

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

менеджменту


## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

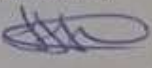
на тему:

**Оптимізація системи електропостачання  
Товариства з обмеженою відповідальністю "Панда"**

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕМ-20м  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

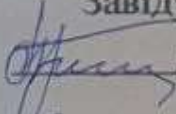
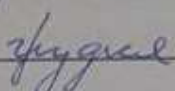
  
\_\_\_\_\_  
Доценко А.Д.  
(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., проф. каф. ЕСЕЕМ  
\_\_\_\_\_  
Бурбело М.Й.  
(прізвище та ініціали)  
« 8 » \_\_\_\_\_ 2023 р.  


Опонент:  
\_\_\_\_\_  
доцент каф. ЕСС Петровський В.В.  
(прізвище та ініціали)  
« 11 » \_\_\_\_\_ 2023 р. 

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

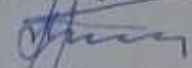
  
\_\_\_\_\_  
д.т.н., проф. Бурбело М.Й.  
(прізвище та ініціали)  
« 8 » \_\_\_\_\_ 2023 р.  


Вінниця – 2023 року

Вінницький національний технічний університет  
Факультет Електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ЕСЕЕМ**

 проф. М. Й. Бурбело

“19” вересня 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**  
Доценку Антону Дмитровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю “Панда”

керівник роботи Бурбело Михайло Йосипович д.т.н., проф. каф. ЕСЕЕМ

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “18” вересня 2023 року № 247

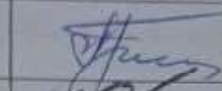





2. Термін подання студентом роботи “11” грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Генплан підприємства; відомості про особливості технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Визначення оптимальних параметрів системи електропостачання. Впровадження регульованого електроприводу. Моделювання роботи системи ПЧ-АД. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
План підприємства із силовими та живильними мережами. Однолінійна схема електропостачання підприємства. Основні техніко-економічні показники системи електропостачання. Швидкісні та перехідні характеристики розробленого електроприводу.

6. Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Бурбело М.Й., д.т.н., проф., каф. ЕСЕМ		
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання 19.09.2023 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика підприємства та технологічного процесу	30.09.23	
2	Синтез зовнішньої СЕП	15.10.23	
3	Науково дослідна частина	30.10.23	
4	Синтез результатів наукової роботи	15.10.23	
5	Економічна частина	30.10.23	
6	Охорона праці	30.10.23	
7	Графічна частина	05.11.23	

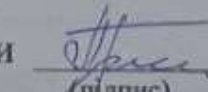
Студент

  
(підпис)

Доценко А.Д.

(прізвище та ініціали)


Керівник роботи

  
(підпис)

Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

Н. контроль

  
Войтук Ю.Л.

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МЕНЕДЖМЕНТУ

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

### Оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю “Панда”

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕМ-20м  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

\_\_\_\_\_  
Доценко А.Д.

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., проф. каф. ЕСЕМ

\_\_\_\_\_  
Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

«  » \_\_\_\_\_ 2023 р.

Опонент:

\_\_\_\_\_.

(прізвище та ініціали)

«  » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри ЕСЕМ

\_\_\_\_\_  
д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

«  » \_\_\_\_\_ 2023 р.

Вінниця – 2023 року



Вінницький національний технічний університет  
Факультет Електроенергетики та електромеханіки.  
Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ЕСЕМ**

проф. М. Й. Бурбело

“19” вересня 2023 року

**ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Доценку Антону Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю “Панда”  
керівник роботи Бурбело Михайло Йосипович д.т.н., проф. каф. ЕСЕМ

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “18” вересня 2023 року № 247

2. Термін подання студентом роботи “11” грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Генплан підприємства; відомості про особливості технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Визначення оптимальних параметрів системи електропостачання. Впровадження регульованого електроприводу. Моделювання роботи системи ПЧ-АД. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
План підприємства із силовими та живильними мережами. Однолінійна схема електропостачання підприємства. Основні техніко-економічні показники системи електропостачання. Швидкісні та перехідні характеристики розробленого електроприводу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Бурбело М.Й., д.т.н., проф., каф. ЕСЕМ		
Економічна частина	Шулє Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання 19. 09. 2023 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика підприємства та технологічного процесу	30.09.23	
2	Синтез зовнішньої СЕП	15.10.23	
3	Науково дослідна частина	30.10.23	
4	Синтез результатів наукової роботи	15.10.23	
5	Економічна частина	30.10.23	
6	Охорона праці	30.10.23	
7	Графічна частина	05.11.23	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Доценко А.Д.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Бурбело М.Й.  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	5
ВСТУП.....	7
1 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ .....	9
1.1 Характеристика підприємства .....	9
1.2 Розрахунок електричних навантажень підприємства .....	11
1.3 Оптимізація проектування трансформаторних підстанцій .....	13
1.4 Визначення оптимального перерізу ліній живлення.....	18
1.5 Вибір високовольтних вимикачів та роз'єднувачів .....	18
1.6 Перевірка вибраного електрообладнання 10 кВ.....	19
1.7 Моделювання і оптимізація вибору місця розташування ЦРП .....	21
2 ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	25
2.1 Напрямки оптимізації СЕП.....	25
2.2 Розрахунок потужності конденсаторних батарей .....	29
2.3 Релейний захист автомата.....	32
3 ВПРОВАДЖЕННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ .....	35
3.1 Актуальність проблеми для СЕП підприємства .....	35
3.2 Вибір силового перетворювача для живлення приводного двигуна .....	38
3.3 Перевірка двигуна електроприводу .....	41
3.4 Моделювання статичних характеристик .....	43
3.5 Розробка перехідних процесів при роботі системи управління.....	46
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	49
4.1 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання .....	50
4.2 Розрахунок поточних витрат .....	51
4.2.1 Вибір системи освітлення .....	51
4.2.2 Розрахунок витрат по заробітній платі.....	53
4.2.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються .....	56
4.2.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат .....	57
4.3 Розрахунок собівартості електроенергії.....	58

4.3.1 Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію .....	58
4.3.2 Розрахунок собівартості електроенергії.....	61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	63
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта .....	63
5.1.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації робочих місць .....	63
5.1.2 Електробезпека.....	65
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії .....	66
5.2.1 Мікроклімат виробничого приміщення.....	66
5.2.2 Склад повітря робочої зони .....	66
5.2.3 Виробниче освітлення .....	67
5.2.4 Виробничий шум .....	68
5.2.5 Виробничі вібрації .....	69
5.2.6 Фактори трудового процесу .....	70
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи СЕП ТОВ «Панда» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	71
5.3.1 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання ТОВ «Панда» в умовах дії іонізуючих випромінювань .....	72
5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання ТОВ «Панда» в умовах дії електромагнітного імпульсу .....	73
5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи електропостачання ТОВ «Панда» в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	75
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	80
Додатки.....	84
Додаток А – Технічне завдання .....	85
Додаток Б – Вихідні дані .....	88
Додаток В – Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень .....	90
Додаток Г – Ілюстративна частина.....	91



## АНОТАЦІЯ

Доценко Антон Дмитрович. Оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю “Панда”. МКР. Спеціальність 141 – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕМ, кафедра ЕСЕЕМ, 2023 – 83 с.

В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання щодо оптимізація системи електропостачання ТОВ «Панда».

Для написання магістерської роботи були використані дані отримані під час проходження переддипломної практики на підприємстві ТОВ «Панда».

Перший розділ роботи присвячений визначенню оптимальних параметрів системи електропостачання ТОВ «Панда». Для цього був виконаний розрахунок навантажень, визначена кількість та потужність підстанцій, переріз ліній живлення.

У другому розділі розраховано оптимальні потужності компенсуючих пристроїв, релейного захисту та автоматики.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи було досліджено автоматизований електропривод стрічкового конвеєру на предмет споживання реактивної потужності.

В четвертому розділі виконані розрахунки техніко-економічних показників запропонованої СЕП ТОВ «Панда».

В п'ятому розділі розглядаються питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, здійснено аналіз норм гігієни праці та електробезпеки.

Ключові слова: електричні мережі, підстанція, електропривод.

Рисунків – 17

Таблиць – 27

Бібліографій – 36

## ABSTRACT

Dotsenko Anton Dmytrovych. Optimization of the power supply system of the Limited Liability Company "Panda". MTW. Specialty 141 - Vinnitsia: VNTU, FEEM, ESEEM department, 2023 - 83 p.

In the master's qualification thesis, the issue of optimization of the power supply system of Panda LLC was considered.

The data obtained during the pre-diploma internship at the company "Panda" LLC were used to write the master's thesis.

The first part of the work is devoted to determining the optimal parameters of the power supply system of Panda LLC. For this, load calculations were performed, the number and capacity of substations, and the cross-section of power lines were determined.

In the second section, the optimal capacities of compensating devices, relay protection and automation are calculated.

In the third section of the qualification work, the automated electric drive of the belt conveyor was investigated for reactive power consumption.

In the fourth section, calculations of the technical and economic indicators of the proposed SEP of Panda LLC are performed.

In the fifth chapter, issues of labor protection and safety in emergency situations are considered, an analysis of occupational hygiene and electrical safety norms is carried out.

Keywords: electrical networks, substation, electric drive.

## ВСТУП

Актуальність роботи. Введення в експлуатацію виробничої системи підприємства починається з розробки проекту, який буде забезпечувати якісну та надійну роботу всіх електроприймачів, допоміжних апаратів та ліній живлення у виробничих цехах, допоміжних і адміністративно-побутових приміщеннях та інших будівлях.

Проектування системи електропостачання будь-якого підприємства є важливим етапом у визначенні нормальних умов для його довгострокового функціонування та розвитку. Об'єктами таких систем електропостачання є промислові підприємства всіх видів.

Технологічний прогрес у галузі електротехніки та електроніки, що спостерігається протягом десятиліть, призводить до значних змін у теорії та практиці електроприводів. Тому актуальним завданням є дослідження можливостей оптимізації роботи електроприводів на базі сучасного обладнання.

Завдання даної магістерської кваліфікаційної роботи - дослідження системи електропостачання ТОВ «Панда» з метою оптимізації системи електропостачання підприємства шляхом компенсації реактивної потужності та зміни управління електроприводом конвеєра. Виконання усіх необхідних розрахунків та проектних рішень для розробки оптимальної СЕП підприємства.

Основними шляхами для вирішення завдань по проектуванню СЕП є:

- вибір класу напруги, розрахунок електричного навантаження з дотриманням вимог до надійності системи електропостачання;
- вибір кількості та потужності трансформаторів і компенсаторів реактивної потужності з оптимальними параметрами;
- проведення усіх необхідних розрахунків для вибору та перевірки електродвигуна та розробка системи його управління для роботи конвеєрної стрічки.

Об'єктом дослідження даної роботи є оптимізація системи електропостачання ТОВ «Панда».

Предмет дослідження – елементи схеми та електричні режими в СЕП.

Методи досліджень. Для виконання поставлених задач у даній роботі застосовані методики та засоби розрахунку, які загальноприйняті в енергетиці.

Наукова новизна. Результатом наукової роботи є дослідження впровадження регульованого електроприводу на підприємстві для досягнення мінімального споживання реактивної енергії. Результати показують що використання регульованого електроприводу дозволяє значно зменшити величину споживаної реактивної енергії, що в свою чергу оптимізує роботу системи електропостачання підприємства.

Отримані проектні рішення дозволять на практиці розробити систему електропостачання, яка за своїми технічними та економічними показниками буде оптимальною для ТОВ «Панда», як в процесі проектування так і в експлуатації. Застосування регульованого електроприводу в системі електропостачання підприємства дозволить зменшити втрати реактивної енергії, а також усунути негативні явища, які виникають під час пуску електродвигуна, та знижують якість електричної енергії і, як наслідок зменшити кількість аварійних відключень електрообладнання.

Апробації результатів магістерської роботи. Для даної магістерської роботи обрані найбільш вагомими практичними результатами та запропоновано основні теоретичні положення, які були предметом обговорення на науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових співробітників та студентів університету за участю представників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних підприємств.

Публікації: За результатами досліджень опубліковано тези доповідей [1].

# 1 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

## 1.1 Характеристика підприємства

ТОВ «Панда» – являє собою виробничу фірму, яка спеціалізується на виробленні безалкогольних газових напоїв. Підприємство знаходиться за адресою вул. Сергія Зулінського, 46-Б, м. Вінниця, Україна, 21022.

Газована вода - це продукт, насичений вуглекислим газом, який має характерний смак, втамовує спрагу та надає освіжаюче відчуття.

Компанія використовує сировину, проміжні продукти та вторинні інгредієнти, які відповідають вимогам чинних ДСТУ та гігієнічним нормам виробництва газованих напоїв.

Сировина, напівпродукти та вторинні матеріали перед використанням у виробництві піддаються очищенню, дезінфекції, зміні сольового складу, поліпшенню якості, розчиненню, сушінню, охолодженню, нагріванню та просіюванню.

Виробництво газованих напоїв включає такі основні етапи:

- заготування цукрового сиропу;
- заготування колера;
- заготування купажного сиропу;
- насичення заготованої рідини діоксидом вуглецю;
- розлив у пляшки;
- наклеювання етикеток і транспортування готової продукції у складські приміщення;
- зберігання, відвантаження і транспортування продукції.

Рідина очищується в кілька етапів для видалення домішок і солей. Готові компоненти поміщаються в резервуари для зберігання, з яких вода подається у виробничий процес.

Прагнення до здорового способу життя споживачами є фактором, який змушує виробників газованих напоїв переосмислювати свої продуктивні лінійки в бік виробництва поживних товарів, та інших подібних маркетингових ходів. При цьому технологія виробництва напоїв повинна бути максимально простою. Одним з таких трендів є виробництво сокових напоїв.

Продукція продається споживачам не лише у Вінниці, але й по всьому регіону. Продукція має високу якість і відповідає стандартам виробництва харчових продуктів.

На ТОВ «Панда» присутні ключові електроприймачі з тривалим режимом роботи, оскільки підприємство працює у дві зміни. Надійність електропостачання більшості елементів СЕП підприємства слід віднести до категорії II, для реалізації живлення яких потрібно два незалежні джерела живлення [2].

Генеральний план ТОВ «Панда» зображено на рисунку 1.1, а в таблиці 1.1 представлено величини електричних навантажень споруд, зображених на генплані.

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження ТОВ «Панда»

№ на плані	Назва цеху	Рн, кВт
1	Прохідна	30
2	Адмінкорпус	165
3	Лабораторія	215
4	Робочий цех	300
5	Компресорна	475
6	Пакувальний цех	250
7	Виробництво піддонів	275
8	Склад полімерних заготовок	95
9	Склад готової продукції	145
10	Цех підготовки виробництва	315
11	Розвантажувальний цех	245
12	Виробничий цех	575
13	Свердловина	115



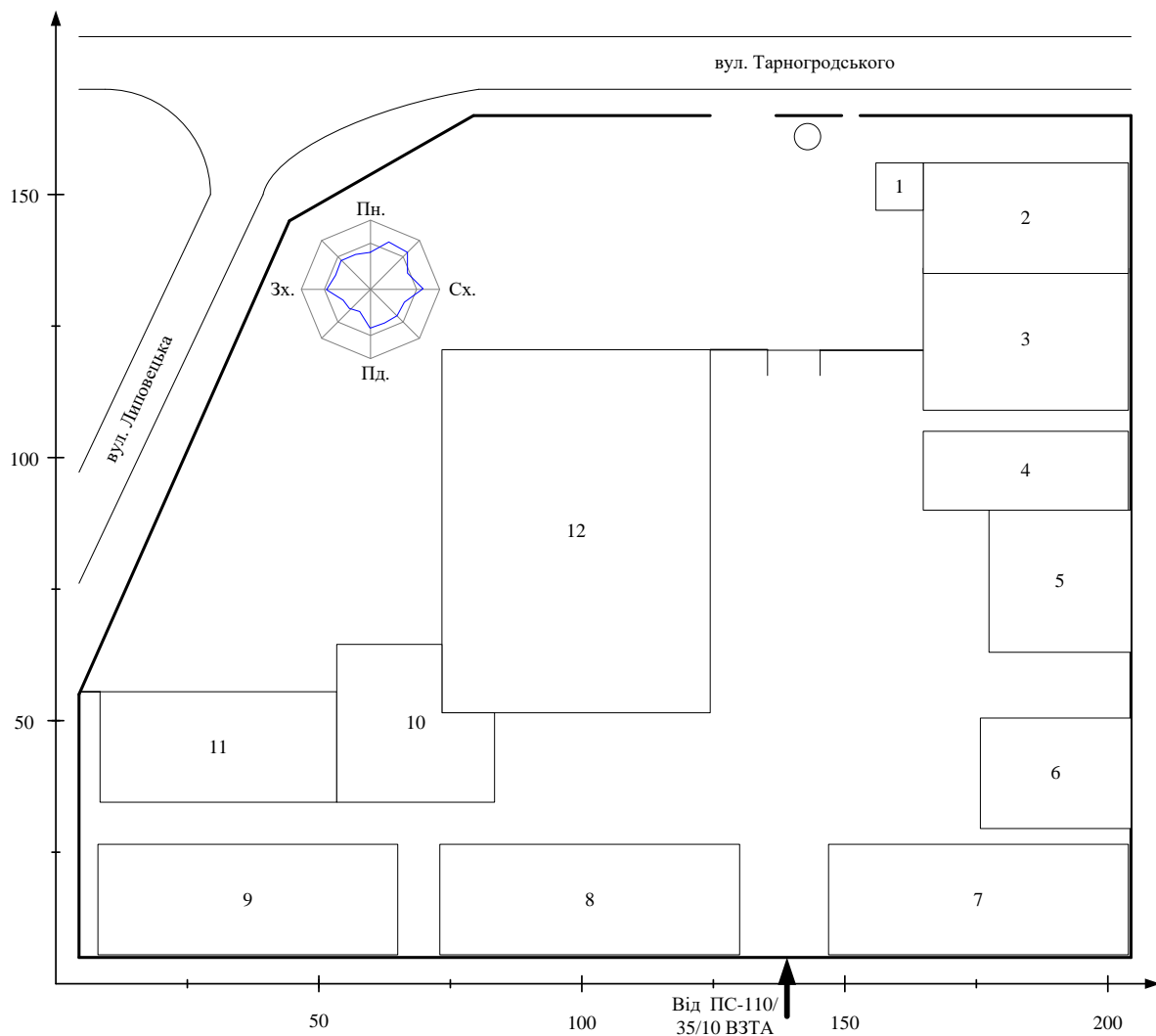


Рисунок 1.1 – Генплан підприємства

## 1.2 Розрахунок електричних навантажень підприємства

В табличній формі будуюмо математичну модель розрахунку електричних та освітлювальних навантажень із застосуванням методу коефіцієнта використання  $k_{\text{в}}$  та попиту  $k_{\text{п}}$  [3]. Виконуємо розрахунок навантажень цехів та споруд підприємства використовуючи формули, які наведені в таблиці 1.2. Результати розрахунків зведені в таблиці на рисунку 1.2.

