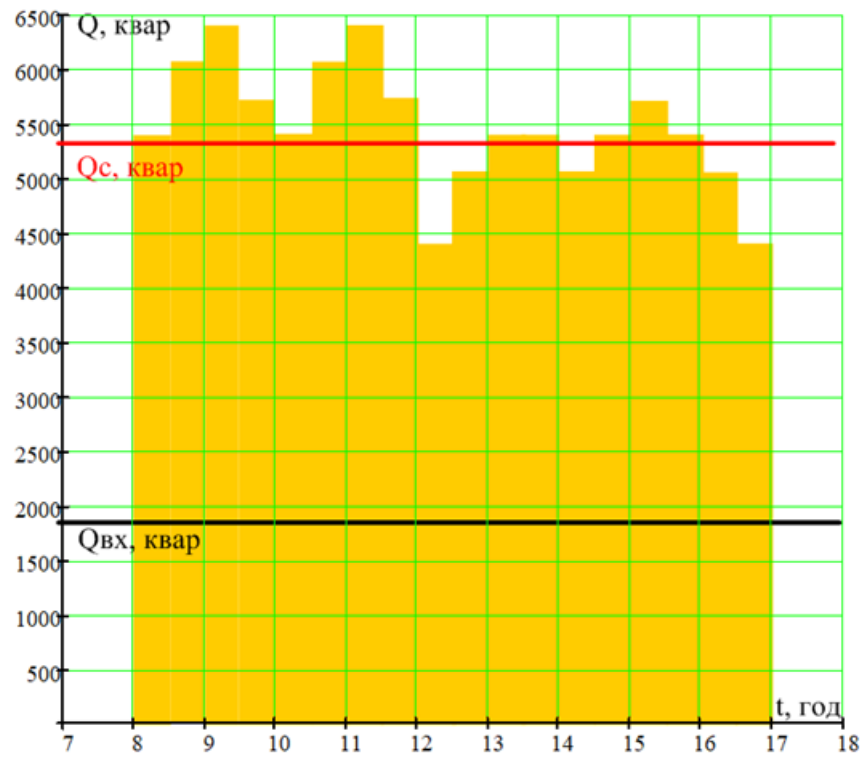


Рисунок 3.7 – Добовий графік реактивного навантаження на ЦРП до КРП

Постійно увімкнені конденсаторні батареї неприйнятні для підприємств, що потребують змінної реактивної потужності [22]. У цьому випадку конденсаторна батарея оснащується спеціальним контролером, пристроями комутації та захисту: якщо значення $\cos\varphi$ відрізняється від нормованого значення, контролер здійснює вмикання чи вимикання конденсаторної ступінчатої батареї. Перевагою використання централізованої компенсації є те, що величина ємності переключеного конденсатора відповідає реактивній потужності, спожитій в конкретний момент часу, без надлишкової або недостатньої компенсації.

Засоби управління компенсуючими установками забезпечують:

- мінімум втрат потужності й електроенергії в електричних мережах;
- виконання обмежень енергосистеми на споживання вхідної реактивної потужності;

- зменшення споживання реактивної потужності до нуля під час позапікового енергоспоживання.

Аналіз добового графіку реактивного навантаження підприємства показав що для економічної роботи на підстанціях СЕП потрібно встановити автоматичні регульовані компенсатори.

На ПАТ «Калинівський МБЗ» доцільно застосовувати регульовані КУ типу УКРМ 0,4 відповідно до потужності вузла встановлення використовуємо наступні стандартні потужності батарей КУ [22]:

для ТП1: 2 КУ типу УКРМ 0,4-600-12-20-31УЗ, ціна якого 181 900 грн.;

для ТП2: 2 КУ типу УКРМ 0,4-600-12-20-31УЗ, ціна якого 181 900 грн.;

для ТП3: 2 КУ типу УКРМ 0,4-500-12-20-31УЗ, ціна якого 166 100 грн.;

для ТП4: 2 КУ типу УКРМ 0,4-300-12-10-31УЗ, ціна якого 116 000 грн.;

Зовнішній вигляд даної установки представлено на рисунку 3.8;

	Тип управління	Автоматичне
	Гарантійний термін	12 міс
	Країна виробник	Україна
	Тип компенсатора	Регулятор реактивної потужності
	Частота струму	50 Гц
	Режим роботи	Тривалий
	Ступінь захисту IP	31
	Тип монтажу	Підлоговий
	Регулювання компенсації	Ступінчаста
	Номинальна напруга головного ланцюга	380 В
	Час розряду конденсаторів	180 сек
	Мощность компенсатора	600 кВар
	Кількість ступенів регулювання	15
	Діелектричні втрати, не більше	0.2 Ват/кВар
	Ємність конденсатору	5 мкФ

Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд УКРМ 0,4-600-12-20-31УЗ

3.4 Економічний ефект від встановлення КУ

Дане підприємство являється споживачем реактивної енергії. Для зменшення втрат електричної енергії пропонується розглянути компенсацію реактивної

потужності за допомогою регульованих установок типу УКРМ встановлених вузлах трансформаторних ТП на стороні 0,4 кВ.

В таблиці 3.1 представлені результати розрахунку потужностей підприємства з використанням пристроїв КРП [24].

Таблиця 3.1 – Результати використання пристроїв БСК

№ ТП	S _p , кВА	P _p , кВт	Q _p , кВар	Q _{крп} , кВар	Тип КУ	Q ₂ , кВар	S _{крп} , кВА	Ціна, грн
ТП1	2476,79	1774,3	1728,1	1200	2хУКРМ 0,4-600	528,06	1851,25	2х181900
ТП2	2624,28	1742,3	1962,5	1200	2хУКРМ 0,4-600	762,47	1901,82	2х181900
ТП3	2167,92	1606,3	1456	1000	2х УКРМ 0,4-500	455,95	1669,72	2х166100
ТП4	1700,34	1394,5	972,83	600	2хУКРМ 0,4-300	372,83	1443,52	2х116000

Виконуємо розрахунок втрат електроенергії в лініях і результати заносимо до таблиця 3.2.

Таблиця 3.2 – Втрати електроенергії в лініях до встановлення БСК

Лінія	Марка кабелю	N, шт.	L, км	I _м , А	R _{пит} , Ом/км	R, Ом	τ, год./рік	ΔE _л , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,01	71,5	0,32	0,0032	3410,93	334,79
ЦРП-ТП-2	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,05	75,8	0,32	0,016	3410,93	1879,25
ЦРП-ТП-3	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,18	62,6	0,443	0,07974	3410,93	6391,52
ЦРП-ТП-4	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,29	49,1	0,443	0,12847	3410,93	6334,52
Разом								14940,08

Таблиця 3.3 – Втрати електроенергії в лініях після встановлення БСК

Лінія	Марка кабелю	N, шт.	L, км	I _м , А	R _{пит} , Ом/км	R, Ом	τ, год./рік	ΔE _л , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,01	53,4	0,32	0,0032	3410,93	187,04
ЦРП-ТП-2	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,05	54,9	0,32	0,016	3410,93	986,97
ЦРП-ТП-3	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,18	48,2	0,443	0,07974	3410,93	3791,45
ЦРП-ТП-4	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,29	41,7	0,443	0,12847	3410,93	4565,51
Разом								9530,96

Для втрат в ТП проводимо аналогічні розрахунки і їх результати зводимо у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Втрати енергії в трансформаторах до встановлення БСК

№	Тип	шт	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	S_p , кВА	S_n , кВА	ΔE_T , кВт*год./рік
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	2476,79	1600	122617,85
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	2624,28	1600	131640,17
КТП-3	ТМ-1600	2	2,8	18	2167,92	1600	105414,63
КТП-4	ТМ-1600	2	2,8	18	1700,34	1600	83725,25
разом							443397,9

Таблиця 3.5 – Втрати енергії в трансформаторах після встановлення БСК

№	Тип	шт	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	S_p , кВА	S_n , кВА	ΔE_T , кВт*год./рік
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	1851,25	1600	90152,60
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	1901,82	1600	92428,66
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	1669,72	1600	82487,98
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	1443,52	1600	74043,32
разом							339112,57

Загальна величина втрат електроенергії в СЕП підприємства до та після використання пристроїв БСК [25], кВт·год./рік:

$$E = \Delta E_{\text{л}} + \Delta E_T;$$

$$E = 14940,08 + 443397,9 = 458337,98 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$E_{\text{КРП}} = 9530,96 + 339112,57 = 348643,53 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$\Delta E = 458337,98 - 348643,53 = 109694,45 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Визначаємо термін окупності пристроїв КРП:

$$T_o = \frac{B_{\text{БСК}}}{c \cdot \Delta E} = \frac{4 \cdot 181900 + 2 \cdot 166100 + 2 \cdot 116000}{6,649 \cdot 109694,45} = \frac{1291800}{729358,4} = 1,77 \text{ (років)}.$$

Отже використання пристрів БСК в СЕП даного підприємства дозволяє підвищити енергоефективність шляхом зменшення втрат в лініях живлення та

трансформаторних підстанціях. Термін окупності пристроїв КРП на базі БСК складає менше 2 років

Висновки по розділу 3.