Таблиця 1.2 – Формули для розрахунку навантажень підприємства

Назва параметра	Формула	Пакувальний цех
Коефіцієнт реактивної потужності	$\text{tg}(\varphi) = \text{tg}(\arg \cos(\varphi))$	$\text{tg}(\varphi) = \text{tg}(\arg \cos(0,82)) = 0,7$

Продовження таблиці 1.2

Розрахункова активна потужність освітлення, кВт	$P_{po} = F \cdot k_{по} \cdot k_{пра} \cdot P_{пито}$	$P_{po} = 250 \cdot 0,8 \cdot 1,2 \cdot 0,01 = 5,44$
Розрахункова реактивна потужність освітлення, квар	$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg}(\varphi_0)$	$Q_{po} = 5,44 \cdot \operatorname{tg}(0,43) = 2,34$
Середня активна потужність, кВт	$P_c = k_b \cdot P_n + P_{po}$	$P_c = 0,45 \cdot 250 + 5,44 = 117,94$
Середня реактивна потужність, квар	$Q_c = k_b \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + Q_{po}$	$Q_c = 0,45 \cdot 250 \cdot 0,7 + 2,34 = 81,09$
Середня повна потужність, кВА	$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}$	$S_c = \sqrt{117,94^2 + 80,09^2} = 143,13$
Розрахункова активна потужність, кВт	$P_p = k_{п} \cdot P_n + P_{po}$	$P_p = 0,5 \cdot 250 + 5,44 = 130,44$
Розрахункова реактивна потужність, квар	$Q_p = k_{п} \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + Q_{po}$	$Q_p = 0,5 \cdot 250 \cdot 0,7 + 2,34 = 89,84$
Розрахункова повна потужність, кВА	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	$S_p = \sqrt{130,44^2 + 89,84^2} = 158,39$
Розрахунковий струм, А	$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U}$	$I_p = \frac{159,39}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 240,65$
Питома густина навантажень, кВА/м <sup>2</sup>	$\rho = \frac{S_p}{F}$	$\rho = \frac{159,39}{567} = 0,28$
Сумарна середня	$P_{c\Sigma} = \sum_1^N P_c$	$P_{c\Sigma} = 1467,07$

## Продовження таблиці 1.2

Сумарна розрахункова повна потужність, кВА	$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}$	$S_{p\Sigma} = \sqrt{1579,46^2 + 1117,00^2} = 1934,52$
Сумарна питома густина навантажень, кВА/м <sup>2</sup>	$\rho_{\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{F_{\Sigma}}$	$\rho_{\Sigma} = \frac{1934,52}{13689} = 0,14$

Функціонування підприємства в оптимальному режимі значною мірою залежить від інтеграції системи електропостачання конкретного підприємства та правильного вибору обладнання. Тому важливо обґрунтувати вибір оптимальної системи електропостачання, сучасного електротехнічного обладнання та кабельно-провідникової продукції, підвищити надійність електропостачання та оптимізувати роботу існуючої електромережі.

## 1.3 Оптимізація проектування трансформаторних підстанцій

Здійснюючи вибір трансформаторних підстанцій (ТП) для живлення окремої групи споживачів підприємства необхідно дотримуватися наступних вимог [4]:

- показником ефективності для вибору ЦТП має бути річна приведена вартість витрат;
- Стандартна потужність трансформаторів повинна бути обмежена двома величинами потужності (максимум три).

1	В	С	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Світло			Середні навання			Розрах. навання			U	V
														Рн, кВт	cos	tg	Кл	Кл	Кв	Площа, м <sup>2</sup>	Кл0	Рпит, Вт/м <sup>2</sup>		
2	Цех	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22			
3	2	30	0,95	0,35	0,35	0,31	81	0,8	0,02	1,2	0,43	0,67	1,56	10,86	3,92	11,54	12,06	4,34	12,81	19,47	0,16			
4	Прохідна	165	0,9	0,5	0,4	0,35	819	0,8	0,02	1,2	0,43	6,76	15,72	73,47	35,64	81,66	81,72	39,76	90,88	138,08	0,11			
5	Адмін. Корпус	215	0,9	0,5	0,5	0,45	1053	0,8	0,01	1,2	0,43	4,35	10,11	106,86	52,72	119,16	117,61	58,10	131,18	199,30	0,12			
6	Лабораторія	300	0,95	0,35	0,35	0,31	585	0,8	0,01	1,2	0,43	2,41	5,62	98,62	34,96	104,63	110,62	39,16	117,34	178,29	0,20			
7	Робочий цех	475	0,65	1,17	0,6	0,55	729	0,8	0,01	1,2	0,43	3,01	7,00	268,25	308,67	408,94	292,00	336,46	445,50	676,86	0,61			
8	Компресорна	250	0,82	0,7	0,5	0,45	567	0,8	0,01	1,2	0,43	2,34	5,44	117,94	81,09	143,13	130,44	89,84	158,39	240,65	0,28			
9	Пакувальний цех	275	0,95	0,35	0,35	0,31	1197	0,8	0,01	1,2	0,43	4,94	11,49	96,74	34,78	102,80	107,74	38,63	114,46	173,90	0,10			
10	Виробництво піддонів	95	0,9	0,5	0,3	0,26	1197	0,6	0,01	1,2	0,43	3,71	8,62	33,32	16,06	36,99	37,12	17,96	41,23	62,65	0,03			
11	Склад полімерних заготовок	145	0,9	0,5	0,3	0,25	1197	0,6	0,01	1,2	0,43	3,71	8,62	44,87	21,83	49,90	52,12	25,46	58,00	88,13	0,05			
12	Склад готової продукції	315	0,87	0,56	0,56	0,5	1800	0,8	0,01	1,2	0,43	7,43	17,28	174,78	95,63	199,23	193,68	106,21	220,89	335,61	0,12			
13	Цех підготовки виробництва	245	0,9	0,5	0,4	0,35	945	0,6	0,02	1,2	0,43	5,85	13,61	99,36	48,73	110,66	111,61	54,85	124,36	188,94	0,13			
14	Розвантажувальний цех	575	0,75	0,9	0,5	0,45	3419	0,6	0,02	1,2	0,43	21,17	49,23	307,98	254,05	399,24	336,73	279,92	437,89	665,30	0,13			
15	Виробничий цех	115	0,65	1,17	0,6	0,54	100	0,8	0,02	1,2	0,43	0,83	1,92	64,02	73,48	97,46	70,92	81,56	108,08	164,21	1,08			
16	Свердловина	3200					13689					67,17	156,22	1497,07	1061,56	1835,24	1579,46	1117,00	1934,52	2939,20	0,14			

Рисунок 1.2 - Розрахунок навантаження підприємства

Кількість трансформаторів у ЦТП має відповідати класу надійності споживача згідно з ПУЕ [2]. Потужність обраних трансформаторів має бути достатньою для нормальної роботи та роботи у післяаварійних режимах. При цьому треба виходити з умови, що у випадку пошкодження одного трансформатора у двотрансформаторній системі ЦТП, справний трансформатор витримає розрахункове навантаження споживачів першої та другої категорій споживачів пошкодженого трансформатора.

Після дослідження специфіки підприємства, навантаження було розподілено між ЦТП, як наведено на рисунку 1.3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Розрахункова активна потужність $P_p$ , кВт	Розрахункова реактивна потужність $Q_p$ , кВАр	Повна розрахункова потужність $S_p$ , кВА	Середня активна потужність $P_c$ , кВт	Середня реактивна потужність $Q_c$ , кВАр	Повна середня потужність $S_c$ , кВА
1									
2	ТП1	1	Прохідна	12,055	4,344	12,814	10,855	3,924	11,543
3		2	Адмін. Корпус	81,725	39,762	90,884	73,475	35,637	81,661
4		3	Лабораторія	117,609	58,097	131,176	106,859	52,722	119,157
5		4	Робочий цех	110,616	39,165	117,345	98,616	34,965	104,631
6		5	Компресорна	291,998	336,459	445,497	268,248	308,672	408,944
7		6	Пакувальний цех	130,443	89,841	158,388	117,943	81,091	143,130
8		7	Виробництво піддонів	107,741	38,629	114,457	96,741	34,779	102,803
9		13	Свердловина	70,920	81,556	108,079	64,020	73,483	97,459
10			Всього по ТП1		923,108	687,851	1151,202	836,758	625,271
11	ТП2	8	Склад полімерних заготовок	37,118	17,956	41,233	33,318	16,056	36,985
12		9	Склад готової продукції	52,118	25,456	58,003	44,868	21,831	49,898
13		10	Цех підготовки виробництва	193,680	106,214	220,892	174,780	95,630	199,232
14		11	Розвантажувальний цех	111,608	54,851	124,358	99,358	48,726	110,663
15		12	Виробничий цех	336,734	279,920	437,887	307,984	254,045	399,241
16		Всього по ТП2		731,258	484,398	877,143	660,308	436,289	791,426

Рисунок 1.3 - Розподіл навантажень підприємства між двома ЦТП

Виконуємо автоматичне розв'язання задачі вибору потужності трансформатора з використанням табличного процесора EXCEL за наступними даними:

- 1) коефіцієнт, який враховує нормовану величину ефективності капіталовкладень в ТП – для цього типу розрахунків приймаємо його рівним  $E_c=0,1$ ;
- 2) величина коефіцієнта відрахувань на амортизацію в трансформаторах – приймаємо рівним  $E_a=0,066$ ;
- 3) коефіцієнт навантаження в нормальному режимі можна отримати в наступному порядку:

- річна температура для Вінницької області, згідно таблиці G1 з [5], складає  $\theta=10,7^{\circ}\text{C}$ ;

- значення ефективної температури можна визначити за формулою:

$$\theta_e = \theta + \Delta\theta = 10,7 + 6 = 16,7^{\circ}\text{C};$$

- коефіцієнт навантаження для нормального режиму роботи визначаємо з таблиці 6 [5], складає  $k_n=1$ .

4) коефіцієнт навантаження трансформатора для післяаварійного режиму роботи.

Для Вінницької області максимальна температура навколишнього середовища для післяаварійного режиму роботи настає літом і складає  $\approx 30^{\circ}\text{C}$ ;

Коефіцієнт навантаження для післяаварійного режиму роботи, згідно таблиці H1 [5], складає  $k_{па}=1,3$ .

5) на час післяаварійного режиму роботи, допускається відключити 10% навантаження споживачів, тому коефіцієнт  $k_{ппа}=0,9$ .

Зібравши та розрахувавши потрібні дані, можна розробити математичну модель для вибору потужності трансформаторів -  $S_t$ , а параметром визначення ефективності вибору прийняти річні приведені затрати  $Z$  в ТП.

Усі формули, які необхідні для побудови математичної моделі вибору потужності трансформаторів наведені в таблиці 1.3.

На рисунку 1.4 показана таблична форма, для автоматизованого визначення найбільш економічної потужності ТП згідно математичної моделі, яка представлена в таблиці 1.3.

За результатами виконаного автоматизованого вибору для ЦТП 1,2 приймаємо комплектні ТП з трансформаторами 2x1000 кВА [6].



Таблиця 1.3 Формули математичної моделі автоматичного вибору потужності трансформаторів

Назва параметра	Формула
Річні приведені затрати в ТП, грн	$3(S_T) = B_{ТП}(S_{ТП}) + B_B(S_{ТП});$ $3(S_T) = (E_a + E_e) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T) + [\Delta P_{XX}(S_T) + \Delta P_{КЗ}(S_T) \cdot k_3^2] \cdot k_T \cdot B_0$
Вартість річних втрат електроенергії, грн	$B_B(S_T) = [\Delta P_{XX}(S_T) + \Delta P_{КЗ}(S_T) \cdot k_3^2] \cdot k_T \cdot B_0$
Річна приведена вартість капіталовкладень, грн	$B_{ТП}(S_{ТП}) = (E_a + E_e) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T)$
Обмеження, які накладаються на керувану зміну	$S_T \cdot k_T \cdot k_H \geq S_{ТП};$ $k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{Па} \geq S_{ТП} \cdot k_{Нпа}$
Втрати активної потужності, кВт	$\Delta P_{тр} = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot \left( \frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2$
Втрати реактивної потужності, квар	$\Delta Q_{тр} = n \cdot \frac{I_{xx}}{100} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{кз}}{100} \cdot \left( \frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O		
1	Вибір оптимальної потужності ТП1 за мінімумом затрат																
2	Дані нормального режиму																
3	Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	1151,2					
4	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	1044,57					
5	Кількість трансформаторів										kt=	2					
6	Допустимий коефіцієнт навантаження в нормальному режимі										kn=	1					
7	Дані післяаварійного режиму																
8	Допустимий коефіцієнт навантаження післяаварійному режимі										kпа=	1,3					
9	Доля навантаження в п.а. режимі										кнпа=	0,8					
10	Економічні характеристики																
11	Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo=	16103,1					
12	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень										Ee=	0,1					
13	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea=	0,036					
14																	
15	*	St, кВА	dPкз, кВт	dPxx, кВт	Kп, тис. грн.	E*K, тис. грн.	dPзм, кВт	dPпс, кВт	dP, кВт	Bв, тис. грн.	З, тис. грн.	*	X	обмеж. 1	обмеж. 2		
16		63	1,28	0,24	209,28	28,4621	213,699	0,48	214,179	3448,95	---		---	---	---		
17		100	1,97	0,33	259,42	35,2811	130,539	0,66	131,199	2112,71	---		---	---	---		
18		160	3,1	0,51	297,134	40,4102	80,2408	1,02	81,2608	1308,55	---		---	---	---		
19		250	4,2	0,74	336,159	45,7176	44,529	1,48	46,009	740,889	---		---	---	---		
20		400	5,9	0,95	476,386	64,7885	24,4346	1,9	26,3346	424,07	---		---	---	---		
21		630	8,5	1,31	636,887	86,6166	14,1909	2,62	16,8109	270,709	---		---	+	---		
22	V	1000	10,5	2,1	936,354	127,344	6,95765	4,2	11,1577	179,673	307,017	V	+	+	+		
23		1600	18	2,8	1377,54	187,346	4,65914	5,6	10,2591	165,204	352,55		+	+	+		
24		2500	23,5	3,85	1493,52	203,118	2,4915	7,7	10,1915	164,115	367,234		+	+	+		
25										Змін=	307,017						
26									Опт. Пот. Трансформатора	St*=	1000						

Рисунок 1.4 – Вибір потужності ТП1

#### 1.4 Визначення оптимального перерізу лінії живлення

Підприємство заживлено від п/ст 110/10 ВЗТА, яка знаходиться на відстані 2,2 км від підприємства. Обираємо радіальну схему електропостачання напругою 10 кВ, як найбільш надійну. Встановлюємо ЦРП 10 кВ на заданій території підприємства.

Живлення ЦТП здійснюється від ЦРП кабельними лініями.

Згідно із ПУЕ [2] вибір електричних апаратів здійснюють за номінальними параметрами, струмом та напругою. Для всіх електричних апаратів необхідно виконати перевірку на динамічну і термічну стійкість в аварійних режимах роботи.

Для живлення ЦРП приймається кабель типу АПвПу-10 перерізом жил 3x70 мм<sup>2</sup> з величиною допустимого струму  $I_{\text{доп}} = 171$  А [7]. Кабелі для усіх приєднань на напрузі 10 кВ вибираються аналогічно. Результати представлені таблиці 1.4.

Визначаємо переріз жил кабелю для живлення ЦРП:

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}; \quad (1.1)$$

$$111,6 \text{ (А)} \leq 1,03 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 0,97 \cdot 171 = 169,1 \text{ (А)}.$$

- де  $k_1$  – поправочний коефіцієнт при температурі зовнішнього середовища;  
 $k_2$  – поправочний коефіцієнт в залежності від глибини прокладання;  
 $k_3$  – поправочний коефіцієнт в залежності від теплового опору ґрунту;  
 $k_4$  – поправочний коефіцієнт в залежності від відстані між фазами;  
 $k_5$  – поправочний коефіцієнт в залежності від прокладених поруч кабелів;  
 $k_6$  – поправочний коефіцієнт при прокладанні в трубах і каналах.

#### 1.5 Вибір високовольтних вимикачів та роз'єднувачів

Згідно з ПУЕ [2], все електрообладнання підбирається за типом установки, номінальним струмом і номінальною напругою та випробовується на термічну і динамічну стійкість.