У даному розділі було здійснено комплексний аналіз стану реактивного навантаження в системі електропостачання ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод» та обґрунтовано необхідність впровадження засобів компенсації реактивної потужності (КРП).

В результаті аналізу встановлено, що значна частина навантаження на підприємстві формується за рахунок асинхронних електродвигунів металообробного обладнання, що мають низький коефіцієнт потужності ($\cos \varphi \approx 0,7-0,8$). Це призводить до зростання струмів у мережі, збільшення втрат активної енергії та перевантаження трансформаторів.

На основі розрахункової математичної моделі визначено оптимальну потужність пристроїв компенсації реактивної потужності для кожного з трансформаторних підстанцій підприємства. Як оптимальний варіант було обрано автоматизовані регульовані установки типу УКРМ 0,4, які забезпечують динамічну компенсацію змінної реактивної потужності в залежності від навантаження.

Запропоноване рішення передбачає встановлення восьми регульованих компенсуючих установок (по дві на кожну ТП), що дозволяє знизити реактивну потужність у мережі, покращити енергетичний баланс та підвищити коефіцієнт потужності до нормативного рівня.

Таким чином, впровадження засобів КРП на підприємстві є технічно обґрунтованим і економічно доцільним рішенням, яке дозволяє забезпечити енергоефективну та стабільну роботу системи електропостачання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці під час проектування електротехнічним проектувальним персоналом системи електропостачання ПАТ «Калинівський машинобудівний завод». Науково-технічний прогрес в машинобудування визначає якісні і кількісні зміни технології виробництва сучасного обладнання та автоматизованих систем управління для нього, дозволяє значно покращити умови праці.

Аналіз причин смертності в Україні свідчить, що саме нещасні випадки у виробничій та невиробничій сферах є головною причиною смерті чоловіків у працездатному віці. Тому питання охорони праці та здоров'я громадян у процесі їх трудової та будь-якої іншої діяльності повинні стати пріоритетними та увійти до розряду найвищого державного рівня, оскільки саме люди, їх життя та здоров'я є найбільшим багатством будь-якої держави. Окрім соціального, охорона праці має, безперечно, важливе економічне значення. Це й висока продуктивність праці, зниження витрат на оплату лікарняних, компенсацій за важкі та шкідливі умови праці тощо. Незадовільний стан охорони праці важким тягарем лягає на економіку держави.

Розробка проекту з удосконалення системи електропостачання ПАТ «Калинівський машинобудівний завод» здійснюється в приміщені, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. Відтак, на електротехнічний персонал в процесі проектування системи електропостачання ПАТ «Калинівський машинобудівний завод» мають вплив такі шкідливі виробничі фактори [26]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці.

Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

4.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочого місця

Живлення силового обладнання підприємства та системи освітлення здійснюється від чотирьохпроводної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму – з підвищеною небезпекою.

Робоче місце для дослідження призначене для роботи з комп'ютером, комплектується однимісним столом і стільцем, які виконані з дотриманням нормативних вимог. Робоче місце – це зона простору, що оснащена необхідним устаткуванням, де відбувається трудова діяльність одного працівника чи групи працівників.

Стіл дослідника має дві різновисотні горизонтальні поверхні – робочу і додаткову. Ширина і глибина робочої поверхні столу та додаткової поверхні забезпечує виконання роботи у межах моторного поля і становить 750 х 600 мм та 750 х 350 мм відповідно. Обидві поверхні повинні регулюються по висоті у межах 460 – 760 мм. Стіл дослідника, який використовується для обладнання комп'ютеризованого робочого місця має кріплення до підлоги.

Під час розміщення робочого місця було дотримано такі основні вимоги: відстань від стін з вікнами становить 1 м, від інших стін – 0,5 м; відстань між бічними поверхнями відеомоніторів – не менше 1,2 м.

При роботі з ПК важливу роль відіграє дотримання правильного режиму праці і відпочинку. Інакше у персоналу виникає напруга зорового апарату з появою скарг на незадоволеність роботою, головні болі, дратівливість, порушення сну,

утомленість і хворобливі відчуття в очах, в поясниці, в області ший і руках.

Положення екрану визначається:

- відстанню прочитування (0,6-0,7м);
- кутом прочитування, напрямом погляду на 20 нижче горизонталі до

центру екрану, причому екран перпендикулярний цьому напрямку.

Повинна також передбачатися можливість регулювання екрану:

- по висоті +3 см;
- по нахилу від -10 до +20 щодо вертикалі;
- в лівому і правому напрямках.

Істотне значення для продуктивної і якісної роботи на комп'ютері мають розміри знаків, густину їх розміщення, контраст і співвідношення яскравості символів і фону екрану. Якщо відстань від очей оператора до екрану дисплея становить 60-80 см, то висота знака повинна бути не менше 3мм, оптимальне співвідношення ширини і висоти знака становить 3:4, а відстань між знаками – 15-20% їх висоти. Співвідношення яскравості фону екрану і символів – від 1:2 до 1:15.

4.1.2. Електробезпека

Електробезпека – система організаційних і технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електричного поля і статичної електрики [29,30].

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

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

1) Технічні рішення із запобігання електротравм від контакту з нормально струмоведучими елементами електроустаткування – ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів.

2) Технічні рішення щодо запобігання електротравмам при переході напруги

на нормально неструмовідні елементи електроустаткування – захисне заземлення із використанням природних заземлювачів.

3) Використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки.

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

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

4.2 Технічні рішення з виробничої санітарії

4.2.1. Мікроклімат

До параметрів мікроклімату, що нормуються відносяться температура ($t^{\circ}\text{C}$) і відносна вологість повітря (W , %), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань (Вт/м^2). Нормується мікроклімат на робочому місці дослідника згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [31].

Робота з дослідження гідросистеми маніпулятора для мобільної робочої машини за енерговитратами відноситься до категорії Ia [31].

Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та

зниження працездатності. Допустимі величини мікрокліматичних умов встановлюються у випадках, коли на робочих місцях не можна забезпечити оптимальні величини мікроклімату за технологічними вимогами виробництва, технічною недосяжністю та економічно обґрунтованою недоцільністю.

Допустимі параметри мікроклімату для категорії 1а відповідно до [32] наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимі параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22 - 28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	21 - 25	Не більше 75	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проєктом передбачено [32]:

1. У холодний період року для обігріву будівлі використовується централізована система опалення.
2. Забезпечення допустимих метеорологічних умов праці в приміщенні здійснюється за допомогою системи припливно-витяжної вентиляції та регулярного провітрювання.

4.2.2. Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється дослідження гідросистеми маніпулятора для мобільної робочої машини, можливими шкідливими речовинами у повітрі є пил та озон від комп'ютерного обладнання, яке використовується для моделювання. Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [31].

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимі концентрації (ГДК). ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони наведені у табл. 4.2

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимальна разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до [32] проектом передбачені такі рішення:

1. Вентиляцію дослідницьких приміщень;
2. Вентиляцію окремих робочих місць, для відвернення отруєння працюючих;
3. Технічні перерви для працюючих.

4.2.3. Виробниче освітлення

У приміщенні для проведення досліджень використовується штучне та природне освітлення.

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: природне освітлення – освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові пройми в зовнішніх огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (e_n). КПО – відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення.

Штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення - освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосоване до розташування обладнання.

Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місцеве освітлення - освітлення, яке створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Характеристика зорових робіт – Високої точності. Розряд зорової роботи – III, Підрозряд зорової роботи – а [33].

Таблиця 4.3 – Нормовані значення виробничого освітлення

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкту з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне $E_{н пр}$	Суміщене $E_{н сум}$
						всього	у т. ч. від загального		
Високої точності	Від 0,3 до 0,5	III	а	Малий	Темний	2000	200	3,0	1,2

Для забезпечення нормативного значення комбінованого освітлення:

1. Використання світлодіодних ламп, для забезпечення достатнього освітлення кожного робочого місця;
2. Наявність в виробничому приміщенні достатньої кількості вікон, для загального освітлення приміщень.
3. Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.

4.2.4. Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [34].

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)							
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Основні виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40

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

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового клімату) в приміщенні роботою передбачено:

1. Своєчасне проведення профілактичних робіт обладнання;
2. Зниження аеродинамічного шуму, причиною якого є робота системи вентиляції, здійснюється шляхом звукової ізоляції джерела;
3. Розміщення на шляху поширення звукових хвиль звукоізолюючого огороження у вигляді стін та перегородок.

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].