Високовольтні вимикачі обираються за номінальною напругою та струмом з урахуванням післяаварійної ситуації.

$$U_{\text{НОМ.В}} \geq U_{\text{НОМ.мережі}}, \quad (1.2)$$

$$I_{\text{НОМ.В}} \geq I_{\text{макс}}, \quad (1.3)$$

Визначимо  $I_{\text{макс}}$  :

а) ТП1:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{1151,202}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 33,2 \text{ (А)},$$

а) ТП2:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{877,143}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 25,32 \text{ (А)},$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,3 \cdot S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{1,3 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 75,06 \text{ (А)}.$$

На стороні 10 кВ ЦРП підприємства необхідно встановити вакуумні вимикачі ВРС-10. Обрані вимикачі зазначені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 Результат вибору високовольтного обладнання для СЕП

Лінія	$I_p$ , А	$I_{\text{па}}$ , А	Вимикач	$I_{\text{ном}}$ , А	Провідник	S, мм <sup>2</sup>	$I_{\text{доп}}$ , А
С-ЦРП	55,8	111,6	ВРС-10-20/630 УЗ	630	АПвПу-10	3×70	171
ЦРП-ТП-1	33,2	75,06	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвПу-10	3×35	115
ЦРП-ТП-2	25,32	75,06	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвПу-10	3×35	115

### 1.6 Перевірка вибраного електрообладнання 10 кВ

Розраховуємо струми короткого замикання, щоб перевірити вибрані вимикачі та лінії живлення на напрузі 10 кВ. Усі потрібні формули та результати розрахунку приведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Формули для розрахунку характеристик обраного обладнання

Назва параметра	Формула	Розрахунок
Базисний струм на напрузі 10 кВ, в.о.	$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}$	$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55$
Опір системи, в.о.	$X_C = \frac{S_6}{S_K}$	$X_C = \frac{1000}{200} = 5;$
Періодична складова струму трифазного КЗ в початковий момент часу, кА	$I_{ПО} = \frac{E_C''}{X_\Sigma} \cdot I_6$	$I_{ПО} = \frac{1}{5} \cdot 55 = 11$
Постійна часу затухання аперіодичної складової струму, с	$T_{ac} = \frac{X_\Sigma}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_\Sigma}$	$T_{ac} = \frac{5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5} = 0,032$
Розрахунковий час початку розмикання контактів вим., с	$\tau = t_{pz, min} + t_{в.в.}$	$\tau = 0,01 + 0,055 = 0,065$
Аперіодична складова струму КЗ при $t = \tau = 0,065$ с, кА	$i_{ат.С} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_{ac}}}$	$i_{ат.С} = \sqrt{2} \cdot 11 \cdot e^{\frac{-0,065}{0,032}} = 2,04$
Ударний струм КЗ, кА	$i_{уд.С} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot \left( 1 + e^{\frac{-\tau}{T_{ac}}} \right)$	$i_{уд.С} = \sqrt{2} \cdot 11 \cdot \left( 1 + e^{\frac{-0,065}{0,032}} \right) = 17,6$
Час відключення, с	$t_{від} = t_{pz} + t_{нВ}$	$t_{від} = 0,5 + 0,1 = 0,6$
Тепловий імпульс, $кА^2 \cdot с$	$B_k = I_{ПО}^2 \cdot (t_{від} + T_{ac})$	$B_k = 11^2 \cdot (0,6 + 0,032) = 76,5$

Виконаємо перевірку обраних вимикачі типу ВРС-10 на комутаційну здатність та стійкість до дії струмів короткого замикання. Результати перевірки заносимо до таблиці 1.6.

Усі необхідні умови виконуються. Приходимо до висновку, що вимикачі типу ВРС-10 можуть бути використаний при проектуванні СЕП.

Таблиця 1.6 – Формули для перевірки обраного типу вимикачів

Умова вибору	Номінальні параметри вимикачів	Розрахункові параметри мережі
$I_{\text{НОМ.ВІД}} = I_{\text{ПТ}}$	$I_{\text{НОМ.ВІД}} = 40 \text{ кА}$	$I_{\text{ПТ}} = I_{\text{ПТС}} = 11 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМ.ВІД}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{Н}}}{100}\right) \geq \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПТ}} + i_{\text{ат}}$	$\sqrt{2} \cdot 40 \cdot \left(1 + \frac{21}{100}\right) = 68,45 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 11 + 2,04 = 13,04 \text{ кА}$
$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 128 \text{ кА}$	$i_{\text{уд.С}} = 17,6 \text{ кА}$
$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{ПО}}$	$I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$	$I_{\text{ПО}} = 11 \text{ кА}$
$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} = 40^2 \cdot 4 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 76,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

### 1.7 Моделювання і оптимізація вибору місця розташування ЦРП

Центр мережі - це місце на генеральному плані, розташування в якому джерела живлення матиме найнижчу загальну річну вартість для всієї мережі.

Зважаючи на те, що ТП підприємства живиться через ЦРП, то місцем розташування ЦРП необхідно прийняти найближче до центра мережі.

Головною змінною для задачі є координати місцезнаходження ЦРП -  $(x_0, y_0)$ .

Показником ефективності рішення є вартість системи електропостачання. А мінімальна вартість - критерієм оптимальності.

Математична модель для вирішення даної задачі має наступний вигляд [3]:

$$\begin{aligned}
 Z(x_0, y_0) = & \left[ (E_e + E_{\text{аж}}) \cdot (a_{\text{ж}} + K_0(F_{\text{ж}})) + 3 \cdot I^2 \cdot R_0(F_{\text{ж}}) \cdot B_0 \right] \cdot k_{\text{ж}} \cdot L_{\text{ж}} + \\
 & + \sum_{i=1}^n \left[ (E_e + E_a) \cdot (a + K_0(F_i)) + 3 \cdot I^2 \cdot R_0(F_i) \cdot B_0 \cdot k_i \right] \cdot L_i \rightarrow \min, \quad (1.4) \\
 & X_{\min} \leq X_0 \leq X_{\max}, \\
 & Y_{\min} \leq Y_0 \leq Y_{\max}.
 \end{aligned}$$

де  $Z(x_0, y_0)$  - річні приведені затрати;

$K_0(F_i)$  - питома вартості КЛ перерізом  $F_i$ ;

$I$  - струм окремої лінії;

$B_0$  - питома вартість втрат активної потужності грн/кВт;

$E_a$  - Коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$E_e$  - коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$k_{ж}$  - кількість кабелів живлячої лінії;

$k_i$  - кількість кабелів від центру мережі до і-тої ТП;

$F_{ж}$  - переріз живлячої кабельної лінії;

$F_i$  - переріз і-тої кабельної лінії;

$a$  – складова питомої вартості КЛ на 1км, яка не залежить від перерізу;

$a_{ж}$  - складова питомої вартості живлячої КЛ на 1км;

$L_{ж}$  - довжина живлячої лінії км;

$L_i$  - довжина і-тої розподільної лінії;

Причому довжина лінії живлення визначається за такими формулами:

$$L_i = \sqrt{(X_0 - X)^2 + (Y_0 - Y)^2} \text{ - для евклідової метрики;}$$

$$L_i = |X_0 - X| + |Y_0 - Y| \text{ - для неевклідової метрики.}$$

$X_0; Y_0$  - координати центру мережі;

$X_{\min}; Y_{\min}$  - мінімальні координати на генплані, за якими не можна розташовувати

ЦМ по осі X та Y відповідно;

$X_{\max}; Y_{\max}$  - максимальні координати на генплані, за якими не можна розташовувати

ЦМ по осі X та Y відповідно;

На рисунку 1.5 показана таблична форма в якій автоматизовано процес вибору ЦМ за мінімумом річних приведених затрат.

Генеральний план підприємства з розміщенням ЦРП та ТП зображено на рисунку 1.6.

Даний підрозділ присвячений розрахунку оптимальних координат для розташування ЦРП 10 кВ в центрі енергетичних навантажень. Координати розміщення ЦРП:  $X_0 = 150$ м та  $Y_0 = 28$ м. Побудована картограма представлена на рисунку 1.6.



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Технічні характеристики мережі												
Напряга зовнішньої лінії живлення, кВ									U <sub>ж</sub> =			10
Метрика зовнішньої лінії (Е чи НЕ)									МетрикаЖ =			НЕ
Метрика розподільної мережі (Е чи НЕ)									МетрикаР =			НЕ
Економічні характеристики мережі												
Питомі втрати, які не залежать від перерізу КЛ 10кВ, тис.грн/км									a=			10
Питомі втрати, які не залежать від перерізу зовнішньої КЛ тис.грн/км									а <sub>ж</sub> =			8
Питома вартість втрат, грн/кВт									В <sub>о</sub> =			16103,15
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень									Е <sub>е</sub> =			0,1
Коефіцієнт вираховань на амортизацію									Е <sub>а</sub> =			4,00%
Коефіцієнт вираховань на амортизацію живлячої лінії									Е <sub>а<sub>ж</sub></sub> =			5,00%
Лінії живлення												
X, м	Y, м	F, мм <sup>2</sup>	k	P, кВт	Q, кВт	I, А	R <sub>о</sub> , Ом/км	K <sub>о</sub> , т.грн/км	L, м	З, тис. грн		
ЖЛ	150	0	70	2	1598,86	1235,83	58,34	0,443	237,7835	49,00	8,944	
ТП1	173	87	35	2	934,27	755,61	34,69	0,89	126,5926	61,00	8,559	
ТП2	86	49	35	2	739,5	535,48	26,36	0,89	126,5926	64,00	6,181	
Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.										23,684		
Оптимальні координати ЦЕМ, м									X <sub>о</sub> =	150	Y <sub>о</sub> =	49
Координати ЦЕМ на генплані, м									X <sub>о</sub> =	150	Y <sub>о</sub> =	28
Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.										24,825		

Рисунок 1.5 – Таблична форма для визначення центру мережі

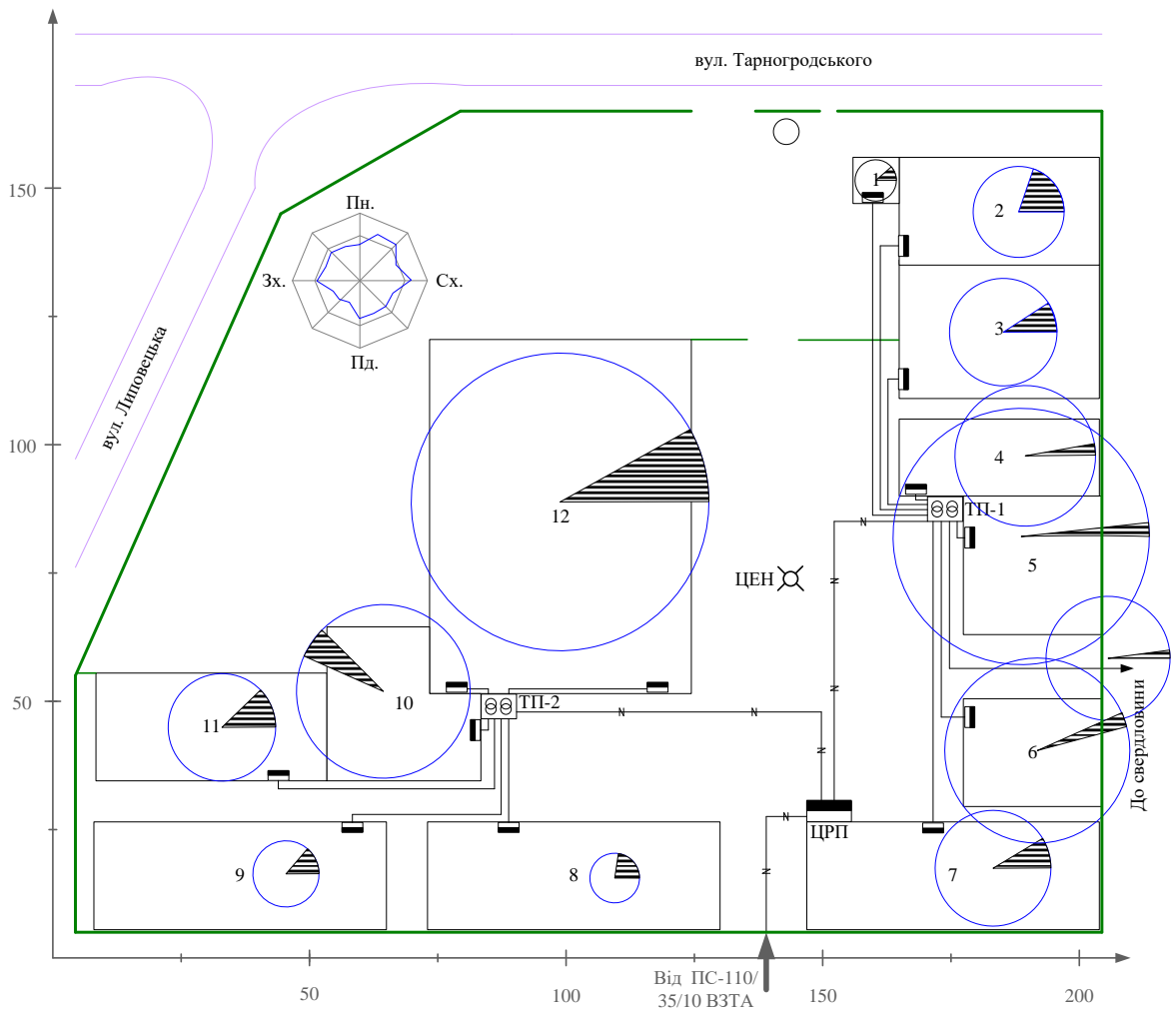


Рисунок 1.6 – План розміщення ЦРП та ТП на території підприємства

## Висновки до розділу 1

Аналіз СЕП підприємства ТОВ «Панда» показав, що для оптимізації електроспоживання доцільно прийняти наступні проектні рішення:

- кількість двотрансформаторних підстанції повинна бути рівна двом, а потужність трансформаторів ТМ 2x1000/10;

- переріз кабельної лінії для підключення ЦРП 10 кВ доцільно виконати перерізом 3x70 мм<sup>2</sup>, КЛ приймаються АПвПу-10. Для живлення ТП буде використання кабелів типу АПвПу-10 з перерізом ліній 3x35 мм<sup>2</sup>;

- у розділі також здійснено аналіз і вибір типу захисту електрообладнання.

На території підприємства відсутнє котельне приміщення. Теплопостачання споруд, зображених на генплані під номером № 7,8,9,10,11,13 не передбачено. Теплопостачання споруд під № 2,3,4,12 здійснюється від теплової мережі. Теплопостачання споруд під № 1,6,5 здійснюється при необхідності за допомогою електронагрівальних приладів, навантаження яких передбачено у спроектованій СЕП.

Загалом для підприємства ТОВ «Панда» розроблена система електропостачання, яка відповідає сучасним стандартам і є оптимальною з точки зору економічних показників.

## 2 ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

### 2.1 Напрямки оптимізації СЕП

Оптимізація СЕП – це низка заходів направлених на знаходження найвигідніших варіантів реалізації елементів СЕП за критерієм економічності, надійності, безпеки та можливості подальшого розвитку [8].

Економія електроенергії на підприємствах є однією з самих нагальних проблем сьогодення в промисловості. Це пояснюється постійним зростанням цін на енергоносії.

В процесі виробництва підприємство стикається з різними видами витрат – це оплата палива, сировини, супутніх матеріалів, але найдорожчим ресурсом є електроенергія.

Для підвищення економічних та технічних показників діяльності підприємства застосовуються різні заходи з економії електроенергії, які дозволяють істотно скорочувати витрати на виробництво, що найкращим чином позначається на зростанні рентабельності та збільшенні конкурентоспроможних якостей продукції.

Методами економії електроенергії на підприємствах є збільшення ефективності процесу виробництва чи економія енергоресурсів.

На рисунку 2.1 показано способи реалізації напрямків економії електроенергії.



Рисунок 2.1 – Способи реалізації напрямків економії електроенергії

Для економії електричної енергії на підприємствах можна виділити наступні шляхи [8]:

а. Економія електроенергії зменшенням її втрат через:

- зменшення втрат в трансформаторних підстанціях шляхом оптимального вибору їх кількості та потужності для зменшення втрат неробочого (холостого) ходу;

- зменшення втрат в лініях електропередачі шляхом зменшення протікаючого через них струму. Але при цьому необхідно зважати, що при умові незмінного коефіцієнту потужності ( $\cos \varphi$ ) це досягається лише шляхом підвищення перерізу проводів, що призводить до підвищення витрат на кольоровий метал при спорудженні ліній електропередачі. Тому під час проектування мереж необхідно враховувати такі чинники, як втрата енергії в елементах електричних мереж, ціна на електроенергію, ціна на кольоровий метал та інші фактори.

- зменшення навантажень в години максимуму.

б. Енергозбереження засобами електроприводу через:

- вибір двигуна для технологічної установки із заданими параметрами для дотримання номінального теплового режиму двигуна під час експлуатації;

- перехід на енергозберігаючі двигуни та двигуни з поліпшеною конструкцією, які спеціально призначені для роботи з регульованим електроприводом. За рахунок збільшення маси активних матеріалів (заліза і міді) у енергозберігаючих двигунах підвищуються номінальні значення ККД і  $\cos \varphi$ . Необхідно оцінювати доцільність застосування енергозберігаючих двигунів з урахуванням додаткових витрат. Оскільки незначне (до 5 %) підвищення номінальних ККД і  $\cos \varphi$  може бути досягнуто за рахунок збільшення маси заліза на 30-35 %, міді на 20-25 %, алюмінію на 10-15 % ваги двигуна в цілому на 25-30 % відносно звичайних двигунів.

- використання сучасних високоякісних пристроїв плавного запуску виробничого обладнання.

в. Економія електроенергії методами компенсації реактивної потужності.

Засобами компенсації реактивної потужності є:

- батареї статичних конденсаторів (БСК) призначені для підвищення напруги (на 3–4%) в мережах 6–220 кВ. Крім цього БСК дозволяють коригувати перетоки енергії і регулювати напругу в енергосистемі за рахунок зміни реактивної потужності навантаження;

- статичні тиристорні компенсатори – комбінована електроустановка, що містить одну або кілька ТРГ, ФКУ і конденсаторні установки і систему автоматичного управління СТК. Статичні тиристорні компенсатори для промислових підприємств вирішують одночасно завдання компенсації реактивної потужності і підтримки параметрів якості напруги, в тому числі флікерних коливань. Статичні тиристорні компенсатори широко застосовуються на металургійних комбінатах де встановлені дугові сталеплавильними печі та прокатні стани;

- синхронні компенсатори, які являють собою спеціальну синхронну машину, що призначена для генерації чи споживання реактивної потужності, яка не несе механічного навантаження, крім покривання механічних втрат на обертання.

г. Економія електроенергії при експлуатації електрообладнання.