Приміщення ПАТ «Калинівський машинобудівний завод» за вибухонебезпечністю та пожежонебезпечністю відноситься до категорії Д (зниженопожежонебезпечна) – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-III (місця, за межами приміщень, де зберігаються тверді горючі речовини).

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 4.5.

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [40] наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.5 – 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

Таблиця 4.6 – 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 тамбура-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.7 (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 4.7. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.7 (знаменник) [40].

Таблиця 4.7 – 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 ПАТ «Калинівський машинобудівний завод» встановлено 51 вогнегасник ВВП-8 (ВП-5) [40].

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

В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи щодо розробки системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Калинівський машинобудівний завод» отримано наступні теоретичні та практичні положення.

В першому розділі дипломної роботи було проведено всебічний аналіз технологічних процесів і електроспоживання ПрАТ «КМЗ», що дозволило визначити вимоги до системи електропостачання підприємства з урахуванням його виробничої специфіки, встановити доцільність застосування електроприймачів II категорії надійності та обґрунтувати необхідність проектування енергопостачання з високим рівнем надійності, енергоефективності та потенціалом для подальшої модернізації.

В другому розділі роботи під час автоматизованої реалізації СЕП підприємства та механічного цеху здійснено наступні оптимальні проектні рішення:

Для цехової мережі проведено розрахунок навантаження. Здійснено вибір ліній живлення та захисної апаратури. Проведено перевірку вибраного обладнання, щодо селективного відключення струмів короткого замикання.

Спроектовано внутрішню мережу заводу на напрузі 10 кВ. Було обрано трансформатори марки ТМ – 1600/10. Для радіальної схеми живлення ТП від ГПП 10 кВ обрано кабелі типу АПвЭгаПу-10 перерізом 3х95 та 3х70 мм². Техніко-економічний розрахунок показав що зовнішнє живлення підприємства необхідно виконати на напрузі 35 кВ повітряними лініями АС 3х185 мм² шляхом спорудження на території підприємства ГПП з трансформаторами 2хТМ-6300/35.

Для визначення місця будівництва ГПП були розраховані координати центру енергетичного навантаження. Це дозволило встановити ГПП в оптимальному місці з мінімальними витратами електроенергії.

В науково-дослідній частині дипломної роботи в результаті аналізу встановлено, що значна частина навантаження на підприємстві формується за рахунок асинхронних електродвигунів металообробного обладнання, що мають низький коефіцієнт потужності ($\cos \varphi \approx 0,7-0,8$). Це призводить до зростання

струмів у мережі, збільшення втрат активної енергії та перевантаження трансформаторів.

На основі розрахункової математичної моделі визначено оптимальну потужність пристроїв компенсації реактивної потужності для кожного з трансформаторних підстанцій підприємства визначено, що на ПрАТ «КМЗ» доцільно застосовувати регульовані КУ типу УКРМ 0,4 відповідно до потужності вузла встановлення використовуємо наступні стандартні потужності батарей КУ [4]:

для ТП1: 2 КУ типу УКРМ 0,4-600-12-20-31УЗ, ціна якої 181 900 грн.;

для ТП2: 2 КУ типу УКРМ 0,4-600-12-20-31УЗ, ціна якої 181 900 грн.;

для ТП3: 2 КУ типу УКРМ 0,4-500-12-20-31УЗ, ціна якої 166 100 грн.;

для ТП4: 2 КУ типу УКРМ 0,4-300-12-10-31УЗ, ціна якої 116 000 грн.;

Розраховано термін окупності пристроїв КРП, який склав 1,77 років, це свідчить про те, що впровадження засобів КРП на підприємстві є технічно обґрунтованим і економічно доцільним рішенням, яке дозволяє забезпечити енергоефективну та стабільну роботу системи електропостачання.

У четвертому розділі проаналізовано стандарти охорони праці та електробезпеки на даному підприємстві.

Виконані розрахунки дозволять забезпечити максимально економічне електропостачання даного підприємства.

Дипломна робота розроблена з виконанням вимог ПУЕ та інших нормативних документів по надійності і якості електропостачання наведених в списку використаних джерел.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
2. Способи економії електроенергії на підприємстві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vinmayak.pat.ua/>, дата звернення: 16.05.2025.
3. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015. Настанова з проєктування систем електропостачання промислових підприємств. Київ : Мінрегіон України, 2015.
4. Офіційний сайт ПрАТ "Калинівський МБЗ" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kmbp.com.ua/>, дата звернення: 15.05.2025.
5. Савенко О. С. Удосконалення пристроїв компенсації реактивної потужності та методів управління ними : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03. Київ : Нац. ун-т біоресурсів і природокористування, 2021. 217 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 : Міненергосувугілля України, 2017. 617 с.
8. Тарифи ПАТ "Вінницяобленерго" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.voe.com.ua/consumers/individuals/fees>, дата звернення: 15.05.2021.
9. РТМ 36.18.32.4-92:1993. Методика розрахунку електричного навантаження. 9 с.
10. Промислові автоматичні вимикачі ЕВ та ЕВ2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eti.ua/produksiya-ua/etibreak/eb2/>, дата звернення: 16.05.2025.
11. Кабельно-провідникова продукція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produksiya-1189/>, дата звернення: 17.05.2025.
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. Бурбело М. Й. Спеціальні питання електропостачання : електронний навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2025. 89 с.
14. Демов О. Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2006. 95 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», 1999. 204 с.
17. Вимикачі навантаження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://001.com.ua/uk/vymykachi-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, 2025. 159 с.
22. Рогальський Б. С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. 236 с.
23. Камінський А. В., Мокін Б. І. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрального електричних мереж : монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 122 с.
24. Демов О. Д., Півнюк Ю. Ю. Оптимізація впровадження та використання компенсуючих 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. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.

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. 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
ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА
«КАЛИНІВСЬКИЙ МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД»



Рисунок А.1 – Генплан ПрАТ «Калинівський МБЗ»

Таблиця А1 – Електричні навантаження ПрАТ «Калинівський МБЗ»

№	Найменування	$P_{н}, \text{кВт}$
1	Складальний цех	5160
2	Механічний цех	6000
3	Заготівельний цех	1080
4	Адміністративно-побутовий корпус	96
5	Будівля ЦТНС	27,6
6	Ковальсько-пресова дільниця	936
7	Інструментальний цех	720
8	Гальванічна дільниця	300
9	Експериментальний цех	192
10	Котельня	48
11	Цех товарів народного споживання	360
12	Насосна станція	14,4
13	Відділ головного механіка	256,8
14	Ливарний цех	1428
15	Нафтова ловушка	2,88
16	Транспортна дільниця	21,6
17	Компресорна станція	33,6
18	Газорозподільний пункт	1,8

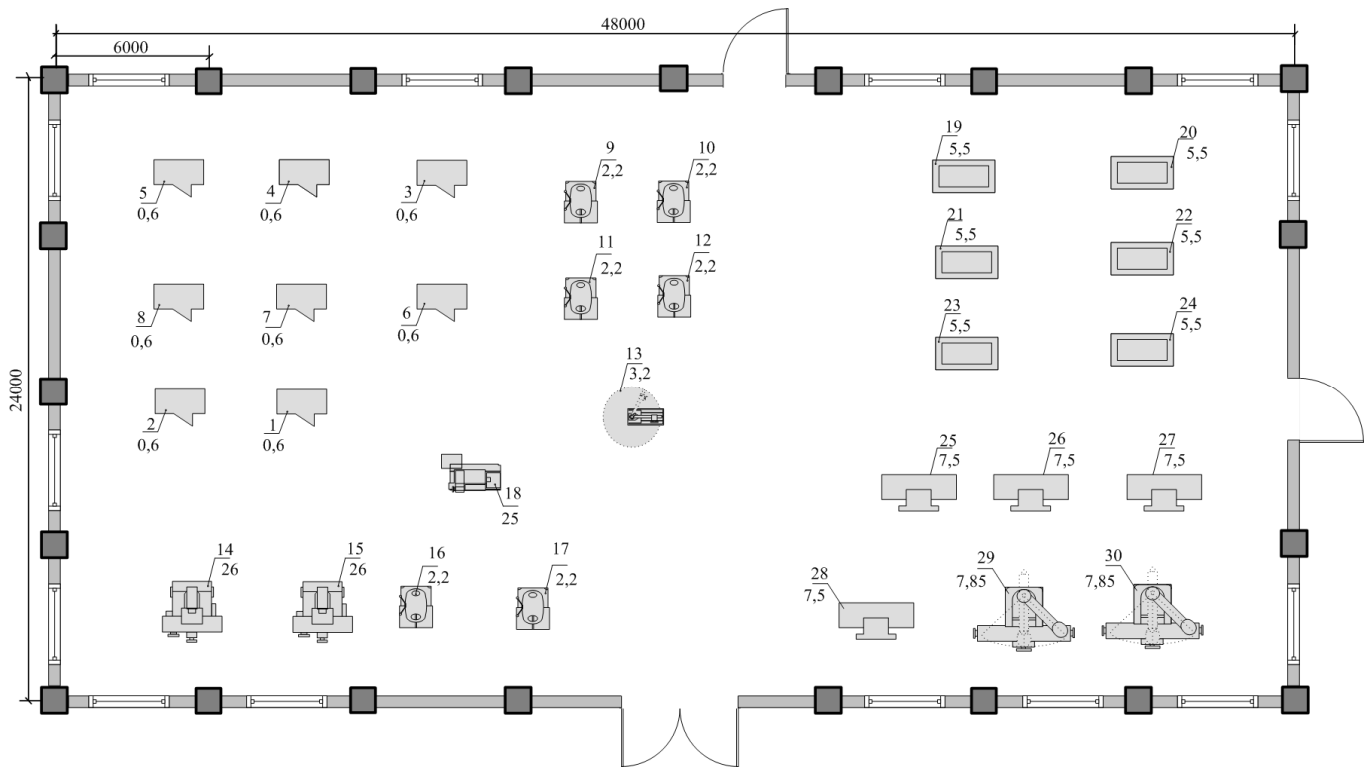


Рисунок А.2 – План розташування електроприймачів в цеху

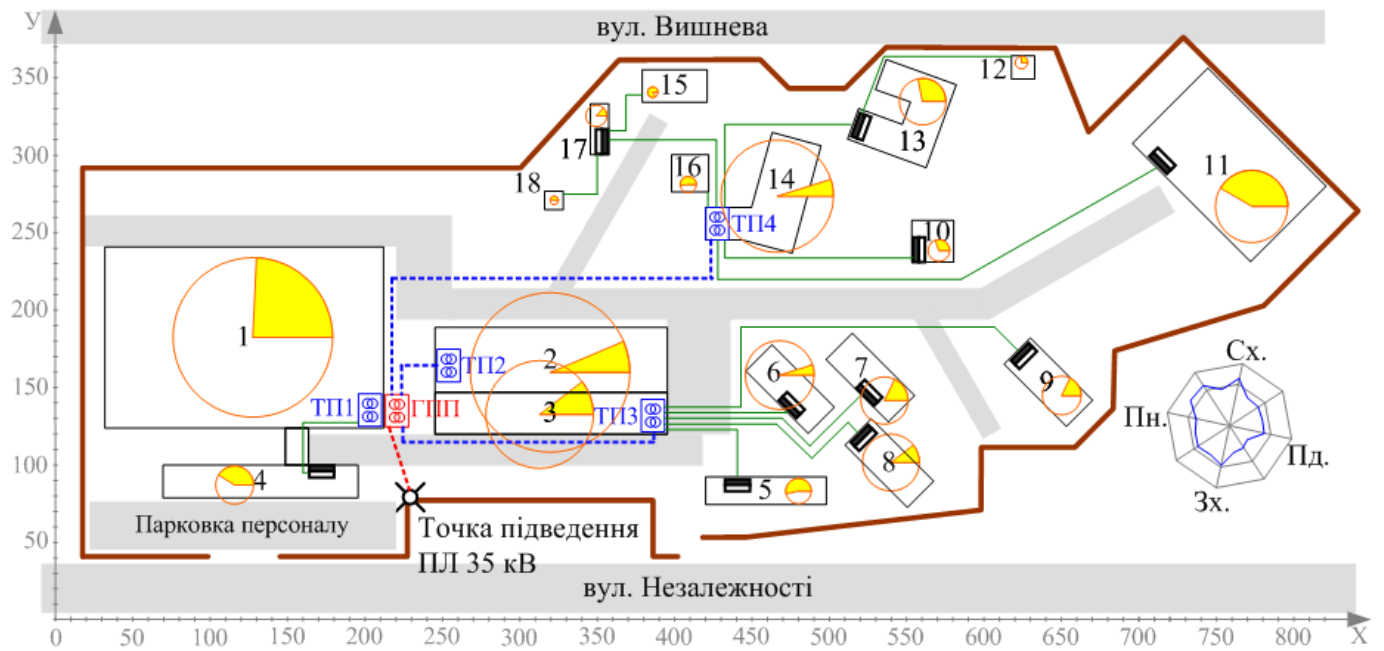
Таблиця А.2 – Відомості про електричні навантаження цеху

№ на плані	Назва обладнання	$P_{\text{н}}, \text{кВт}$
1-8	Настольно-свердлильні верстати	0,6
9-12	Вертикально-свердлильні верстати	2,2
13	Свердлильний верстат	3,2
14-15	Шліфувальні верстати	26
16-17	Вертикально-свердлильні верстати	2,2
18	Токарний верстат	25
19-24	Слюсарні верстати	5,5
26-28	Поперечно-стругальні верстати	7,5
29-30	Фрезерні верстати	7,85

Додаток Б ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА
«КАЛИНІВСЬКИЙ МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД»

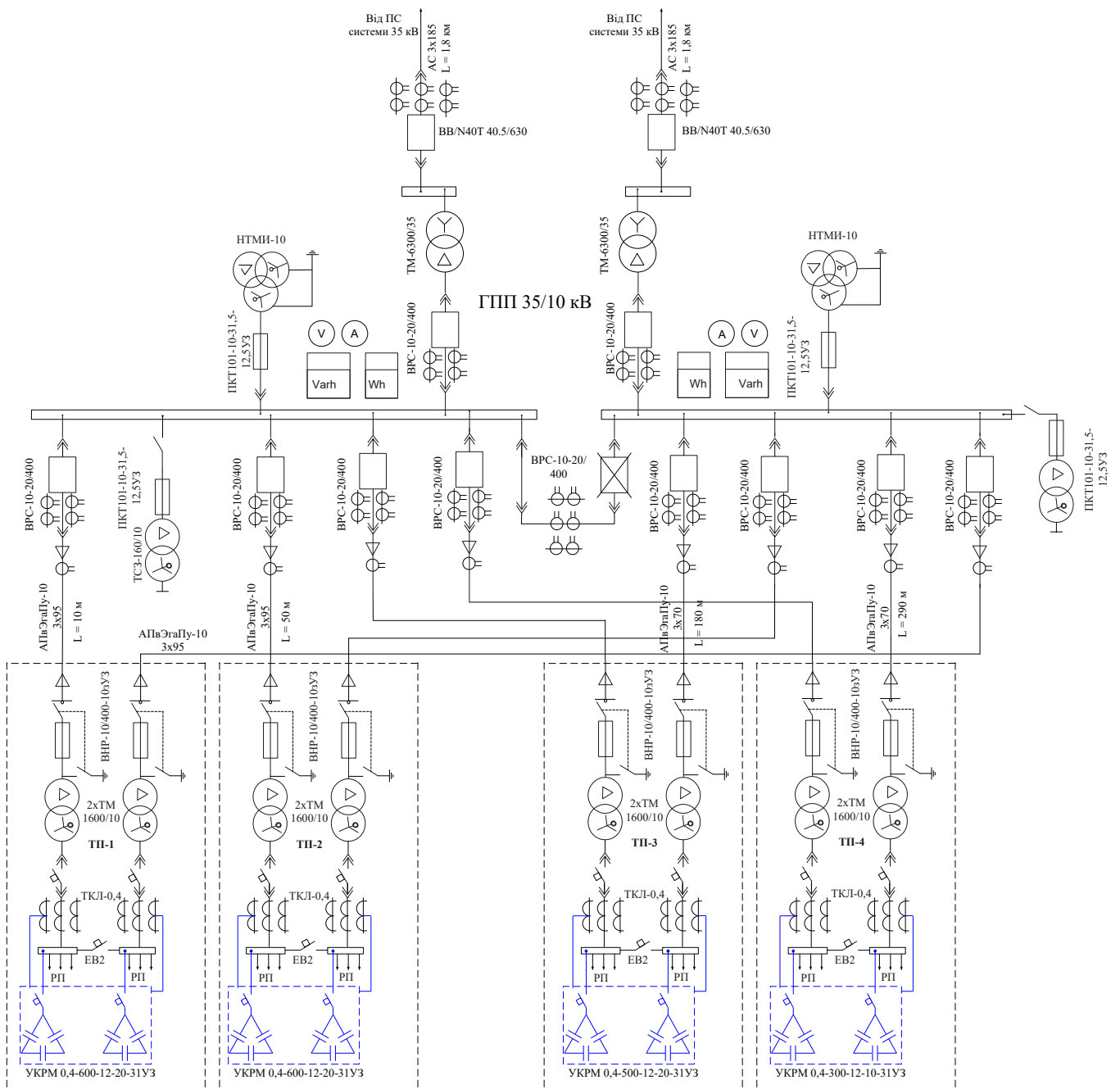
План підприємства із силовими розподільчими, та живильними мережами