Засобами економії електроенергії є:

- зміна звичних ламп розжарювання на енергозберігаючі, найекономнішими вважаються світлодіодні лампи. При цьому рекомендовано здійснювати постійний контроль режиму освітлення, вмикаючи освітлювальні прилади за необхідністю з вимкненням в неробочий час. Дані методи стануть в допомозі у заощадженні від 20 до 50% електроенергії. Також можна змінити колір стін в приміщеннях на світлий, це призведе до підвищення рівню освітлення у перефарбованих приміщеннях. Крім цього, можна збільшити площу вікон, щоб всередину потрапляла велика кількість денного світла;

- навчання робітників правильному і ефективному використанню обладнання та оргтехніки, а саме вимикати сканер, принтер, комп'ютер, після використання;

- поступова заміна в компанії всього електрообладнання старих зразків на сучасну техніку. Витрати на закупівлю досить швидко окупляться помітним зниженням енерговитрат і підвищеною енергоефективністю компанії;

- оптимізація опалювальної системи, за рахунок відключення додаткових нагрівальних приладів;

- використання сучасних приладів обліку з класом точності 1,0;

- установка різних датчиків присутності, руху і т. д.

Зважаючи на те, що значна частина навантаження виробничих цехів підприємства припадає на електропривод, який задіяний для конвеєрів, то впровадження регульованого електроприводу для зменшення втрат електричної енергії в СЕП підприємства являється найбільш актуальною тематикою.

Одним з напрямків оптимізації СЕП на підприємствах є економія електроенергії, шляхом вибору сучасного енергоефективного обладнання та систем його управління, які забезпечують оптимальні режими його роботи [8].

Також впровадження регульованого електроприводу допоможе виконати усі необхідні вимоги, які ставляться до системи управління конвеєра, який задіяний у виробництві газованих напоїв.

## 2.2 Розрахунок потужності конденсаторних батарей

Методології компенсації реактивної потужності споживачів були задумані як зменшення втрат електроенергії в мережі. При цьому передбачалося економічне стимулювання встановлення компенсуючого обладнання в системах електропостачання промислових підприємств за рахунок знижок або надбавок до діючого тарифу на електроенергію.

Компенсація реактивної потужності є способом зниження втрат в системах електропостачання великих і малих промислових підприємств і може бути повністю віднесена до енергозберігаючих технологій.

Для досягнення цього завдання необхідно ефективно перерозподіляти вхідне реактивне навантаження між усіма трансформаторними підстанціями в системі підприємства.

Балансова задача КРП полягає в оптимальному розподіленні сумарного значення КУ між вузлами навантаження підсистеми при заданій вхідній реактивній потужності. Задача оптимізації для зведених річних витрат

$$Z = E z_k^T Q_k + c_0 \cdot T \cdot \Delta P(Q) \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

за наявності балансового обмеження  $\mathbf{1}^T Q_k = Q_k$ , де  $Q_k$  – задане сумарне значення всіх КУ, розв'язується за методом неозначених множників Лагранжа.

Сформувавши з (2.1) функцію Лагранжа  $L = Z + l(\sum_{i=1}^n Q_{ki} - Q_k)$  і знайшовши похідні

за  $Q_{ki}$  та прирівнявши їх до нуля  $\frac{\partial L}{\partial Q_k} = 0$ , для знаходження оптимального розв'язку з урахуванням обмежень можна отримати систему лінійних рівнянь

$$\frac{2c_0 T 10^{-3}}{U^2} \mathbf{R}(Q_H - Q_K) = \mathbf{3}_K - \mathbf{1}l, \quad (2.2)$$

де  $l$  – коефіцієнт Лагранжа, числове значення якого забезпечує необхідне сумарне значення  $Q_K$  всіх КУ.

Для розрахунку балансової задачі компенсації реактивної потужності складаємо однолінійну схему, що представлена на рисунку 2.2, та схему заміщення мережі підприємства рисунок 2.3.

Математична модель не враховує втрати через реактивну потужність у лініях, що живлять ЦРП підприємства.

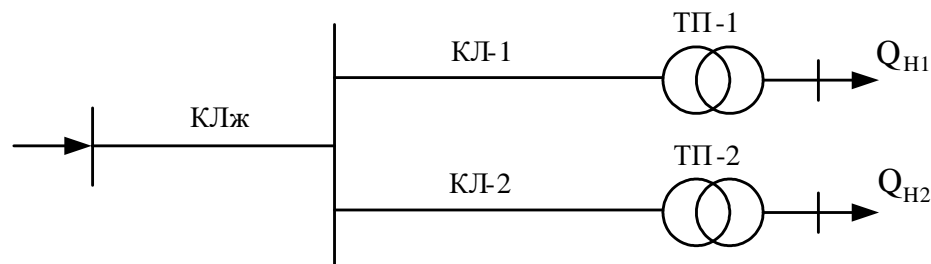


Рисунок 2.2– Однолінійна схема електропостачання

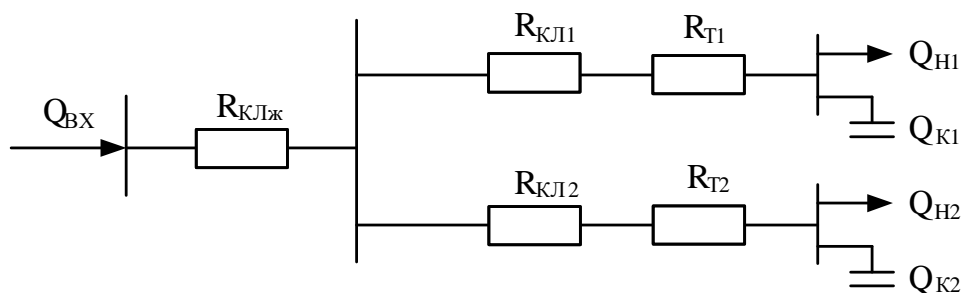


Рисунок 2.3 – Схема заміщення мережі електропостачання підприємства

Використовуємо наступну математичну модель для рішення балансової задачі оптимальної КРП [3]:



$$\begin{cases} Z(Q_K) = \frac{B_0}{U^2} \times \sum_{i=1}^n \left[ (Q_{Hi} - Q_{Ki})^2 (R_{KLi} + R_{Ti}) \right] \rightarrow \min_{Q_K}; \\ Q_{Ki} \geq 0, i=1, 2, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n Q_{Ki} = \sum_{i=1}^n Q_{Hi} - Q_{BX} \end{cases} \quad (2.3)$$

Для даної математичної моделі керовані змінні, це потужність батарей у вузлах навантаження  $q_K = (q_{K1}, q_{K2}, \dots, q_{Kn})$ .

де  $B_0$  – питома вартість втрат активної потужності;

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

$n$  – кількість ТП;

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

$Q_{Ki}$  – потужність КУ окремої секції шин НН і-тої ТП;

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

$R_{Ti}$  – активний опір окремого трансформатора і-тої ТП;

$Q_{BX}$  – вхідна реактивна потужність.

Розрахунок буде проведений на листі САПР MathCad. Створена математична модель на робочому листі MathCad згідно (2.3) представлена на рисунку 2.4.

Вхідні дані для розрахунку

Напруга, кВ:  $U := 10$

Вхідна реактивна потужність, квар:  $q_{вх} := 474$

Коефіцієнт ефективності капіталовкладень  $E_e := 0.1$

Коефіцієнт відрахувань на амортизацію  $E_a := 0.04$

Питома вартість КУ  $B_{к0} := 100$

Питомі втрати реактивної потужності в КУ, кВт/Мвар  $\Delta P_k := 4.5$

Питома вартість втрат активної потужності, грн/кВт  $B_0 := 16103.1$

Питомі активні опори ліній живлення, Ом/км  
 $r_{01} := 0.89$      $r_{02} := 0.89$

Довжини ліній від ЦРП до ЦТП, км  
 $L_{кп1} := 0.061$      $L_{кп2} := 0.064$

Опори трансформаторів, Ом  
 $r_{t1} := 1.05$      $r_{t2} := 1.05$

Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар:  
 $q_{н1} := 755.609$      $q_{н2} := 535.48$

Довільні початкові потужності БК у вузлах навантаження, квар:  
 $q_{к1} := 100$      $q_{к2} := 100$

Довжина та питомий опір ліній живлення:  
 $l_{ж} := 2.2 + 0.049 = 2.249$      $r_{ж0} := 0.443$

Опір зовнішньої лінії живлення, Ом  
 $r_{ж} := l_{ж} \cdot r_{ж0} = 0.996$

Опір розподільних ліній живлення, Ом  
 $r_{н1} := r_{01} \cdot L_{кп1} = 0.054$      $r_{н2} := r_{02} \cdot L_{кп2} = 0.057$

Модель балансової задачі компенсації реактивних навантажень

$$Z(q_{K1}, q_{K2}) := \frac{B_0}{U^2 \cdot 1000} \left[ \begin{aligned} & (q_{H1} - q_{K1})^2 \cdot \left( \frac{r_{t1} + r_{n1}}{2} \right) \dots \\ & + (q_{H2} - q_{K2})^2 \cdot \left( \frac{r_{t2} + r_{n2}}{2} \right) \dots \\ & + (q_{H1} + q_{H2} - q_{K1} - q_{K2})^2 \cdot \frac{r_{ж}}{2} \end{aligned} \right] + [(E_e + E_a) \cdot B_{к0} + B_0 \cdot \Delta P_k] \cdot (q_{K1} + q_{K2})$$

Given

обмеження

$$q_{K1} \geq 0 \quad q_{K2} \geq 0$$

$$(q_{H1} + q_{H2}) - (q_{K1} + q_{K2}) = q_{вх}$$

Визначаємо оптимальне проектне рішення:

$$q_K := \text{Minimize}(Z, q_{K1}, q_{K2}) = \begin{pmatrix} 518.322 \\ 298.766 \end{pmatrix}$$

Річні приведені заграпи, грн

$$Z(q_{K1}, q_{K2}) = 1.465 \times 10^7$$

Перевірка, квар

$$(q_{H1} + q_{H2}) - (q_{K1} + q_{K2}) = 474.001 \quad q_{вх} = 474$$

### Рисунок 2.4– Видгляд розрахунку задачі КРП в середовищі MathCad

На ТОВ «Панда» доцільно застосовувати КУ типу УКР-0,4 відповідно до потужності вузла встановлення використовуємо наступні стандартні потужності батарей КУ [4]: для ТП1: 2 КУ типу УКР 0,4-250/50; для ТП2: 2 КУ типу УКР 0,4-200/50.

### 2.3 Релейний захист та автоматика конденсаторних установок

Релейний захист використовується для захисту конденсаторних установок в системі електропостачання підприємства. Розрахунки виконано для конденсаторних установок УКР 0,4-200/50, встановлених у ТП2 на стороні 0,4 кВ.

Захист за допомогою струмової відсічки. Даний вид захисту являється основним від замикань між контактами батарей конденсаторів.

$$I_{CB} = k_H \cdot I_{вкл}; \quad (2.4)$$

де  $k_H$  - коефіцієнт, який допомагає врахувати надійність,  $k_H = 1,5$ ;

$$I_{вкл.БСК} = \sqrt{2} \cdot I_{ном.БСК} \left( k_u + \sqrt{\frac{W_{K3}}{Q_{ном.БСК}}} \right); \quad (2.5)$$

де  $I_{ном.БСК}$  - номінальний струм, який береться з паспортних даних БСК;

$k_u$  - коефіцієнт загрузки конденсаторів по напрузі. Дана величина визначається за наступною формулою:

$$k_u = \frac{U_{розр}}{\sqrt{2} \cdot n \cdot U_{н.к.}} = \frac{0,4}{\sqrt{2} \cdot 6 \cdot 0,4} = 0,118; \quad (2.6)$$

$$I_{вкл.БСК} = \sqrt{2} \cdot 202 \left( 0,118 + \sqrt{\frac{20}{0,15}} \right) = 3,332 \text{ (кА)};$$

$$I_{CB} = 1,5 \cdot 3,332 = 4,99 \text{ (кА)}.$$

Визначимо струм трифазного КЗ.

$$I_{K3} = \frac{1,3 \cdot S_{н.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,3 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 11820 \text{ (А)};$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{0,865 \cdot 11820}{4990} = 2.$$

Обирається РТ-40/200 УЗ.

Вибираємо витримку часу з врахуванням ступеню селективності 0,3 – 0,5 с:

$$t_{\text{сзБСК}} = t_{\text{свГр-р}} + \Delta t' = 0,0 + 0,5 = 0,5 \text{ (с)}.$$

Отже доцільно вибрати ЭВ-114 у якості реле часу.

Максимальний струмовий захист. Уставка по струму розраховується наступним чином:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot I_{\text{ном.БСК}}}{k_{\text{в}}}; \quad (2.7)$$

де  $k_{\text{н}}$  - коефіцієнт надійності,  $k_{\text{н}} = 1,2$ ;

$k_{\text{пов}}$  - коефіцієнт повернення реле ( $k_{\text{пов}} = 0,8$ ).

$$I_{\text{сз}} = \frac{1,2 \cdot 202}{0,8} = 303 \text{ (А)}.$$

$$I_{\text{сз}} = k_{\text{нс}} \cdot I_{\text{сзГр}} = 1,3 \cdot 303 = 393,9 \text{ (А)}.$$

Приймаємо уставку  $I_{\text{сз}} = 393,9 \text{ (А)}$ .

Визначаємо чутливість захисту при двофазному КЗ на шинах 0,4 кВ ТП1 в мінімальному режимі системи:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{0,865 \cdot 11820}{393,9} = 14,97 > 1,5.$$

Струм спрацювання реле визначається за формулою:

$$I_{\text{сп}} = \frac{I_{\text{сз}}}{n_{\text{ТС}}} = \frac{393,9}{20} = 19,7 \text{ (А)}.$$

$$t_{\text{сзКЛ}} = t_{\text{сзМСЗГр}} + \Delta t' = 1,2 + 0,4 = 1,6 \text{ (с)}.$$

Згідно розрахунків обираємо реле часу марки ЭВ-124 з межами уставок 0,25—3,5с

Розрахунок величини струму КЗ на землю:

$$3I_{0\text{КЛ} \text{ мережі}}^{(1)} = \frac{k_{\text{рем}} \cdot U_{\text{мф}} \cdot l}{10} = \frac{0,54 \cdot 0,4 \cdot 0,071}{10} = 0,03 \text{ (A)}.$$

де  $U_{\text{мф}}$  – величина міжфазної напруги, кВ;

$l$  – протяжність кабельної лінії до ТП1 від ЦРП підприємства, км;

Розрахунок струму спрацювання захисту:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{відл}} \cdot k_{\text{стр}} \cdot 3I_{0\text{КЛ}}^{(1)}}{10} = \frac{1,1 \cdot 4 \cdot 0,03}{10} = 0,0132 \text{ (A)}.$$

де  $k_{\text{відл}}$  – коефіцієнт відлаштування, який приймається рівним 1.1 - 1.2;

Коефіцієнт чутливості:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{0\text{КЛ} \text{ мережі}}^{(1)} - 3I_{0\text{КЛ}}^{(1)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{0,03 - 0,0108}{0,0132} = 1,45 > 1,25.$$

Умова виконується, отже захист буде працювати з необхідними параметрами.

Висновки до розділу 2

Для ТОВ «Панда» актуальним є питання компенсації реактивної потужності.

В результаті оптимізаційних розрахунків вибрано потужності компенсуючих пристроїв та пристрої їх захисту.

## 3 ВПРОВАДЖЕННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

### 3.1 Актуальність проблеми для СЕП підприємства

Зниження реактивної складової струму лінії електропередачі пов'язане з оптимальним вибором номінальної потужності при збереженні продуктивності і ККД асинхронного двигуна. Для цього можна використати частотно-регульовані електроприводи.

Виробництво напоїв здійснюється автоматизованим процесом з постійним переміщенням сировини, упаковки та готової продукції між ключовими технологічними блоками за допомогою різноманітних конвеєрів (рисунки 3.1, 3.2). Тому розробка системи управління стрічкового конвеєра є актуальною для підприємства питанням.

Стрічковий конвеєр - транспортуючий пристрій безперервної дії з робочим органом у вигляді замкнутої стрічки [9]. Як правило, стрічкові конвеєри оснащені тяговим елементом у вигляді нескінченної стрічки, яка також є несучим елементом конвеєра; приводним блоком, що включає електродвигун, редуктор і муфту для приводу барабана; регулятором натягу; роликівими підшипниками для робочої і порожнинної гілок стрічки; вантажозахватним пристроєм; пристроєм для очищення стрічки.

Пуск конвеєрів з великими інерційними масами і статичними навантаженнями займає значний час і характеризується значним нагріванням двигуна. Перевантаження конвеєра, низька напруга та певні види несправностей механічного та електричного обладнання можуть призвести до подальших затримок процесу запуску, що спричиняє неприпустиме підвищення температури двигуна. Тому особливим етапом при виборі електродвигуна та системи його управління конвеєра є можливість плавного пуску навіть коли стрічка завантажена продукцією.





Рисунок 3.1 – Конвеєри задіяні на підприємстві



Рисунок 3.2 – Конвеєри задіяні на підприємстві

Вимоги до електроприводів конвеєрів [9]:

1. регулювання швидкості не потрібне або потрібне в незначній мірі.
2. статичний момент тертя високий по відношенню до моменту тертя приводу, тому потрібне збільшення пускового моменту.
3. обмежити прискорення і ривок для усунення кочення і прослизання механізму і зниження потужності при наявності пружних з'єднань. Приводи конвеєрів повинні мати характеристику поступового збільшення пускового моменту до початку руху конвеєрної стрічки та обмеження моменту під час розгону до номінальної швидкості.
4. у разі використання декількох приводних барабанів, привід повинен гарантувати синхронізацію роботи приводних барабанів.
5. приводи потужних конвеєрів повинні забезпечувати швидкість уповільнення 1 м/с для проведення перевірки.
6. приводи потужних конвеєрів повинні забезпечувати реверсування в режимі місцевого управління.

Період сталого руху займає більшість часу у конвеєрних установках, тому їх електроприводи характеризуються тривалим режимом роботи. Найчастіше в сталих режимах конвеєри працюють з однією швидкістю, проте в ряді випадків потрібне й регулювання швидкості. Система керування приводом повинна забезпечувати додаткову невелику швидкість для здійснення оглядів стрічки конвеєра при її ревізії та ремонтах. Крім цього слід враховувати, що при змінах вантажопотоку конвеєрів стрічка деякий час може працювати з недовантаженням. Під час цього раціонально зменшити швидкість конвеєра для повного навантаження стрічки. У такому разі в залежності від завантаженості конвеєра, доцільно забезпечити автоматичне регулювання швидкості стрічки з плавним переходом від одного рівня швидкості до іншого. Необхідність рівномірного розподілу навантаження між двигунами в багатодвигуновому електроприводі конвеєру обумовлена відмінностями жорсткості характеристик різних двигунів. Експериментально доказано, що для електроприводів асинхронних двигунів з номінальним ковзанням двигунів 4–6 % відхилення в навантаженнях різних двигунів можуть досягати 15–30 %. З метою

вирівнювання навантажень зараз використовується синхронізація швидкості асинхронних двигунів, з постійним включенням в коло ротора опорів. Для забезпечення сталої роботи конвеєра в основному режимі і режимі налагодження використовуються дистанційне керування та місцеве керування. При дистанційному автоматизованому керуванні пуск головного транспортера і групи конвеєрів для живлення сипким матеріалом основного конвеєра проводиться короткочасним натисканням пускової кнопки і для запобігання завалам стрічки здійснюється в певній послідовності, а саме, проти напрямку вантажопотоку. При необхідності планової зупинки конвеєрної лінії проводиться в зворотному порядку, тобто послідовно, у напрямку потоку. Для можливості монтажу, налагодження та поточного профілактичного ремонту забезпечують переведення всіх механізмів конвеєра на місцеве керування. В режимі місцевого керування передбачено керування з пульта, який розташований біля кожної приводної станції. В цьому режимі привод повинен забезпечувати понижену швидкість конвеєра, що забезпечується допоміжним приводом, встановленим для проведення ремонтних робіт.

В даному розділі роботи буде здійснено проектування системи управління ЕП реалізовану за допомогою пристрою перетворювача частоти. Розглянутий ЕП використовується для роботи стрічкового конвеєра з потужністю двигуна 15 кВт, який працює в тривалому режимі з невеликою зміною навантаження.

### 3.2 Вибір силового перетворювача для живлення приводного двигуна

Частотні перетворювачі - це електронні пристрої, що використовуються для зміни швидкості та обертового моменту асинхронних електродвигунів. Зазвичай вони використовуються в системах автоматичного керування, включаючи промислові та комерційні системи, такі як насоси, вентилятори, компресори, конвеєри та інші.

Частотний перетворювач працює за допомогою подання змінених частоти та напруги живлення на двигун, що дозволяє контролювати швидкість і крутний



момент обертання. Він може бути використаний для збільшення або зменшення швидкості обертання двигуна в залежності від вимог процесу.

Для правильної роботи частотного перетворювача для двигуна необхідно враховувати кілька факторів: тип двигуна, його потужність, номінальну частоту та напругу, а також необхідний діапазон швидкостей. Крім того, необхідно забезпечити правильне настроювання параметрів частотного перетворювача та підбір оптимальних налаштувань залежно від конкретних умов експлуатації.

Однією з головних переваг використання частотних перетворювачів є можливість значного зниження енергоспоживання у процесі експлуатації, що дозволяє значно знизити витрати на енергію. Крім того, використання перетворювача частоти також може покращити точність контролю процесів та знизити знос та пошкодження обладнання.

Частотні перетворювачі мають кілька переваг, які роблять їх більш ефективними та зручними для використання порівняно з іншими методами керування двигунами.

1. Енергоефективність: однією з основних переваг використання частотних перетворювачів є їхня здатність забезпечувати енергоефективність. При використанні частотного перетворювача можна регулювати швидкість обертання двигуна, що дозволяє знизити споживання електроенергії та покращити енергоефективність.
2. Регулювання швидкості: частотні перетворювачі забезпечують регулювання швидкості обертання мотора, що робить їх ідеальним вибором для застосувань, де потрібна зміна швидкості обертання (наприклад для налаштування процесів або зниження зносу обладнання). Регулювання швидкості дозволяє точно налаштувати швидкість обертання мотора та підтримувати її на постійному рівні, що збільшує точність та якість роботи процесу.
3. Збільшення терміну експлуатації двигуна: використання частотних перетворювачів також може збільшити термін служби двигуна. Це пов'язано з тим, що перетворювач частоти може допомогти зменшити навантаження на

двигун, знизити тертя і зношування, що може призвести до більш тривалого терміну служби.

У якості системи керування електроприводу стрічкового конвеєру доцільно обрати перетворювач частоти компанії “LG ELECTRONICS” серії SV150iG5A-4 [16].

Усі особливості даного ПЧ наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри ПЧ SV150iG5A-4

Виробник	LG ELECTRONICS
Тип модуля	інвертор
Максимальна потужність двигуна	15 кВт
Вихідна напруга інвертора	3 x 380 В AC
Діапазон трифазних живлячих напруг	3 x 380...480 В AC
Особливості входу 1	установка швидкості обертання сигналом 0 ... 10В 4 ... 20мА, 0 ... 20мА
Вихід напруги	0...10 В
Електричне підключення	гвинтові клеми
Монтаж	настінний
Спосіб програмування	клавіатура і потенціометр
Додаткові функції	1 аналоговий програмований вихід, 2 цифрові програмовані виходи, 5 цифрових програмованих входу, 8 базових швидкостей
Кількість входів	10
Кількість аналогових виходів	4
Робоча температура	-10...50° С
Вихідна частота	0,1...400 Гц
Час пуску / гальмування	0,1...3600 с
Номінальний струм	45 А
Похибка вихідної частоти	0,01%
Кількість аналогових входів	6
Маса брутто	5,2 кг

У даного ПЧ  $P_H = 15$  кВт, та  $I_H = 36$  А.

Для перевірки ПЧ перевіряємо наступні параметри:

$$P_{\text{ППЧ}} \geq P_{\text{НДВ}}, \quad (3.1)$$

$$15 \text{ (кВт)} = 15 \text{ (кВт)},$$

$$I_{\text{ППЧ}} \geq I_{\text{НДВ}}, \quad (3.2)$$

$$36 \text{ (А)} > 31 \text{ (А)}.$$

Отже обраний ПЧ підходить для системи управління ЕП.

Використання обраного перетворювача частоти для реалізації системи керування електроприводу стрічкового конвеєру можна забезпечити усі необхідні вимоги.

### 3.3 Перевірка двигуна електроприводу

Перевірка умов перегріву і пуску електродвигуна є одним з найважливіших етапів при виборі електродвигуна, оскільки надійність роботи визначається дотриманням цих умов чи ні.

Виконаємо перевірку двигуна за нагрівом.

Визначимо номінальний момент двигуна:

$$M_{\text{НОМ}} = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H}, \quad (3.3)$$

де  $P_H$  – номінальна потужність вибраного двигуна, кВт.

$$M_{\text{НОМ}} = 9550 \cdot \frac{15}{970} = 147 \text{ (Н} \cdot \text{м)}. \quad (3.4)$$

Визначити значення коефіцієнта погіршення тепловіддачі на  $j$ -й ділянці робочої ділянки навантажувальної діаграми приводу.

Для усталеної швидкості.

$$\beta = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_y}{\omega_{\text{ДВ.Н}}}, \quad (3.5)$$

де  $\omega_y$  - усталена кутова швидкість;

$\beta_0$  - коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі ( $\beta_0 = 0,5$ );

$\omega_{дв.н}$  - номінальна кутова швидкість,  $c^{-1}$ ,

$$\beta_{ном} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_{дв1}}{\omega_{дв.н}}, \quad (3.6)$$

$$\beta_{ном} = 0,5 + (1 - 0,5) \frac{101,25}{101,6} = 0,998,$$

При роботі зі змінною швидкістю:

$$\beta_3 = \frac{1 + \beta_0}{2}, \quad (3.7)$$

$$\beta_3 = \frac{1 + 0,5}{2} = 0,75.$$

Визначимо середній момент двигуна:

$$M_{сеп} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3}{t_1 \cdot \beta_3 + t_2 \cdot \beta_{ном} + t_3 \cdot \beta_3}}, \quad (3.8)$$

$$M_{сеп} = \sqrt{\frac{154,76^2 \cdot 2,1 + 115^2 \cdot 57595,8 + 75,24^2 \cdot 2,1}{2,1 \cdot 0,75 + 57595,8 \cdot 0,998 + 2,1 \cdot 0,75}} = 115,12 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Перевірку двигуна за перегрівом виконуємо по моменту:

$$M_{ном} \geq M_{сеп}, \quad (3.9)$$

$$147 \text{ (Н} \cdot \text{м)} > 115,12 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

За перевантаженням:

$$M_{max} = M_{ном} \cdot k_m \geq M_{\Sigma t}, \quad (3.10)$$

$$147 \cdot 2,1 = 308,7 \text{ (Н} \cdot \text{м)} > 154,76 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Виконаємо перевірку вибраного двигуна за умовами пуску. Даний розрахунок здійснюється за умови, що двигун електроприводу має забезпечувати рух механізму при падінні напруги живлення на 10%.

Використавши з паспортних даних вибраного двигуна кратність пускового моменту визначимо даний показник:

$$M_{пуск} = 0,8 \cdot k_{п} \cdot M_{ном}, \quad (3.11)$$

$$M_{пуск} = 0,8 \cdot 1,9 \cdot 147 = 223,4 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

$$M_{\text{пуск}} \geq M_1, \quad (3.12)$$

$$223,4 \text{ (Н} \cdot \text{м)} > 154,76 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Отже двигун проходить необхідні перевірки за допустимим нагрівом, умовами пуску, перенавантаженням та просадки напруги мережі.

### 3.4 Моделювання статичних характеристик

Для побудови штучних механічних характеристик потрібно перетворити залежність моменту від кутової швидкості таким чином, щоб вона залежала від напруги  $U$ , частоти  $f$  і радіальної швидкості обертання  $\omega$ .

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2 \frac{R_2'}{\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{Z_p} - \omega}}{\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{Z_p} \cdot R_1 + \frac{R_2'}{\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{Z_p} - \omega} + X_k^2}, \quad (3.13)$$

Будуємо природну і штучну механічні характеристики двигуна. Природну характеристику будуємо при номінальній частоті 50 Гц, штучні характеристики будуємо для частот величиною 40,30,20 Гц, результати представлені на рисунку 3.3.

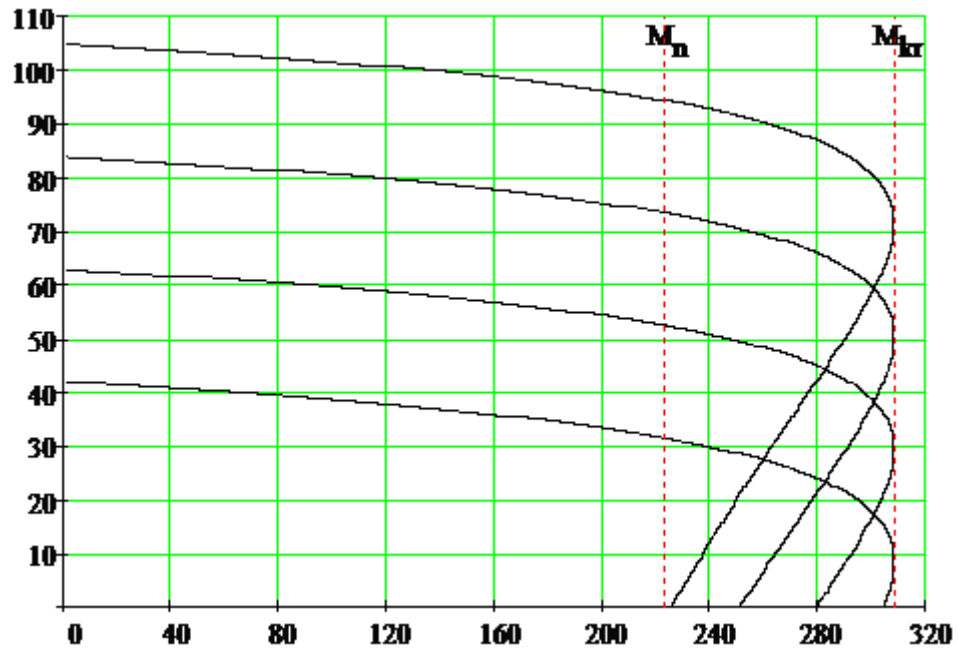


Рисунок 3.3 – Механічні характеристики

Для побудови швидкісних характеристик використовуємо залежність:

$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + X_k^2}}, \quad (3.14)$$

Результати представлені на рисунку 3.4.

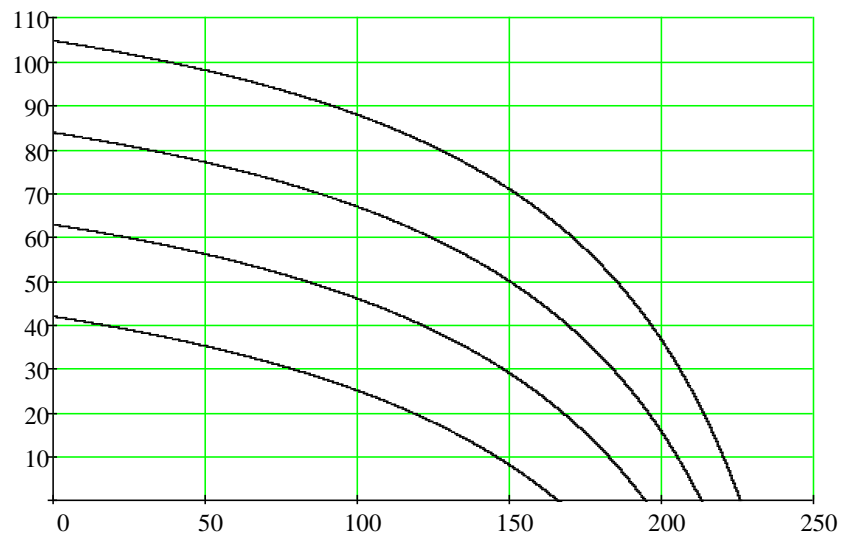


Рисунок 3.4 – Швидкісні характеристики двигуна

В якості електродвигуна обрано АД від ТОВ «Дніпроресурс» типу АІР160М6, параметри якого представлені у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри електродвигуна

Тип двигуна	$S_{\text{н}}$ , кВА	$n_{\text{н}}$ , об/хв	$\cos\varphi$	$\eta_{\text{н}}$ , %	$I_{\text{н}}$ , А	$M_{\text{макс}}/M_{\text{н}}$	$M_{\text{пуск}}/M_{\text{н}}$	$M_{\text{мін}}/M_{\text{н}}$	$I_{\text{пуск}}/I_{\text{н}}$	$J_{\text{д}}$ , кгм <sup>2</sup>	$m$ , кг
АИР160М6	18,5	970	0,81	89	28	2,1	1,9	1,9	2,5	0,075	150

Значення активної та реактивної потужності для асинхронного двигуна визначається за наступними спрощеними рівняннями:

$$P = \frac{U^2 \frac{R_r}{s}}{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X^2}; \quad (3.15)$$

$$Q = \frac{U^2 X}{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X^2}; \quad (3.16)$$

$$P = \frac{380^2 \frac{0,288}{0,03}}{\left(\frac{0,288}{0,03}\right)^2 + 0,184^2} = 15036,14 \text{ (Вт);}$$

$$Q = \frac{380^2 \cdot 0,184}{\left(\frac{0,288}{0,03}\right)^2 + 0,184^2} = 10859,81 \text{ (вар).}$$

Також розрахунок активної та реактивної потужності електродвигуна можна здійснити стандартними формулами знаходження реактивної та активної потужності через величину споживаної напруги, струму та  $\cos\varphi$ :

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 28 \cdot 0,81 = 14927,507 \text{ (Вт);} \quad (3.17)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 28 \cdot 0,59 = 10873,12 \text{ (вар).} \quad (3.18)$$

Повна потужність електродвигуна в такому разі складе:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{14927,507^2 + 10873,12^2} = 18467,681 \text{ (ВА).}$$

Дане значення близьке до паспортного значення потужності АД, що свідчить про вірність розрахунків.

### 3.5 Розробка перехідних процесів при роботі системи управління

Перехідні режими роботи електроприводів - це режими, що виникають під час переходу від одного стаціонарного режиму до іншого, під час пуску, гальмування, реверсу, затінення або при навантаженні на вал.