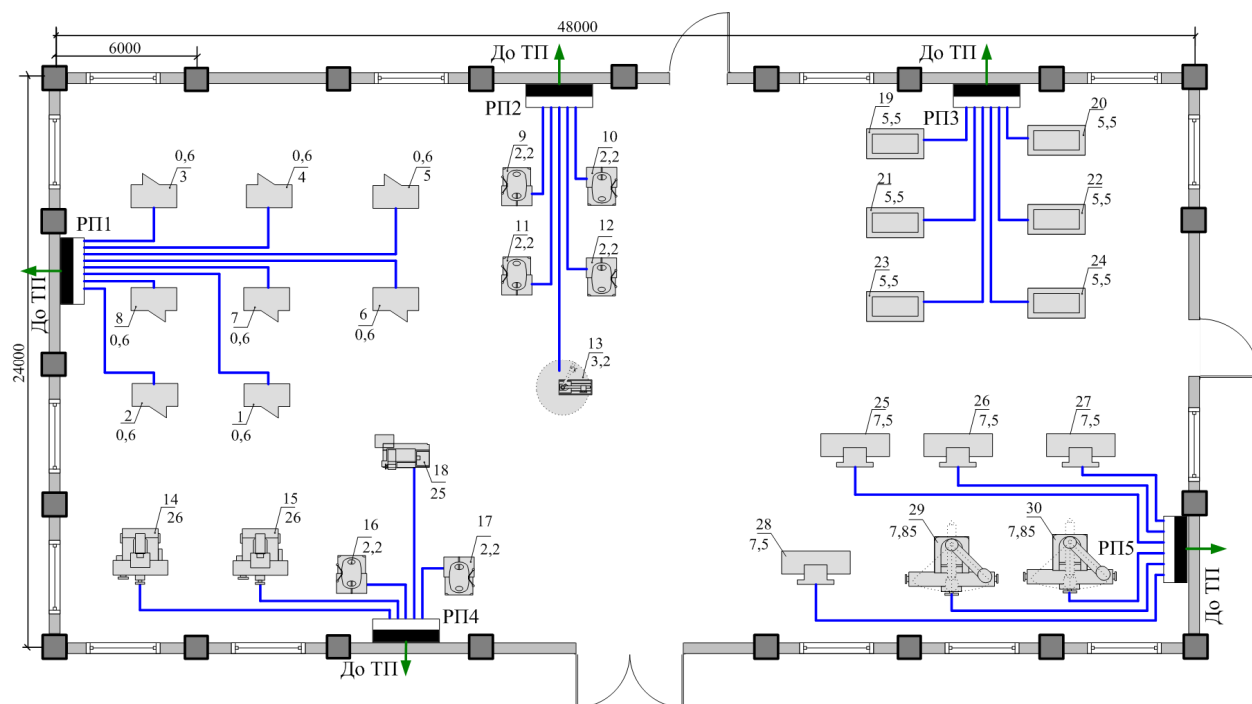
Умовні позначення

	Двотрансформаторна ТП		ПЛ 35 кВ
	РП 0,4 кВ		КЛ 10 кВ
	Точка підведення зовнішньої ПЛ		КЛ 0,4 кВ

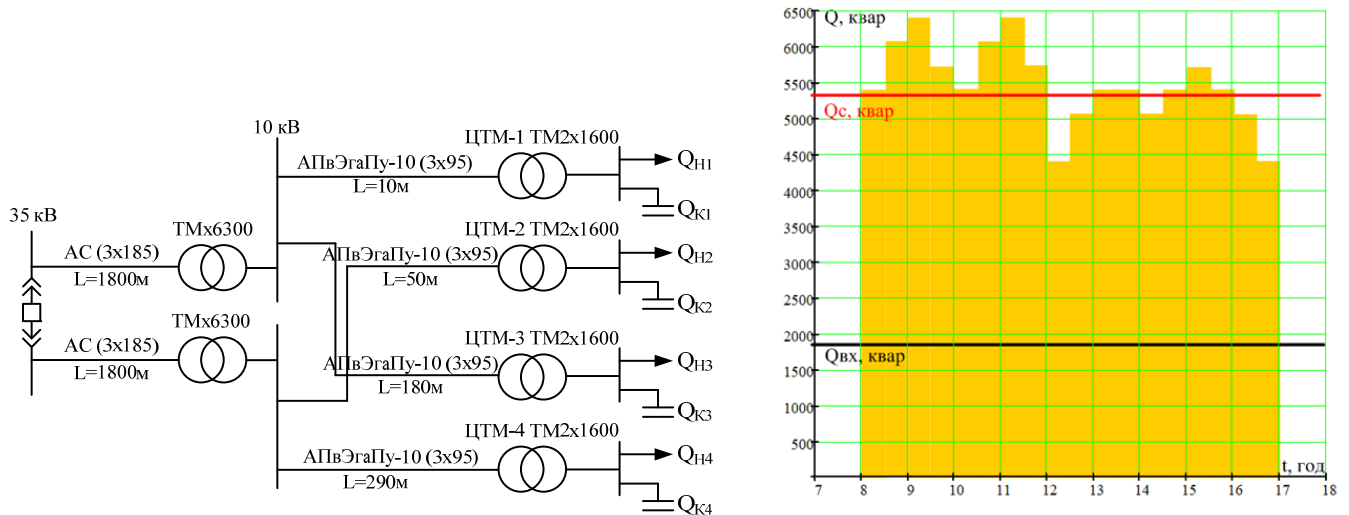
Однолінійна схема електропостачання підприємства



План електропостачання цеху



Оптимальна потужність пристроїв КРП



Однолінійна схема СЕС та добовий графік РП на ЦРП до КРП

Напруга, кВ:	U := 10
Вхідна реактивна потужність, квар:	q _{вх} := 1850
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень	E _а := 0.1
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію	E _д := 0.04
Питома вартість КУ	B _{к0} := 100
Питомі втрати реактивної потужності в КУ, кВт/Мвар	ΔP _к := 4.5
Питома вартість втрат активної потужності, грн/кВт	Bo := 22679.3
Питомі активні опори ліній живлення, Ом/км	r ₀₁ := 0.32 r ₀₂ := 0.32 r ₀₃ := 0.443 r ₀₄ := 0.443
Довжини ліній від ЦРП до ЦТП, км	L _{кн1} := 0.01 L _{кн2} := 0.05 L _{кн3} := 0.180 L _{кн4} := 0.290
Опори трансформаторів, Ом	r _{т1} := 0.7 r _{т2} := r _{т1} r _{т3} := r _{т1} r _{т4} := r _{т1}
Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар:	q _{н1} := 1686.4 + 41.66 = 1728.06 q _{н2} := 1920.8 + 41.67 = 1962.47 q _{н3} := 1414.3 + 41.65 = 1455.95 q _{н4} := 931.2 + 41.63 = 972.83
Довільні початкові потужності БК у вузлах навантаження, квар:	q _{к1} := 100 q _{к2} := 100 q _{к3} := 100 q _{к4} := 100
Довжина та питомий опір лінії живлення:	L _ж := 1.8 + 50 r _{к0} := 0.158
Опір зовнішньої лінії живлення, Ом	r _ж := L _ж · r _{к0} = 8.184
Опір трансформаторів ГПП, Ом	r _т := 0.1
Опір розподільних ліній живлення, Ом	r _{н1} := r ₀₁ · L _{кн1} = 0.003 r _{н3} := r ₀₃ · L _{кн3} = 0.08 r _{н2} := r ₀₂ · L _{кн2} = 0.016 r _{н4} := r ₀₄ · L _{кн4} = 0.128

Модель балансової задачі компенсації реактивних навантажень

$$3(q_{k1} \cdot q_{k2} \cdot q_{k3} \cdot q_{k4}) := \frac{Bo}{U^2 \cdot 1000} \left[\begin{aligned} & (q_{n1} - q_{k1})^2 \cdot \left(\frac{r_{t1} + r_{n1}}{2} \right) \dots \\ & + (q_{n2} - q_{k2})^2 \cdot \left(\frac{r_{t2} + r_{n2}}{2} \right) \dots \\ & + (q_{n3} - q_{k3})^2 \cdot \left(\frac{r_{t3} + r_{n3}}{2} \right) \dots \\ & + (q_{n4} - q_{k4})^2 \cdot \left(\frac{r_{t4} + r_{n4}}{2} \right) \dots \\ & + \left(q_{n1} + q_{n2} + q_{n3} \dots \right. \\ & \left. + q_{n4} - q_{k1} - q_{k2} - q_{k3} - q_{k4} \right)^2 \cdot \frac{r_{ж} + r_{т}}{2} \end{aligned} \right] + [(E_a + E_d) \cdot B_{k0} + Bo \cdot \Delta P_k] \cdot (q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4})$$

Given
обмеження

$$q_{k1} \geq 0 \quad q_{k2} \geq 0 \quad q_{k3} \geq 0 \quad q_{k4} \geq 0$$

$$(q_{n1} + q_{n2} + q_{n3} + q_{n4}) - (q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4}) = q_{вх}$$

Визначаємо оптимальне проектне рішення:

$$q_k := \text{Minimize}(3, q_{k1}, q_{k2}, q_{k3}, q_{k4}) = \begin{pmatrix} 1232.393 \\ 1475.713 \\ 1009.005 \\ 552.199 \end{pmatrix}$$

Річні приведені затрати, грн

$$3(q_{k1} \cdot q_{k2} \cdot q_{k3} \cdot q_{k4}) = 439060320.668$$

Перевірка, квар

$$(q_{n1} + q_{n2} + q_{n3} + q_{n4}) - (q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4}) = 1850.001 \quad q_{вх} = 1850$$

Вигляд розрахунку задачі КРН в середовищі MathCad

для ТП1: 2 КУ типу УКРМ 0,4-600-12-20-31УЗ, ціна якого 181 900 грн.;

для ТП2: 2 КУ типу УКРМ 0,4-600-12-20-31УЗ, ціна якого 181 900 грн.;

для ТП3: 2 КУ типу УКРМ 0,4-500-12-20-31УЗ, ціна якого 166 100 грн.;

для ТП4: 2 КУ типу УКРМ 0,4-300-12-10-31УЗ, ціна якого 116 000 грн.;

Результат використання пристроїв КРП на підприємства

Втрати електроенергії в лініях до встановлення БСК

Лінія	Марка кабелю	N, шт.	L, км	I _м , А	R _{пит} , Ом/км	R, Ом	τ, год./рік	ΔE _л , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,01	71,5	0,32	0,0032	3410,93	334,79
ЦРП-ТП-2	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,05	75,8	0,32	0,016	3410,93	1879,25
ЦРП-ТП-3	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,18	62,6	0,443	0,07974	3410,93	6391,52
ЦРП-ТП-4	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,29	49,1	0,443	0,12847	3410,93	6334,52
Разом								14940,08

Втрати електроенергії в лініях після встановлення БСК

Лінія	Марка кабелю	N, шт.	L, км	I _м , А	R _{пит} , Ом/км	R, Ом	τ, год./рік	ΔE _л , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,01	53,4	0,32	0,0032	3410,93	187,04
ЦРП-ТП-2	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,05	54,9	0,32	0,016	3410,93	986,97
ЦРП-ТП-3	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,18	48,2	0,443	0,07974	3410,93	3791,45
ЦРП-ТП-4	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,29	41,7	0,443	0,12847	3410,93	4565,51
Разом								9530,96

Втрати енергії в трансформаторах до встановлення БСК

№	Тип	шт	ΔP _х , кВт	ΔP _к , кВт	S _р , кВА	S _н , кВА	ΔE _т , кВт·год./рік
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	2476,79	1600	122617,85
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	2624,28	1600	131640,17
КТП-3	ТМ-1600	2	2,8	18	2167,92	1600	105414,63
КТП-4	ТМ-1600	2	2,8	18	1700,34	1600	83725,25
разом							443397,9

Втрати енергії в трансформаторах після встановлення БСК

№	Тип	шт	ΔP _х , кВт	ΔP _к , кВт	S _р , кВА	S _н , кВА	ΔE _т , кВт·год./рік
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	1851,25	1600	90152,60
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	1901,82	1600	92428,66
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	1669,72	1600	82487,98
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	1443,52	1600	74043,32
разом							339112,57

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

$$E = 14940,08 + 443397,9 = 458337,98 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$E_{\text{КРП}} = 9530,96 + 339112,57 = 348643,53 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$\Delta E = 458337,98 - 348643,53 = 109694,45 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Термін окупності пристроїв КРП:

$$T_o = \frac{B_{\text{БСК}}}{c \cdot \Delta E} = \frac{4 \cdot 181900 + 2 \cdot 166100 + 2 \cdot 116000}{6,649 \cdot 109694,45} = \frac{1291800}{729358,4} = 1,77 \text{ (років)}.$$

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

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА
«КАЛИНІВСЬКИЙ МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД»

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Розробка системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Калинівський машинобудівний завод»

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 80% Схожість 20%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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

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

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

Автор роботи _____ Гуліватий В.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Войтюк Ю.П.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Додаток Г ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА
«КАЛИНІВСЬКИЙ МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД»**

Розробка системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Калинівський машинобудівний завод»

Гуліватий Віталій Олександрович

Спеціальність 141 -“Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”

Науковий керівник:

Войтюк Юрій Петрович ,

кандидат технічних наук, доцент

Мета та задачі бакалаврської дипломної роботи

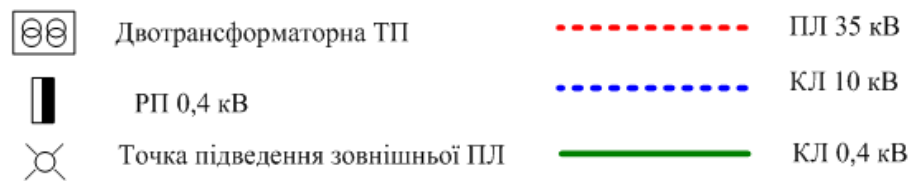
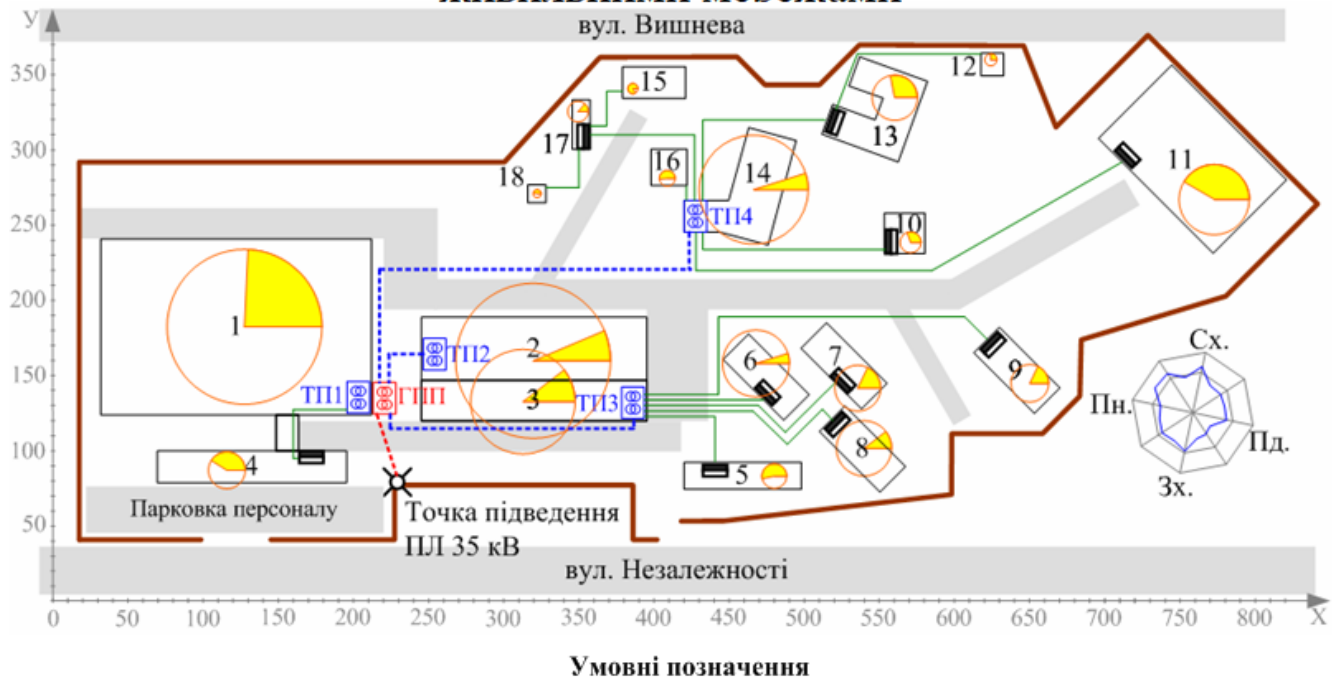
Мета роботи: розробка системи електропостачання підприємства.

Наукова новизна. Удосконалено СЕП підприємства за допомогою впровадження новітнього високоекономічного обладнання. Основним результатом наукової роботи є дослідження ефективності використання компенсації реактивної потужності для підвищення ефективності роботи СЕП підприємства шляхом зменшення втрат та покращення якості електроенергії. Для цього розраховано оптимальну потужність пристроїв КРП та місця їх встановлення на основі аналізу електроспоживачів та добового графіка навантаження підприємством реактивної потужності. Визначено економічний ефект від встановлення засобів КРП.