Перехідна характеристика по струму:

$$A(P) = K_c \cdot (K_{pc} \cdot P + K_{pc}') \cdot K_{пч} \frac{1}{R_\Sigma}, \quad (3.19)$$

$$H_{KC}(P) = \frac{W_{KC}(P)}{P}, \quad (3.20)$$

$$W_{KC}(P) = \frac{1/K_c}{\frac{T_{пч} \cdot T_e \cdot P^4}{A(P)} + \frac{T_{пч} + T_e \cdot P^3}{A(P)} + \frac{1}{A(P)} \cdot P^2 + P}, \quad (3.21)$$

Будуємо графік перехідних процесів для контуру струму (рисунок 3.5).

$$\text{invlaplace}(H_{KC}(P)) \rightarrow h_{KC}(t), \quad (3.22)$$

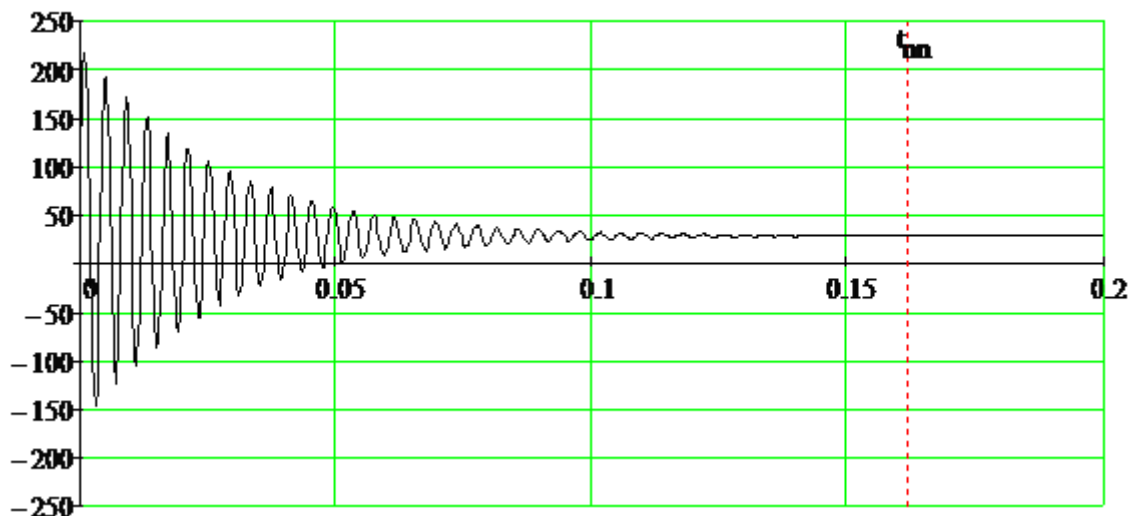


Рисунок 3.5 – Перехідна характеристика по струму

Перехідна характеристика по струму:

$$H_{Kш}(P) = \frac{W_{Kш}(P)}{P}, \quad (3.23)$$

$$W_{Kш}(P) = \frac{1/K_{ш}}{\frac{J'_\Sigma \cdot T_{пч} \cdot T_e \cdot K_C}{A(P) \cdot K_{ш} \cdot K_{рш} \cdot K_M} \cdot P^4 + \frac{J'_\Sigma (T_{пч} + T_e) K_C}{A(P) \cdot K_{ш} \cdot K_{рш} \cdot K_M} \cdot P^3 + \frac{J'_\Sigma \cdot K_C}{A(P) \cdot K_{ш} \cdot K_{рш} \cdot K_M} \cdot P^2 + P}, \quad (3.24)$$



Використовуючи функцію `invlaplace` в програмі `mathcad`, будуємо графік перехідних процесів для контуру струму (рисунок 3.6).

$$\text{invlaplace}(H_{\text{кш}}(P)) \rightarrow h_{\text{кш}}(t), \quad (3.25)$$

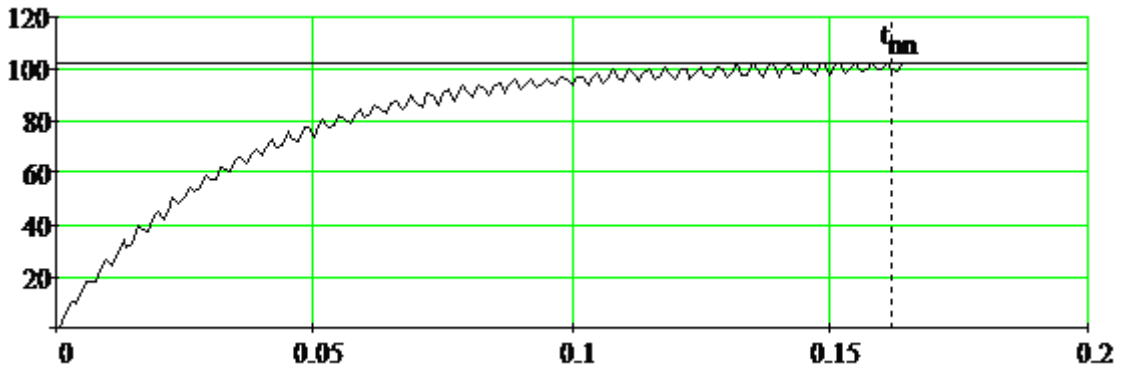


Рисунок 3.6 – Перехідна характеристика по швидкості обертання

Під час пуску електродвигуна змінного струму спостерігається просадка напруги, що веде за собою збільшення величини споживаного струму. Пускові струми можуть бути більшими за номінальне значення в 2-8 разів. Наявність пускового струму призводить до значного зростання споживаної реактивної потужності.

З таблиці 3.2 беремо значення  $I_{\text{пуск}}/I_{\text{н}}$ , яке для даного типу двигуна складає 2,5. Отже значення пускового струму буде рівним  $I_{\text{пуск}} = I_{\text{ном}} \cdot k_{\text{п}} = 28 \cdot 2,5 = 70$ .

Визначаємо значення реактивної потужності електродвигуна під час пуску враховуючи просадку напруги на 10% та збільшення величини струму:

$$Q = \sqrt{3} \cdot (U \cdot 0,9) \cdot I_{\text{пуск}} \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot (U \cdot 0,9) \cdot 70 \cdot 0,59 = 24464,52 \text{ (вар)}; (3.26)$$

$$\Delta Q = Q_{\text{пуск}} - Q_{\text{спож}} = 24464,52 - 10873,12 = 13591,4 \text{ (вар)}.$$

$\Delta Q$  показує, яке значення реактивної потужності буде скомпенсоване системою управління регульованим електроприводом.

Висновки до розділу 3.

Для ТОВ «Панда» актуальним є питання компенсації реактивної потужності шляхом впровадження регульованого електроприводу для досягнення мінімального споживання реактивної енергії, що в свою чергу оптимізує роботу системи електропостачання підприємства.

Для системи керування електроприводом обрано перетворювач частоти компанії “LG ELECTRONICS” серії SV150iG5A-4. Даний інвертор проходить усі необхідні перевірки.

Побудовано природну та штучні механічні та електромеханічні характеристики для різних режимів роботи ЕП.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Відповідно до схеми електричної мережі підприємства, показаної на рис. 4.1, та вихідних даних, приведених у табл. 4.1, 4.2, виконуємо усі необхідні розрахунки техніко-економічних показників спроектованої СЕП.

Таблиця 4.1 – Характеристики трансформаторних підстанцій

Підстанція	Тип трансформатора	Кількість трансформаторів	Факт. потужність підстанції, кВА
ТП 1	ТМ-1000	2	1151,2
ТП 2	ТМ-1000	2	877,143

Таблиця 4.2 – Відомості про кабельні лінії

Найменування ліній	Довжина лінії від ТП до ГПП, м	Марка кабелю	К-сть
ЦРП - ТП1	61	АПвПу-10 (3х35)	2
ЦРП - ТП2	64	АПвПу-10 (3х35)	2

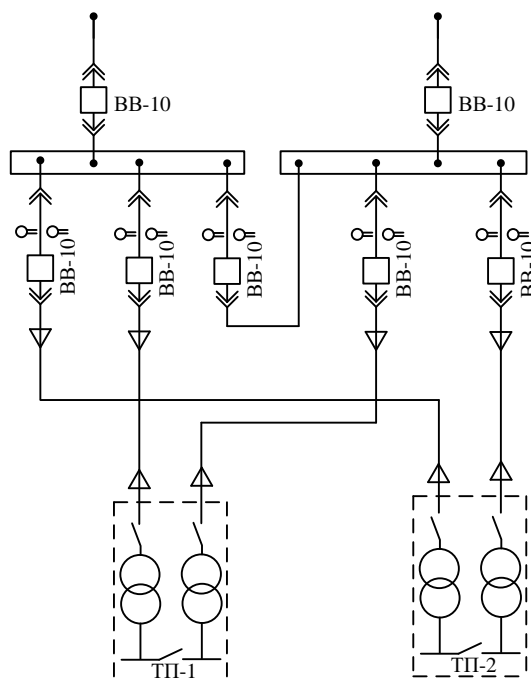


Рисунок 4.1 – Схема електропостачання підприємства

#### 4.1 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання

Розрахунок капіталовкладень в лінії електропередачі виконуємо за вартістю кабелів та їх прокладання, які наведені в табл. 4.3 і табл. 4.4 [10].

Капітальні вкладення для ліній електропередачі:

$$K_{л} = (K_{пит} \cdot n + K_{прок}) \cdot L, \quad (4.5)$$

де  $K_{пит}$  - питома вартість на 1км лінії, тис. грн./км [10];

$K_{прок}$  - питома вартість прокладання, тис. грн./км;

$L$  - довжина лінії електропередачі, км.

$n$  – кількість кабелів в траншеї, шт.

Визначимо вартість прокладання кабельної лінії від ЦРП до ТП1 в ґрунті II категорії без врахування переходів:

$$K_{л1} = (126,59 + 21,52) \cdot 0,061 = 16,76 \text{ (тис.грн.)}$$

Для інших ліній розрахунки виконуються аналогічно, результати розрахунків заносимо в таблиця 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок капіталовкладень для ліній електропередачі

Назва лінії	Марка кабелю	Кількість	Довжина, км	$K_{пит}$ , тис.грн	$K_{прок}$ , тис.грн	Кл, тис.грн
ЦРП-ТП1	АПвПу-10 3х35	2	0,061	126,59	21,52	16,76
ЦРП-ТП2	АПвПу-10 3х35	2	0,064	126,59	21,52	17,58
Разом						34,34

Капітальні вкладення для електричних підстанцій будуть:

$$K_{пс} = \sum_{i=1}^1 K_{псі} + K_{пост}, \quad (4.6)$$

де  $K_{псі}$  – вартість однієї трансформаторної підстанції, тис. грн. [10];

$K_{пост}$  - постійні витрати, що практично не залежать від потужності підстанції і пов'язані з устроєм території, зі створенням майстерень, лабораторій і

диспетчерських пунктів, з будівництвом житла тощо, тис. грн. Постійні витрати прийняти у розмірі 20 % від повної вартості всіх підстанцій.

Визначаємо величину капіталовкладень для трансформаторних підстанцій, наприклад, для ТП-1:

$$K_{пс1} = 936,35 + 159,18 = 1095,53 \text{ (тис.грн)},$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок капіталовкладень для електричних підстанцій

№	Тип т-ра	Кількість	Код, тис.грн	Кпост, тис.грн	Кпс, тис.грн
КТП-1	ТМ-1000	2	936,35	159,18	1095,53
КТП-2	ТМ-1000	2	936,35	159,18	1095,53
Разом:					2191,06

Розрахуємо сумарну вартість вимикачів. Відповідно до схеми, зображеної на рис.1, кількість вимикачів 10 кВ – 7 шт.. Відповідно до рекомендацій приймаємо вартість вимикача 10 кВ рівною (68–74) тис. грн.. Сумарна вартість вимикачів:

$$K_B = 7 \cdot 70 = 490,0 \text{ (тис. грн.)}, \quad (4.7)$$

Вартість підстанцій з вимикачами:

$$K_{пс} = 2191,06 + 490 = 2681,06 \text{ (тис.грн.)}, \quad (4.8)$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства.

$$K = 34,34 + 2681,06 = 2715,4 \text{ (тис.грн.)}. \quad (4.9)$$

## 4.2 Розрахунок поточних витрат

### 4.2.1 Розрахунок потреби в робочій силі

Планова трудомісткість визначається як, люд.-год./рік:

$$T = \Pi \cdot t_{норм} \cdot h, \quad (4.10)$$

де  $\Pi$  – кількість ремонтів даного виду за рік, на одиницю обладнання;

$t_{\text{норм}}$  – норма трудомісткості поточного ремонту або огляду, люд.-год. [10];

$h$  – кількість обладнання певного діапазону потужності, що належить до цього виду ремонтних робіт.

Проводимо розрахунки трудомісткості ремонту електрообладнання та заносимо їх результати до таблиці 3.6.

Планова трудомісткість технічного обслуговування кожної групи енергетичного устаткування і мереж складає, люд.-год./рік:

$$T_{\text{то}} = 12 \cdot t_{\text{пр}} \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot h, \quad (4.11)$$

де 12 – кількість місяців у році;

$t_{\text{пр}}$  – планова (таблична) трудомісткість поточного ремонту одиниці устаткування люд.-год [10];

$K_{\text{ср}}$  – коефіцієнт складності ремонту, який показує частку трудомісткості поточного ремонту, необхідну для технічного обслуговування енергетичного обладнання і мереж на кожен місяць планованого року, 1/міс,  $K_{\text{ср}} = 0,1$ .

$h$  – кількість обладнання в групі.

Проводимо розрахунки трудомісткості технічного обслуговування іншого електрообладнання та заносимо їх результати до таблиця 4.5.

Таблиця 4.5 – Трудомісткість поточного ремонту та огляду

Обладнання	n, шт	Поточний ремонт			Огляд		
		К-сть на одиницю обладнання рем/рік	Норма трудомісткості люд.-год.	Заг. трудомісткість люд.-год.	К-сть на одиницю обладнання огл./рік	Норма трудомісткості люд.-год.	Заг. трудомісткість люд.-год.
Вимикач 10кВ	7	1	16	112	12	1	84
ТМ-1000	4	0,33	120	158,4	12	20	960
Кабельна лінія 35 мм <sup>2</sup> , км	0,25	1	54	13,5	1	13,5	3,375
Разом:				283,9			1047,375

Таблиця 4.6 – Трудомісткість технічного обслуговування і загальна трудомісткість

Обладнання	К-сть, шт.	Технічне обслуговування				Загальна трудомісткість обслуговування люд.-год.
		Змінність роботи	Коеф. склад. ремонтів К <sub>сп</sub>	К-сть місяців в році	Загал. трудомісткість люд.-год.	
Вимикач 10кВ	7	2	0,1	12	268,8	352,8
ТМ-1000	4	2	0,1	12	1152	2112
Кабельна лінія 35 мм <sup>2</sup> , км	0,25	2	0,1	12	32,4	35,775
Разом:					1453,2	2500,575

Відповідно знаходимо кількість експлуатаційних робітників, чол.:

$$N_{\text{обс}} = \frac{2500,575}{1900 \cdot 1,05} = 1,25. \quad (4.12)$$

та персоналу для ремонтних робіт, чол.:

$$N_{\text{тр}} = \frac{283,9}{1900 \cdot 1,1} = 0,14. \quad (4.13)$$

Приймаємо за нормами ПУЕ  $N_{\text{тр}} = 2$  чол.,  $N_{\text{обс}} = 2$  чол.

#### 4.2.2 Розрахунок витрат по заробітній платі

Фонд прямої заробітної плати:

а) для робітників, зайнятих на роботах по експлуатації й обслуговуванню енергообладнання і мереж, розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_e = N_{\text{обс}} \cdot \beta_n \cdot t_{\text{ре}} \cdot \Phi_d, \quad (4.14)$$

Годинну тарифну ставку рекомендується розраховувати за формулою:

$$t_{\text{ре}} = ((K3 + K4) / 2) \cdot C_I, \quad (4.15)$$

де  $K3, K4$  – тарифні коефіцієнти III та IV розрядів, відповідно, [10];

$C_I$  – годинна тарифна ставка, що відповідає I розряду, визначається за формулою:

$$C_i = \frac{Z_{\min} \cdot k_{r,i}}{\Phi_H}, \quad (4.16)$$

$$C_I = 7100 \cdot 1/176 = 40,34 \text{ (грн./год.)}.$$

Тоді годинна тарифна ставка 3,5 розряду становитиме:

$$t_{re} = ((1,18+1,27)/2) \cdot 40,34 = 49,418 \text{ (грн./год.)}, \quad (4.17)$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = 2 \cdot 0,9 \cdot 49,418 \cdot 1900 = 169008,239 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.18)$$

б) для робітників, які виконують поточний ремонт енергоустаткування, фонд прямої заробітної плати розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_p = T_{пр} \cdot t_{гр}, \quad (4.19)$$

$$t_{гр} = (K4+K5)/2 \cdot C_I, \quad (4.20)$$

де  $K4, K5$  – тарифні коефіцієнти IV та V розрядів, відповідно, [10].

Розраховуємо годинну тарифну ставку 4,5 розряду:

$$t_{гр} = ((1,27+1,36)/2) \cdot 40,34 = 53,05 \text{ (грн./год.)},$$

$$\Phi_p = 283,9 \cdot 53,05 = 15060,41 \text{ (грн./рік)}.$$

Фонд основної заробітної плати, грн./рік:

$$\Phi_o = \Phi(1+0.05+0.01+\alpha), \text{ (грн./рік)}, \quad (4.21)$$

де  $\Phi$  - тарифний фонд  $\Phi_e$  експлуатаційних робітників або фонд прямої заробітної плати  $\Phi_p$  ремонтного персоналу, грн./рік;

0.01 - частка доплат за роботу у святкові дні;

0.05 - частка доплат за роботу в нічний час;

$\alpha$  - частка преміальних доплат для відповідної категорії робітників.

Величина основної заробітної плати для експлуатаційних робітників:



$$\Phi_{oe} = 169008,24 \cdot (1+0,05+0,01+0,2) = 212950,38 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.22)$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = 15060,41 \cdot (1+0,05+0,01+0,25) = 19729,14 \text{ (грн./рік)}. \quad (4.23)$$

Величина додаткової заробітної плати визначається в розмірі 15% від фонду основної заробітної плати. Тому сумарна величина фонду з врахуванням додаткової заробітної плати складе, грн./рік:

$$\Phi_{од} = \Phi_o \cdot 1,15, \quad (4.24)$$

$$\Phi_{оed} = 21295,38 \cdot 1,15 = 244892,94 \text{ (грн./рік)},$$

$$\Phi_{орд} = 19729,14 \cdot 1,15 = 22688,51 \text{ (грн./рік)}.$$

З метою утворення фонду соціального страхування здійснюються нарахування на заробітну плату. З цього фонду кошти витрачаються на виплату по тимчасовій втраті працездатності, оплату відпусток по вагітності, санаторно-курортні лікування й організацію відпочинку працівників, оздоровчі заходи для дітей працівників та інше.

Крім того, на заробітну плату здійснюються нарахування в пенсійний фонд та фонд зайнятості. Отже, витрати по заробітній платі ( $C_{зп}$ ) розраховуються так, грн./рік:

$$C_{зп} = \Phi_{об} \cdot \left( 1 + \frac{\beta_{п} + \beta_{з} + \beta_{с}}{100} \right), \quad (4.25)$$

де  $\beta_{п}$  - нарахування в пенсійний фонд,  $\beta_{п} = 33\%$  ;

$\beta_{з}$  - нарахування у фонд зайнятості,  $\beta_{з} = 1,5\%$  ;

$\beta_{с}$  - нарахування на соціальне страхування,  $\beta_{с} = 1,5\%$ .

Розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{зпе} = 244892,94 \cdot \left( 1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 333054,4 \text{ (грн./рік)},$$

і ремонтному персоналу:

$$C_{\text{зпр}} = 22688,51 \cdot \left( 1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 30856,37 \text{ (грн./рік)}.$$

#### 4.2.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються

Необхідні для розрахунку дані заносимо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Розрахунок вартості матеріалів, включених у норму витрат

Матеріал	Ціна матеріалу, грн.	Норми витрат матер. На 100 люд.-год. Трудомісткості ремонту і тех. Обслуговування				Вартість матеріалу, грн.			
		1000	1600	2500	10000	1000	1600	2500	10000
Силові трансформатори		1000	1600	2500	10000	1000	1600	2500	10000
Сталь сортова, кг	7,5	6	7	7	10	44,95	52,44	52,44	74,91
Провід установлюваний, м	3,1	0,5	0,5	0,5	0,5	1,55	1,55	1,55	1,55
Мідь-алюміній (гола), кг	69,8	62	73	73	79	4324,5	5091,75	5091,75	5510,25
Картон електроізоляційний, кг	33,6	1,4	1,6	1,6	1,7	47,08	53,81	53,81	57,17
Лакотканина (ширина 700мм), м	93,3	0,2	0,21	0,21	0,3	18,65	19,59	19,59	27,98
Кабельний папір, кг	27,5	0,6	0,6	0,6	0,6	16,5	16,5	16,5	16,5
Стрічка кіперна, кг	336,3	40	41	41	42	13452	13788,3	13788,3	14124,6
Стрічка тафтяна, кг	249,8	18	24	24	28	4497,12	5996,16	5996,16	6995,52
Стрічка азбестова, м	7,4	0,05	0,08	0,08	0,09	0,37	0,59	0,59	0,66
Лаки ізоляційні, кг	40,2	1,5	1,6	1,6	1,8	60,35	64,37	64,37	72,41
Емалі ґрунтові, кг	44,1	2,5	3,1	3,1	3,2	110,33	136,8	136,8	141,22
Масло трансформаторне, кг	13,6	0,58	1,2	1,2	1,3	7,91	16,36	16,36	17,73
Бензин, кг	6,9	0,7	0,9	0,9	1	4,84	6,23	6,23	6,92
Розчинники кг	19,5	0,8	1	1	1,2	15,6	19,5	19,5	23,4
Маслостійка гума, кг	50	0,4	0,5	0,5	0,6	20	25,01	25,01	30,01
Гума профільна, кг	50	0,13	0,09	0,09	0,09	6,5	4,5	4,5	4,5
Припій олов'яно-свинцевий, кг	476,1	0,02	0,02	0,02	-	9,52	9,52	9,52	-
Припій мідно-фосфорний, кг	88,5	0,03	0,03	0,03	-	2,66	2,66	2,66	-
Електроди, кг	16,4	0,15	0,2	0,2	0,3	2,47	3,29	3,29	4,93
Засоби кріплення, кг	20,9	2	2,5	2,5	3	41,88	52,35	52,35	62,82
Дріт кручений,	2,7	0,3	0,3	0,3	0,37	0,82	0,82	0,82	1,01
Матеріали обгиску, кг	27,3	0,4	0,5	0,5	0,5	10,91	13,64	13,64	13,64
Разом:						22696	25376	25376	27188
Кабельні лінії									
Сталь сортова, кг	7,5	2				15			
Електроди, кг	16,5	0,1				1,6			
Разом:						16,6			

Вартість матеріалу на технічну операцію:

$$C_m = 0,01 \cdot \left( \sum_{i=1}^n C_{oi} \cdot T_i + L \cdot C_{л0} \right), \quad (4.26)$$

де  $C_{oi}$  – питома вартість витратних матеріалів на обслуговування  $i$ -го виду трансформаторів,

$T_i$  – трудомісткість обслуговування  $i$ -го виду трансформаторів,

$L$  – сумарна довжина кабелів,

$C_{л0}$  – питома вартість матеріалів на обслуговування кабелів.

Отже, вартість матеріалів на ремонт:  $C_{мпр} = 35952,71$  (грн/рік);

і вартість матеріалів на технічне обслуговування:  $C_{мто} = 479345,5$  (грн / рік).

Отже, можна розрахувати:

витрати на обслуговування електроустановок і мереж, тис. грн/рік:

$$C_{обс} = C_{зпе} + C_{мто}, \quad (4.27)$$

$$C_{обс} = 333054,4 + 479345,46 = 812399,85 \text{ (грн/рік);}$$

та витрати на їх поточний ремонт, грн/рік:

$$C_{пр} = C_{зпр} + C_{мпр}, \quad (4.28)$$

$$C_{пр} = 30856,37 + 35952,71 = 66809,08 \text{ (грн/рік).}$$

#### 4.2.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат

Знаходимо амортизаційні відрахування за формулою:

$$C_a = a \cdot K, \quad (4.29)$$

де  $a$  – норма амортизації, %

$K$  – капіталовкладення, грн.

$$C_a = 0,06 \cdot 2715396,5 = 162923,79 \text{ (грн/рік).}$$

Окремою складовою в кошторисі річних поточних витрат є інші витрати:

$$C_{ip} = \beta_{ip}(C_{обс} + C_{пр} + C_a); \quad (4.30)$$

де  $\beta_{ip}$  - коефіцієнт відрахувань на інші витрати.

$$C_{ip} = 0,25 \cdot (812399,85 + 66809,08 + 162923,79) = 260533,18 \text{ (грн/рік)}.$$

Після визначення всіх елементів витрат підприємства, необхідних для передавання і розподілення електроенергії, зведемо їх в таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Кошторис річних поточних витрат

Стаття витрат	Величина витрат, грн	Структура, % до підсумку
Витрати по експлуатації енергоустановки і мереж	812399,85	62,36
Витрати на поточний ремонт	66809,08	5,13
Витрати на амортизацію	162923,79	12,51
Інші витрати	260533,18	20,00
Разом	1302665,90	100

### 4.3. Розрахунок собівартості електроенергії

4.3.1 Розрахунок річного споживання і витрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію

Розрахунок обсягу споживання визначається, виходячи з розрахункової потужності, яка визначається як добуток установленної (номінальної) потужності усіх електроприймачів, коефіцієнта попиту і кількості годин використання максимуму навантаження, тис. кВт·год./рік:

$$E_{ai} = P_p \cdot T_{mi}, = K_{п} \cdot P_{ном} \cdot T_{mi}, \quad (4.31)$$

Для прикладу визначимо річні витрати активної електроенергії для Прохідної:

$$E_{ai} = 12,06 \cdot 4000 = 48221,0 \text{ кВт год./ рік .}$$

Аналогічно визначаємо річні витрати активної електроенергії для інших цехів. Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.9.

Необхідно також визначити річні витрати реактивної електроенергії.

Таблиця 4.9 – Річні витрати активної електроенергії по цехах

№	Назва цеху	К-сть змін	Sp, кВА	Tм, год.	cos φ	Pp, кВт	Ea, кВт·год./рік
1	Прохідна	1	12,81	4000	0,95	12,06	48221
2	Адмін. Корпус	1	90,88	4000	0,9	81,72	326899
3	Лабораторія	1	131,18	4000	0,9	117,61	470435
4	Робочий цех	1	117,34	4000	0,95	110,62	442464
5	Компресорна	1	445,50	4000	0,65	292,00	1167994
6	Пакувальний цех	1	158,39	4000	0,82	130,44	521773
7	Виробництво піддонів	1	114,46	4000	0,95	107,74	430965
8	Склад полімерних заготовок	1	41,23	4000	0,9	37,12	148474
9	Склад готової продукції	1	58,00	4000	0,9	52,12	208474
10	Цех підготовки виробництва	1	220,89	4000	0,87	193,68	774720
11	Розвантажувальний цех	1	124,36	4000	0,9	111,61	446432
12	Виробничий цех	1	437,89	4000	0,75	336,73	1346934
13	Свердловина	1	108,08	4000	0,65	70,92	283680
	Разом					1654,366	6617464

Втрати електроенергії в лініях розраховуємо так:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot n \cdot I_{\text{м}}^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3}, \quad (4.32)$$

де  $I_{\text{м}}$  – максимальний струм у лінії, А;

$\tau$  – час максимальних втрат, год./рік.

$R$  – активний опір проводу або кабелю однієї фази, Ом;

$$R = r_0 \cdot L; \quad (4.33)$$

де  $r_0$  – питомий опір однієї фази кабелю, Ом / км (див. табл. 10.25 [2]),

Величина  $\tau$  визначається за часом використання максимального навантаження:

$$\tau_{\text{м}} = \left( 0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left( 0,124 + \frac{4000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2405,3 \text{ (год)}, \quad (4.34)$$

Для лінії ЦРП –ТП1:

Активний опір однієї фази кабелю від ЦРП до ТП1:

$$R = 0,061 \cdot 0,89 = 0,054 \text{ Ом.}$$

Відповідно втрати електроенергії в лінії ГПП-ТП1:

$$\Delta E_{л} = 3 \cdot 2 \cdot 33,23^2 \cdot 0,054 \cdot 2405,3 \cdot 10^{-3} = 865,28 \text{ (кВт}\cdot\text{год./рік)}.$$

Аналогічно виконуємо розрахунок втрат електроенергії в інших лініях і результати заносимо до таблиця 4.10.

Таблиця 4.10 – Втрати електроенергії в лініях

Лінія	Марка кабелю	К-сть ліній	L, км	I <sub>м</sub> , А	R, Ом	τ, год./рік	R <sub>пит</sub> , Ом/км	ΔE <sub>л</sub> , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвПу-10 3х35	2	0,061	33,23	0,054	2405,29	0,89	865,283
ЦРП-ТП-2	АПвПу-10 3х35	2	0,064	25,32	0,057	2405,29	0,89	527,045
Разом								1392,3

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

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

де n - кількість трансформаторів;

ΔP<sub>кз</sub> і ΔP<sub>xx</sub> – величини номінальних втрат у трансформаторах, відповідно, при короткому замиканні і холостому ході, кВт;

T<sub>p</sub> - час роботи трансформаторів, год./рік (приймається рівним 8760 год./рік);

S<sub>φ</sub> - фактична потужність, яка передається через трансформатори, кВА;

S<sub>H</sub> - номінальна потужність одного трансформатора, кВА.

Відповідно втрати енергії в трансформаторах ТП-1:

$$\Delta E_T = 2 \cdot 2,1 \cdot 8760 + (1/2) \cdot 10,5 \cdot \left( \frac{1151,2}{1000} \right)^2 \cdot 2405,3 = 53527,07 \text{ (кВт}\cdot\text{год./рік)}.$$

Для інших ТП проводимо аналогічні розрахунки і їх результати зводимо у табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Втрати енергії в трансформаторах

№	Тип	шт	$\Delta P_x$ , кВт	$\Delta P_k$ , кВт	$S_p$ , кВА	$S_n$ , кВА	$\Delta E_T$ , кВт*год./рік
КТП-1	ТМ-1000	2	2,1	10,5	1151,2	1000	53527,07
КТП-2	ТМ-1000	2	2,1	10,5	877,143	1000	46507,54
разом							100034,61

Загальна потреба підприємства в електроенергії, кВт·год./рік:

$$E = E_a + \Delta E_{\text{л}} + \Delta E_T; \quad (4.37)$$

$$E = 6617464 + 1392,33 + 100034,61 = 6718890,93 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Оплата за спожиту електроенергію:

$$\Pi_1 = 6,6949 \cdot 6718890,93 = 44982302,92 \text{ (грн.)}; \quad (4.38)$$

#### 4.3.2 Розрахунок собівартості електроенергії

Собівартість корисної, споживаної підприємством кіловат-години електроенергії, коп./кВт·г:

$$S = \frac{C_{\text{сум}} \cdot 100}{E_a}, \quad (4.39)$$

де  $C_{\text{сум}}$  – величина сумарних витрат підприємства на електроенергію, тис.грн/рік;

$E_a$  – річна кількість корисно споживаної підприємством електроенергії, тобто без врахування втрат у лініях і трансформаторах, кВт·год./рік.

Отже, загальні (сумарні) витрати підприємства на електроенергію за рік будуть складати, тис. грн./рік:

$$C_{\text{сум}} = \Pi + C_{\text{п}}, \quad (4.40)$$

де  $\Pi$  – оплата за спожиту електроенергію;

$C_{\text{п}}$  – річні витрати підприємства при передаванні електроенергії.

Річні витрати промислового підприємства, зв'язані з передаванням і розподілом електричної енергії, включають такі складові, тис.грн/рік:

$$C_{\pi} = C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a + C_{\text{ір}}, \quad (4.41)$$

де  $C_{\text{обс}}$  – витрати підприємства на матеріали та зарплату персоналу при обслуговуванні електромереж і устаткування, грн/рік.;

$C_{\text{пр}}$  – річні витрати на поточний ремонт устаткування і мереж, грн/рік;

$C_a$  – амортизаційні відрахування при експлуатації електроустановок підприємства, грн/рік;

$$C_{\pi} = 812399,85 + 66809,08 + 162923,78 + 260533,18 = 1302665,9 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, сумарні витрати визначаються так:

$$C_{\text{сум}} = 44982302,92 + 1302665,9 = 46284968,82 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, собівартість електроенергії

$$S = \frac{46284968,82 \cdot 100}{6617464} = 699,44 \text{ (коп./кВт·год.)}.$$

Для наочності результати розрахунків зводимо в таблицю 4.12.

Таблиця 4.12 – Результати розрахунків

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
К-сть корисно спожитої ел.енергії	$E_a$	6617464	кВт·год.
Річне споживання ел.енергії із втратами	$E$	6718890,93	кВт·год.
Плата за електроенергію	$\Pi_1$	44982302,92	грн.
Витрати на передачу і розподіл ел.енергії	$C_{\pi}$	1302665,90	грн.
Сумарні витрати під-ва	$C_{\text{сум}}$	46284968,82	грн.
Собівартість ел.енергії	$S$	699,44	коп/кВт·год.

В даному розділі дипломної роботи було проведено розрахунок основних техніко-економічних показників спроектованої СЕП підприємства та розраховано собівартість електричної енергії яка склала 699,44 коп/кВт·год.



## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі магістерської дипломної роботи розробляються заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в процесі оптимізації системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Панда». На електротехнічний персонал, який здійснює модернізацію та подальше обслуговування електрообладнання ТОВ «Панда», впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [19, 20].

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

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил).

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

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

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

Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, слід вжити у вказаному порядку таких технічних заходів:

- здійснити необхідні відключення і вжити заходів, що перешкоджають помилковому або самочинному ввімкненню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;
- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, які слід

заземлити для захисту людей від ураження електричним струмом;

- встановити заземлення (ввімкнути заземлювальні ножі, встановити переносні заземлення);

- обгородити, за необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишилися під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов, струмопровідні частини обгородити до чи після їх заземлення.

Під час оперативного обслуговування електроустановки двома і більше працівниками в зміну перелічені в цьому пункті заходи мають виконувати два працівники. В разі одноособового обслуговування їх може виконувати одна особа, крім накладання переносних заземлень і здійснення перемикань, що проводяться на двох і більше приєднаннях в електроустановках напругою понад 1000 В, які не мають діючих пристроїв блокування роз'єднувачів від неправильних дій [24,25].

Перевіряти відсутність напруги необхідно покажчиком напруги заводського виготовлення, справність якого перед застосуванням слід перевірити за допомогою призначених для цього спеціальних приладів або наближенням до струмовідних частин, розташованих поблизу, які явно перебувають під напругою.

В електроустановках напругою понад 1000 В користуватися покажчиком напруги необхідно в діелектричних рукавичках.

Якщо покажчик напруги падав або був підданий механічним ударам, то користуватися ним без повторної перевірки забороняється.

У ВРУ напругою до 220 кВ перевіряти відсутність напруги покажчиком дозволяється тільки в суху погоду.

Під час туману, дощу, снігопаду відсутність напруги допускається перевіряти ретельним простежуванням схеми в натурі. У цьому випадку відсутність напруги на лінії, що відходить, підтверджується оперативними працівниками.

Якщо під час перевірки схеми будуть помічені ознаки наявності напруги (корона на ошиновці та іншому устаткуванні, або іскріння під час комутації роз'єднувачів), то схему слід перевірити повторно, про свої зауваження щодо стану устаткування повідомити оперативних працівників [24,25].

Замінювання ламп і чищення арматури світильників будь-якої конструкції,

встановлених на опорах всіх типів або на кронштейнах, а також підвішених на тросах, в разі проведення роботи з телескопічної вишки з ізолювальною секцією допускається виконувати за розпорядженням без зняття напруги з проводів.

У світильниках, встановлених нижче фазних проводів, роботу допускається проводити з опори або з приставної драбини, виготовленої з ізоляційних матеріалів. Ця робота провадиться керівником робіт з одним або кількома членами бригади з групою II.

Заміна ламп та очищення арматури світильників будь-якої конструкції, встановлених на залізобетонних та металевих опорах і на кронштейнах, в разі проведення роботи з телескопічної вишки без ізолювальної секції або з опори, приставної драбини із ізоляційних матеріалів виконуються за нарядом зі зняттям напруги з усіх підвішених на опорі проводів і обов'язковим їх заземленням.

Підніматися до світильників під час виконання робіт, зазначених в цьому пункті, дозволяється тільки керівнику робіт або члену бригади з групою III.

Під час роботи на пускорегулювальній апаратурі ламп до відключення її від загальної схеми світильника необхідно заздалегідь від'єднати від мережі живлення.

### 5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання підприємства та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що реконструюються та будуються, є струмопровідною.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ – спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх потрібно захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні

властивості.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізолюваними струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями – 5 см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустановками. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробію і створити небезпеку при дотику людини до ізолюваних проводів.

Забороняється для освітлення робіт під час розбирання, демонтажу користуватися електричною мережею будівлі, що розбирається. Для освітлення цих робіт повинна бути влаштована спеціальна тимчасова електрична мережа і встановлені освітлювальні прилади.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат виробничого приміщення

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99. Електромонтажні роботи відносяться до категорії Пб по важкості праці. Енерговитрати за цією категорією становлять – до 140-174Вт.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 5.1 [25].

### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м<sup>3</sup> [25].

При здійсненні будівельно-монтажних робіт виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні в приміщення може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при оздоблювальних технологічних процесах в будівництві, що знаходяться в повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК

відповідно наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С Допустима		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Верхня межа	Нижня межа	Допустима	Допустима
Холодний	ІІб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

Для забезпечення складу повітря робочої зони проектом передбачені наступні рішення:

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

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні для обслуговуючого персоналу

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

### 5.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [27] розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів).