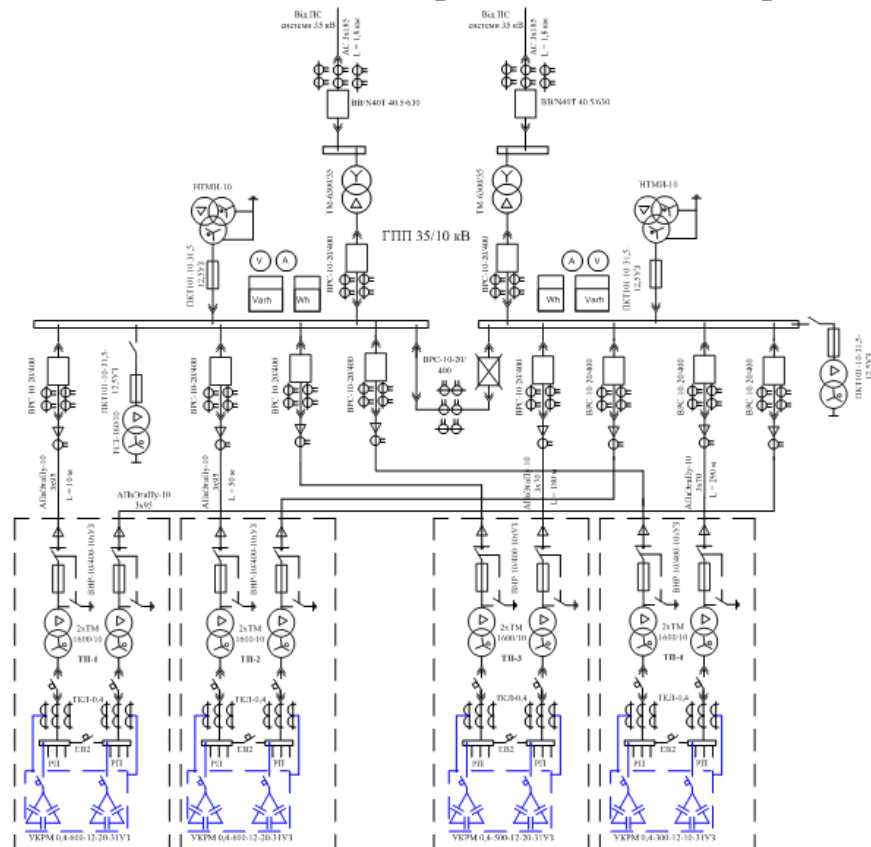
Практична цінність. Отримані результати проектних рішень та технічних заходів можуть бути використані для реалізації оптимізації СЕП підприємства, що дає змогу підвищення економічності процесу споживання електроенергії.

Задачі дослідження. В ході виконання дослідження необхідно проаналізувати конфігурацію надійної та економічної системи електропостачання на підприємстві та технічні рішення щодо заходів охорони праці.

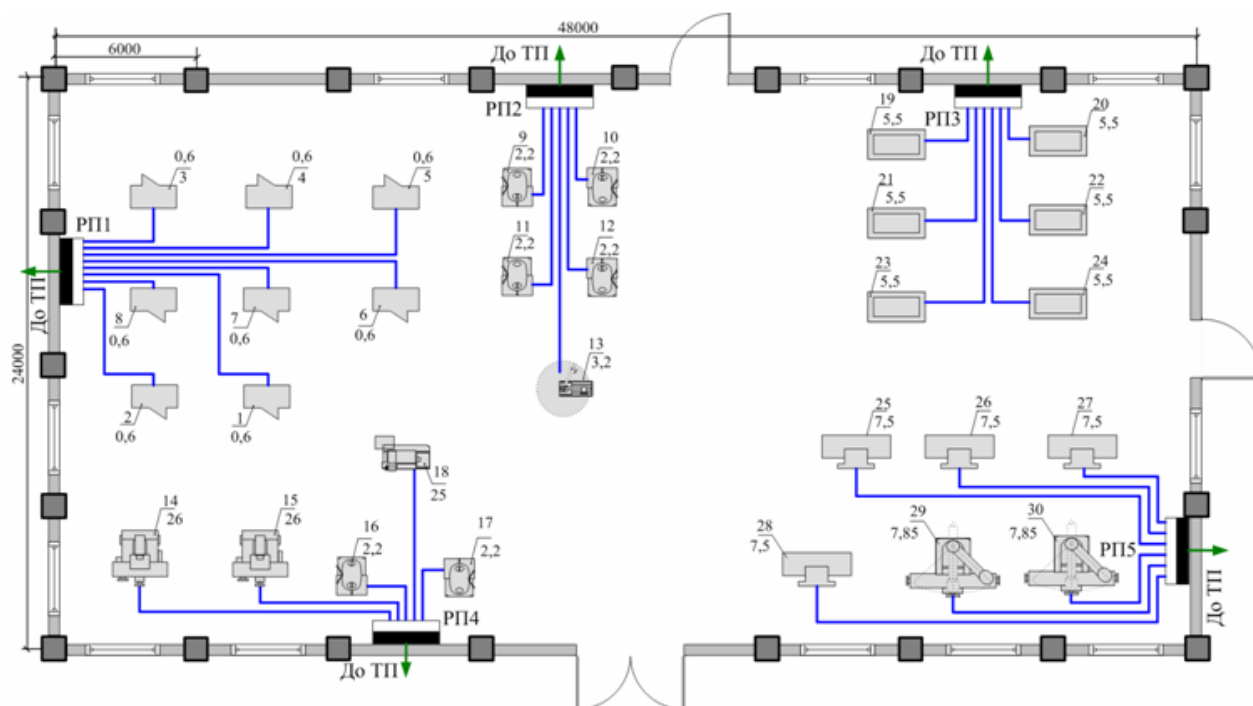
План підприємства із силовими розподільчими, та живильними мережами



Однолінійна схема електропостачання підприємства



План електропостачання цеху

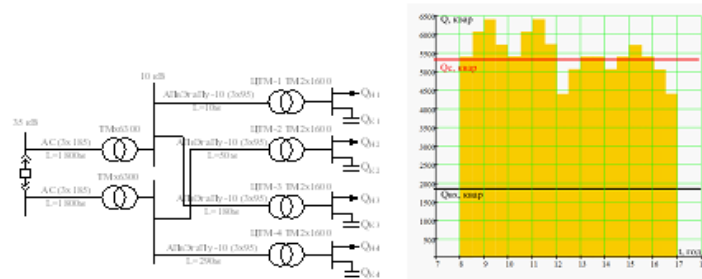


Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху

ТП	Захист					Розподільча лінія				РП
	Тип АВ	Ін. А	Ін розч. А	Іс. в. А	Ір. А	Прокладання	Марка ЛК	Переріз ЛК	Ізоп. А	
○	EB2 250-3E 125A	125	125	700	2,9	В землі	АВВГ	4x50	132	РП1
○	EB2 250-3E 125A	125	125	700	8,3	В землі	АВВГ	4x50	132	РП2
○	EB2 250-3E 160A	160	160	800	63,8	В землі	АВВГ	4x70	165	РП3
○	EB2 250-3E 125A	125	125	700	19,2	В землі	АВВГ	4x50	132	РП4
○	EB2 250-3E 125A	125	125	700	26	В землі	АВВГ	4x50	132	РП5

РП	Захист				Розподільча лінія				ЕП			№	Найменування ЕП
	Тип АВ	Ін. А	Ін. розч. А	Іс. в. А	Ір. А	Прокладання	Марка ЛК	Переріз ЛК	Ізоп. А	Ізуск. А	Рн, кВт		
○	EB 100/3L 50A	50	50	300	3,1	Відкрито	АВВГ	4x16	62	15,5	0,6	1--8	Настільно-свердильний верстат
○	EB 100/3L 50A	50	50	300	11,5	Відкрито	АВВГ	4x16	62	57,3	2,2	9--12	Вертикально-свердильний верстат
○	EB 100/3L 50A	50	50	300	9,5	Відкрито	АВВГ	4x16	62	47,5	3,2	13	Свердильний верстат
○	EB 100/3L 100A	100	100	500	90,3	Відкрито	АВВГ	4x50	117	451,5	26	14--15	Шліфувальний верстат
○	EB 100/3L 50A	50	50	300	11,5	Відкрито	АВВГ	4x16	62	57,3	4,4	16--17	Вертикально-свердильний верстат
○	EB 100/3L 100A	100	100	500	86,8	Відкрито	АВВГ	4x50	117	449	25	18	Токарний верстат
○	EB 100/3L 50A	50	50	300	19,1	Відкрито	АВВГ	4x16	62	95,5	5,5	19--24	Станочний верстат
○	EB 100/3L 50A	50	50	300	26	Відкрито	АВВГ	4x16	62	130	7,5	24--28	Поперечно-срутувальні верстати
○	EB 100/3L 50A	50	50	300	40,9	Відкрито	АВВГ	4x16	62	204,5	7,85	29, 30	Фрезерні верстати

Оптимальна потужність пристроїв КРП



Однолінійна схема СЕП та добовий графік РП на ЦРП до КРП

Напруга, кВ	U = 10	Модель балансової задачі компенсації реактивних навантажень
Вид реактивної потужності, вар	$Q_{\text{кр}} = 1850$	$\sum (Q_{k1} + Q_{k2} + Q_{k3} + Q_{k4}) = \frac{B_0}{U^2} 1000 \left[\begin{aligned} & (q_{k1} + q_{k2})^2 \left(\frac{r_{k1} + r_{k2}}{2} \right) + \\ & + (q_{k2} + q_{k3})^2 \left(\frac{r_{k2} + r_{k3}}{2} \right) + \\ & + (q_{k3} + q_{k4})^2 \left(\frac{r_{k3} + r_{k4}}{2} \right) + \\ & + (q_{k4} + q_{k1})^2 \left(\frac{r_{k4} + r_{k1}}{2} \right) + \\ & + \left(\frac{q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4}}{2} \right)^2 \left(\frac{r_{k1} + r_{k2} + r_{k3} + r_{k4}}{2} \right) \end{aligned} \right]$
Коефіцієнт ефективності компенсації	$K_{\text{е}} = 0.1$	Граничні обмеження
Коефіцієнт відшкодування за аварізацію	$K_{\text{а}} = 0.04$	$Q_{k1} \geq 0$ $Q_{k2} \geq 0$ $Q_{k3} \geq 0$ $Q_{k4} \geq 0$
Потім користь КУ	$R_{\text{к}} = 100$	$(q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4}) - (q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4}) = Q_{\text{кр}}$
Потім користь реактивної потужності в КУ, кВт/вар	$\Delta R_{\text{к}} = 4.3$	Випадково оптимізаційне рішення:
Потім користь вартості активної потужності, грн/кВт	$B_0 = 22879.3$	$Q_{\text{кр}} = \text{Minimize} (3 \cdot q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4}) =$
Потім активна опора ліній електропостачання, Ом/км	$r_{k1} = 0.32$ $r_{k2} = 0.32$ $r_{k3} = 0.443$ $r_{k4} = 0.443$	$\begin{pmatrix} 1232.393 \\ 1475.713 \\ 1009.005 \\ 552.199 \end{pmatrix}$
Довжина ліній від ЦРП до ЦТП, км	$l_{k1} = 0.01$ $l_{k2} = 0.05$ $l_{k3} = 0.183$ $l_{k4} = 0.29$	Результативні запити, грн
Операційні витрати, грн	$q_{k1} = 0.7$ $q_{k2} = 0.7$ $q_{k3} = 0.7$ $q_{k4} = 0.7$	$\sum (q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4}) = 439060320.668$
Реактивна потужність у вузлах навантажень, вар	$Q_{k1} = 1866.4 + 41.68 + 1728.06$ $Q_{k2} = 1803.8 + 41.67 + 1942.47$	Перевірка, кВар
$Q_{k3} = 1404.3 + 41.65 + 1455.91$ $Q_{k4} = 991.2 + 41.65 + 972.82$	$Q_{k1} = 100$ $Q_{k2} = 100$ $Q_{k3} = 100$ $Q_{k4} = 100$	$(q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4}) - (q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4}) = 1850.001$ $Q_{\text{кр}} = 1850$
Довжина та потужність опори ліній електропостачання:	$q_{\text{к}} = 1.8 + 76$ $q_{\text{к}} = 0.158$	
Операційні витрати ліній електропостачання, грн	$q_{\text{к}} = 1.8 + 76$ $q_{\text{к}} = 0.158$	
Операційні витрати ЦТП, грн	$q_{\text{к}} = 1.8 + 76$ $q_{\text{к}} = 0.158$	
Операційні витрати ліній електропостачання, грн	$q_{\text{к}} = 1.8 + 76$ $q_{\text{к}} = 0.158$	
Операційні витрати ліній електропостачання, грн	$q_{\text{к}} = 1.8 + 76$ $q_{\text{к}} = 0.158$	

Вигляд розрахунку задачі КРН в середовищі MathCad

для ТП1: 2 КУ типу УКРМ0,4-600-12-20-31УЗ, ціна якого 181 900 грн.;

для ТП2: 2 КУ типу УКРМ0,4-600-12-20-31УЗ, ціна якого 181 900 грн.;

для ТП3: 2 КУ типу УКРМ0,4-500-12-20-31УЗ, ціна якого 166 100 грн.;

для ТП4: 2 КУ типу УКРМ0,4-300-12-10-31УЗ, ціна якого 116 000 грн.;

Результат використання пристроїв КРП на підприємства

Втрати електроенергії в лініях до встановлення БСК

Лінія	Марка кабелю	N, шт.	L, км	I _н , А	R _{ліній} , Ом/км	R, Ом	τ, год./рік	ΔE _л , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,01	53,4	0,32	0,0032	3410,93	187,04
ЦРП-ТП-2	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,05	54,9	0,32	0,016	3410,93	986,97
ЦРП-ТП-3	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,18	48,2	0,443	0,07974	3410,93	3791,45
ЦРП-ТП-4	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,29	41,7	0,443	0,12847	3410,93	4565,51
Разом								14940,08

Втрати електроенергії в лініях після встановлення БСК

Лінія	Марка кабелю	N, шт.	L, км	I _н , А	R _{ліній} , Ом/км	R, Ом	τ, год./рік	ΔE _л , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,01	53,4	0,32	0,0032	3410,93	187,04
ЦРП-ТП-2	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,05	54,9	0,32	0,016	3410,93	986,97
ЦРП-ТП-3	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,18	48,2	0,443	0,07974	3410,93	3791,45
ЦРП-ТП-4	АПвЭгаПу-10 3х70	2	0,29	41,7	0,443	0,12847	3410,93	4565,51
Разом								9530,96

Втрати енергії в трансформаторах до встановлення БСК

N	Тип	шт.	ΔP _н , кВт	ΔP _к , кВт	S _н , кВА	S _к , кВА	ΔE _т , кВт·год./рік
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	2476,79	1600	122617,85
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	2624,28	1600	131640,17
КТП-3	ТМ-1600	2	2,8	18	2167,92	1600	105414,63
КТП-4	ТМ-1600	2	2,8	18	1700,34	1600	83725,25
разом							443397,9

Втрати енергії в трансформаторах після встановлення БСК

N	Тип	шт.	ΔP _н , кВт	ΔP _к , кВт	S _н , кВА	S _к , кВА	ΔE _т , кВт·год./рік
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	1851,25	1600	90152,80
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	1901,82	1600	92428,66
КТП-3	ТМ-1600	2	2,8	18	1669,72	1600	82487,98
КТП-4	ТМ-1600	2	2,8	18	1443,52	1600	74043,32
разом							339112,37

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

$$E = 14940,08 + 443397,9 = 458337,98 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$E_{\text{крп}} = 9530,96 + 339112,37 = 348643,33 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$\Delta E = 458337,98 - 348643,33 = 109694,65 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Термін окупності пристроїв КРП:

Висновки по роботі

В науково-дослідній частині дипломної роботи в результаті аналізу встановлено, що значна частина навантаження на підприємстві формується за рахунок асинхронних електродвигунів металообробного обладнання, що мають низький коефіцієнт потужності ($\cos \varphi \approx 0,7-0,8$). Це призводить до зростання струмів у мережі, збільшення втрат активної енергії та перевантаження трансформаторів.

На основі розрахункової математичної моделі визначено оптимальну потужність пристроїв компенсації реактивної потужності для кожного з трансформаторних підстанцій підприємства визначено, що на ПрАТ «КМЗ» доцільно застосовувати регульовані КУ типу УКРМ 0,4 відповідно до потужності вузла встановлення використовуємо наступні стандартні потужності батарей КУ [4]:

для ТП1: 2 КУ типу УКРМ 0,4-600-12-20-31УЗ, ціна якої 181 900 грн.;

для ТП2: 2 КУ типу УКРМ 0,4-600-12-20-31УЗ, ціна якої 181 900 грн.;

для ТП3: 2 КУ типу УКРМ 0,4-500-12-20-31УЗ, ціна якої 166 100 грн.;

для ТП4: 2 КУ типу УКРМ 0,4-300-12-10-31УЗ, ціна якої 116 000 грн.;

Розрахований термін окупності пристроїв КРП менший за нормоване значення, що свідчить про економічну доцільність їх використання.

Розраховано термін окупності пристроїв КРП, який склав 1,77 років, це свідчить про те, що впровадження засобів КРП на підприємстві є технічно обґрунтованим і економічно доцільним рішенням, яке дозволяє забезпечити енергоефективну та стабільну роботу системи електропостачання

Виконані розрахунки дозволять забезпечити максимально економічне електропостачання даного підприємства.