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

#### 5.2.4 Виробничий шум

Джерелом шуму є обладнання, машини, механізми та верстати – механічний шум. Під час виконання будівельно-монтажних робіт виникає виробничий шум з такими характеристиками: за характером спектру – широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням – механічний і гідродинамічний. Допустимі рівні звукового тиску,

рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами СН 32.23 і наведені в таблиці 5.4 [28].

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

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

#### 5.2.5 Виробничі вібрації

Допустимі рівні загальної вібрації на постійних місцях у виробничих приміщеннях наведені в таблиці 5.5 [29].

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

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

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

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

#### 5.2.6 Фактори трудового процесу

Робота електротехнічного персоналу є достатньо складною і потребує різних навичок та характеристик працюючого, тому і впливи від робіт різні і визначаються за Державними санітарними нормами та правилами «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [19].

Важкість праці визначається за дод. 15 [19], звідки видно, що даний вид робіт за показниками важкості умов праці характеризується як допустимі умови праці.

-енергозатрати організму: при регіональному навантаженні (з переважною участю м'язів рук та плечового суглоба) – до 7800;

-загальні енергозатрати організму, Вт – до 290;

-робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної);

-нахили тулуба (вимушені, більше 30°), кількість за зміну: 51-100;

Напруженість праці визначається за дод. 16 [19], робота відноситься до інтелектуальної, і має наступні характеристики:

-зміст роботи: відсутня необхідність прийняття рішення;

-сенсорні навантаження : 51-75;

-розмір об'єкта розрізнення (при відстані від очей працюючого до об'єкта розрізнення не більше 0,5 м), мм, % часу зміни: 5,0-1,1 мм більше 50% часу;

-тривалість робочого дня, год. – 8 годин;

-змінність роботи - однозмінна робота (без нічної зміни).

Дані характеристики вказуються на те, що за напруженістю робота інженера-проектувальника (цивільне будівництво), який здійснює чисельне моделювання перерозподілу зусиль між елементами кущового пальового фундаменту в залежності



від кількості палів відноситься до другого класу з допустимими умовами напруженості праці (напруженість праці середнього ступеня).

### 5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи СЕП ТОВ «Панда» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Всі системи електропостачання мають свої слабкі ланки до і є досить вразливими до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. СЕП є особливо уразливі через велику територію та безліч елементів можливого впливу НС. Електропостачання багатьох об'єктів є стратегічним елементом, тому і важливим є питання забезпечення високої стійкості роботи систем електропостачання, особливо заводів воєнного призначення [35].

Вплив радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища тощо. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання є електронне обладнання систем електропостачання. Серед елементів є напівпровідники, блок живлення, блок керування та силові елементи, транзистори, діоди. Через впливи на ізоляцію в трансформаторах можливі замикання обмоток, а відповідно і вигорання обмоток чи загорання трансформаторів.

Після опромінення системи електропостачання в елементах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизиться напруга пробною і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Особливо велику загрозу для систем управління СЕП має вплив електромагнітного імпульсу, який може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також внести серйозні порушення в роботу цифрових і контрольних пристроїв. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання [35]. Ці наслідки в подальшому призводять до пожеж на підприємстві та вибухів. Ці вторинні фактори

надто небезпечні при виникненні на воєнному заваді. Саме тому є необхідність запобіганню дії цього фактору на електричне та електронне обладнання СЕП.

### 5.3.1 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання ТОВ «Панда» в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій стійкості роботи системи приймається допустима доза  $D_{don}(P)$  або граничне значення рівня радіації  $P_{cp}$  ( $P/год$ ), при яких система буде нормально працювати.

Визначаємо граничні значення дози опромінення  $D_{грi}$  для елементів системи, при яких виникають незворотні зміни [35]. Отримані дані заносимо в таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Граничні значення експозиційних доз елементів СЕП

№ п/п	Системи	Блок	Елементи РЕА	$D_{грi}, P$	$D_{гр}, P$
1	Пульт Керування	Блок живлення $U_{ж} = 12(B)$	Транзистор IRF7640	$10^4$	$10^4$
			Конденсатор E5R101M12B	$10^7$	
			Діод SMBJ12CA	$10^4$	
2	Система збору і Обробки даних	Блок пам'яті $U_{ж} = 12(B)$	Мікросхема REF5025CA	$10^4$	
			Мікросхема LM27313XMF	$10^4$	
			Транзистор IRFB3207Z	$10^5$	
3	Система аварійного вимикання	Блок захисту $U_{ж} = 9(B)$	Діод DALC208SC6	$10^6$	
			Транзистор IRLML6401TRPBF	$10^4$	
			Фотоелемент DIR10	$10^4$	

Проаналізувавши дані таблиці 5.6, визначили, що самим уразливими елементами системи електропостачання з мінімальною дозою  $D_{гр} = 10^4 P$  є мікросхеми та діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{п}})}{K_{осл}}, \quad (5.4)$$

де  $P_1$  – максимальне значення рівня радіації ( $P_1=5,43 P/год$ );

$t_k$  – час кінця опромінення ( $t_k = 43800$  год (5 років));

$t_{п}$  – час початку опромінення ( $t_{п} = 1$  год).

$K_{осл}$  – коефіцієнт послаблення радіації ( $K_{осл} = 1$ ).

$$D_m = \frac{2 \cdot 5,43 (\sqrt{43800} - \sqrt{1})}{1} = 2\,261,97 \text{ (Р)}.$$

Оскільки  $D_{сп} > D_m$ , то дана система електропостачання може вважатися стійкою до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_{\partial} = \left( \frac{D_{сп} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1} \right)^2, \quad (5.5)$$

$$t_{\partial} = \left( \frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 5,43 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5,43} \right)^2 = 849\,734,25 \text{ (год)}.$$

Отже, можливо доза опромінення елементної бази  $D_m = 2261,97 \text{ Р}$ , а допустима -  $10^4 \text{ Р}$ . Отже, система електропостачання є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в заданих умовах становить 849 734,25 год. при рівні радіації 5,43 Р/год, це більше ніж час морального старіння елементів СЕП. Отже, проводити заходи щодо підвищення безпеки її роботи не потрібно.

### 5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання ТОВ «Панда» в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початкові дані:  $E_B = 11,39 \text{ кВ/м}$ .  $U_{ж} = 220\text{В}$ ; 5В.

Оцінка стійкості роботи системи електропостачання ведеться в послідовності:

1. Визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_B = 10^{-3} \cdot 11,39 \cdot 10^3 = 11,39 \text{ (В/м)};$$

2. Система електропостачання ТОВ «Панда» розподіляється на окремі функціональні вузли, зокрема: система живлення, мікропроцесорний блок [35].

На кожній ділянці визначається максимальна довжина вертикальної і горизонтальної струмопровідної частини  $l_B$  і  $l_{\Gamma}$

На ділянці системи живлення максимальна довжина вертикальної і горизонтальної струмопровідної частини  $l_{B,ж} = 0,13 \text{ м}$ ,  $l_{\Gamma,ж} = 0,11 \text{ м}$ . На ділянці мікропроцесорного блоку  $l_{B,м} = 0,017 \text{ м}$ ,  $l_{\Gamma,м} = 0,021 \text{ м}$ .

3. Для кожної ділянки визначаються напруги у струмопровідних частинах.

На ділянці системи живлення:

$$U_{В.ж} = E_{Г} \cdot I_{В.ж} = 11,39 \cdot 0,13 = 1,481 \text{ (В)};$$

$$U_{Г.ж} = E_{В} \cdot I_{Г.ж} = 11,39 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = 1252,9 \text{ (В)}.$$

На ділянці мікропроцесорного блоку:

$$U_{В.м} = E_{Г} \cdot I_{В.м} = 11,39 \cdot 0,017 = 0,194 \text{ (В)};$$

$$U_{Г.м} = E_{В} \cdot I_{Г.м} = 11,39 \cdot 10^3 \cdot 0,021 = 239,19 \text{ (В)}.$$

4. Визначається допустиме коливання напруги живлення

$$U_{Д} = U_{ж} + \frac{U_{ж} \cdot N}{100} \text{ (В)},$$

де  $N$  – допустимі коливання, %.

На ділянці системи живлення:

$$U_{Дж} = U_{ж} + \frac{U_{ж} \cdot N}{100} = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231 \text{ (В)}.$$

На ділянці мікропроцесорного блоку:

$$U_{Дм} = U_{м} + \frac{U_{м} \cdot N}{100} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,2 \text{ (В)}.$$

5. Визначаються коефіцієнти безпеки

$$K_{БВ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{Д}}{U_{В}}, \quad K_{БГ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{Д}}{U_{Г}}.$$

Для ділянки живлення

$$K_{БВж} = 20 \cdot \lg \frac{U_{Дж}}{U_{Вж}} = 20 \cdot \lg \frac{231}{1,481} = 43,86 \geq 40 \text{ (дБ)};$$

$$K_{БГж} = 20 \cdot \lg \frac{U_{Дж}}{U_{Гж}} = 20 \cdot \lg \frac{231}{1252,9} = -14,69 \leq 40 \text{ (дБ)}.$$

Для ділянки мікропроцесорного блоку

$$K_{БВм} = 20 \cdot \lg \frac{U_{Дм}}{U_{Вм}} = 20 \cdot \lg \frac{5,2}{0,194} = 28,56 \leq 40 \text{ (дБ)};$$

$$K_{БГм} = 20 \cdot \lg \frac{U_{Дм}}{U_{Гм}} = 20 \cdot \lg \frac{5,2}{239,19} = -33,25 \leq 40 \text{ (дБ)}.$$

6. Результати розрахунків заносимо в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 Результати розрахунків коефіцієнтів безпеки елементів СЕП

Дільниця СЕП	$U_d, В$	$E_B, В/м$	$E_G, В/м$	$U_B, В$	$U_G, В$	$K_{БВ}, дБ$	$K_{БГ}, дБ$
Блок живлення	231	11390	11,39	1,481	1252,90	43,86	-14,69
Мікропроцесорний блок	5,2	11390	11,39	0,194	239,19	28,56	-33,25

7. Дані таблиці аналізуємо і робимо висновки.

Для того, щоб електрична мережа була стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу, необхідно щоб коефіцієнт безпеки знаходився в межах від 0 до 40 (дБ). Так як  $K_{Б(В,Г)} < 40$  (дБ), то апаратура буде не стійка в роботі, а тому необхідне екранування.

5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи електропостачання ТОВ «Панда» в умовах дії електромагнітного імпульсу

Для захисту від ЕМІ розрахуємо необхідний екран.

Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо перехідне гасіння енергії електричного поля екраном ( $A$ , дБ). Для сталевого екрану визначається за допомогою формули [35]:

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f}, (\text{дБ});$$

де  $t$  - товщина стінки екрану, см;

$f$  – частота  $f=15000$  Гц.

Для дільниці живлення

$$A_{ГЖ} = 40 - (-14,69) = 54,69 \text{ (дБ)};$$

$$t = \frac{A_{ГЖ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{54,69}{5,2\sqrt{15000}} = 0,086 \text{ (см)}.$$

Для дільниці мікропроцесорного блоку

$$A_{ГМ} = 40 - (-33,25) = 73,25 \text{ (дБ)};$$

$$t = \frac{A_{ГМ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{73,25}{5,2\sqrt{15000}} = 0,12 \text{ (см)}.$$

В умовах дії електромагнітного імпульсу коефіцієнт безпеки СЕП для вертикальних струмопровідних частин дільниці живлення системи був більший за 40 дБ, в цьому випадку СЕП стійка. Для горизонтальних струмопровідних частин коефіцієнт безпеки був менший за 40 дБ. Після застосування сталевих екранів коефіцієнт безпеки став не менше 40 дБ, а тому система електропостачання є стійкою до ЕМІ і може працювати без суттєвих збоїв.

Отже, при екрануванні блоку живлення з використанням екрану товщиною 0,09 см зі сталі та мікропроцесорного блоку з використанням екрану товщиною 0,12 см, система керування буде стійкою в умовах дії електромагнітного випромінювання.

Отже, після проведених розрахунків визначено, що робота системи електропостачання при заданому рівні радіації 5,43 Р/год буде досить стійка. До дії ЕМІ система керування виявилась нестійкою. Застосування екранування блоків СЕП суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів система буде працювати стало аж до значення напруженості вертикальної складової 11,39 кВ/м. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали радіотехнічні схеми на період впливу електромагнітного імпульсу.

Висновки: в даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розглянуто основні заходи з охорони праці, а саме організаційні і технологічні заходи, що направлені на максимальне зниження загрозливих чинників і створення оптимальних умов роботи на підприємстві.

Після проведення розрахунків визначено, що робота системи електропостачання при заданому рівні радіації буде досить стійка. Іонізуюче випромінювання для устаткування не буде таким небезпечним, як для персоналу. Для підвищення стійкості роботи підприємства необхідно розробити режим роботи зі скороченими змінами для забезпечення радіаційного захисту персоналу.

До дії електромагнітного імпульсу, згідно розрахунків, система керування виявилась нестійкою. Для підвищення її стійкості застосовують екранування. При дії ЕМІ, крім екранування, необхідно застосовувати пристрої, що вимикають

апаратуру і обладнання системи електроспоживання підприємства на період дії електромагнітного імпульсу, а також збільшувати відстані між елементами, що знаходяться під напругою.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання МКР щодо оптимізації системи електропостачання ТОВ «Панда», під час пошуку оптимальних рішень проектування СЕП підприємства із застосуванням автоматизації виконано наступні розрахунки.

Спроектовано внутрішню мережу підприємства на напрузі 10 кВ. Було обрано трансформатори марки ТМ – 1000/10. Для радіальної схеми живлення ТП від ЦРП 10 кВ обрано кабелі типу АПвПу-10 перерізом 3х35 мм<sup>2</sup>. Для живлення ЦРП підприємства від підстанції мережі обрано кабельні лінії марки АПвПу-10 3х70 мм<sup>2</sup> L = 2,2 км.

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

Розроблено автоматизований електропривод стрічкового конвеєру на основі двигуна 15 кВт та перетворювача частоти в якості системи управління. Для ПЧ у системі управління електроприводом обрано інвертор компанії “LG ELECTRONICS” серії SV150iG5A-4. Інвертор відповідає всім вимогам до вибору ПЧ. Були побудовані природні та штучні механічні та електромеханічні характеристики двигуна.

В науковій частині магістерської кваліфікаційної роботи проведено дослідження впровадження регульованого електроприводу на підприємстві для досягнення мінімального споживання реактивної енергії. Результати показують що використання регульованого електроприводу дозволяє значно зменшити величину споживаної активної та реактивної енергії, що в свою чергу оптимізує роботу системи електропостачання підприємства.

Для системи керування електроприводом обрано перетворювач частоти компанії “LG ELECTRONICS” серії SV150iG5A-4. Даний інвертор проходить усі необхідні перевірки.

Побудовано природну та штучні механічні та електромеханічні характеристики для різних режимів роботи ЕП.



Також виконані розрахунки техніко-економічних показників запропонованої СЕП ТОВ «Панда». А саме розраховано витрати на електроенергію проектованої СЕП.

В п'ятому розділі виконано аналіз норм гігієни праці та електробезпеки. Проведено аналіз стійкості роботи СЕП на робочих місцях підприємства під час впливу іонізуючого випромінювання та електромагнітних імпульсів.

Проведені розрахунки підтверджують забезпечення максимально надійного електропостачання даного підприємства.

Аналіз отриманих результатів та розрахунків для реальних споживачів електроенергії, проведених із допомогою комп'ютерної моделі, дозволяє стверджувати, що дана комп'ютерна модель може бути використана в реальному процесі проектування СЕП споживачів електроенергії. Для її використання достатньо мати програму електронної обробки даних Excel, яка є широко доступною для проектних організацій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Доценко Антон. Зменшення споживання реактивної та активної потужності за рахунок використання перетворювача частоти в системі керування електроприводом стрічкового конвеєру. Матеріали Науково-технічної конференції Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023) [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://conferences.vntu.edu.ua/>
2. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617 с.
3. Камінський А. В. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрування електричних мереж : монографія / А. В. Камінський, Б. І. Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2005. –122с.
4. Ягуп В. Г., Ягуп К. В. Моделювання та оптимізація режимів систем енергопостачання та електроспоживання : навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 183 с.
5. ДСТУ 3463-96: 1999. Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів. [Чинний від 01.01.1999]. Київ, 1999. 204 с. (Інформація та документація).
6. Трансформатори силові [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099>
7. Кабельно-провідникова продукція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produktsiya-1189>
8. Способи економії електроенергії на підприємстві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://energyline.com.ua/uk/tarif-elektroenerg/mozhlivi-sposobi-ekonomi-elektroenergi-na-pidprimstvi/>
9. Грабко В. В. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів [Текст] : навч. посіб. / В. В. Грабко, С. М. Бабій, М. М. Мошноріз. - Вінниця : ВНТУ, 2016. - 118 с.

10. Демов О.Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 95 с.
11. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
12. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго. [Чинний від 03.02.2021]. Науково-технічний центр електроенергетики «НЕК «Укренерго», 2021. 316 с. (Інформація та документація).
13. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків» Вінниця: ВНТУ, 2005р.
14. ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008 (ІЕС/TR 60909-4:2000, IDT): 2008. Національний стандарт України. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання. [Чинний від 01.01.2008]. Київ, 2008. 82 с. (Інформація та документація).
15. Півняк Г. Г., Волков О. В. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтноімпульсною модуляцією : монографія. м. Дніпро : Національний гірничий університет, 2006. 470 с.
16. MATLAB – високорівнева мова технічних розрахунків: веб-сайт. URL: <http://matlab.products/matlab> (дата звернення: 06.05.2023).
17. Simulink – моделювання і симуляція динамічних систем: веб-сайт. URL: <http://matlab.products/simulink> (дата звернення: 06.05.2023).
18. Частотні перетворювачі LS IS: веб-сайт. URL: <https://chastovnic.ua/ru/LS-r-SV150SG5A-4> (дата звернення: 05.10.2023).
19. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
20. 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->.

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

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

23. 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.

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

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

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

27. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=79885](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885).

28. 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>.

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

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

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

32. 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>.

33. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_b\\_v\\_1\\_1\\_36/5-1-0-1759](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759).

34. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: [http://www.poliplast.ua/doc/dbn\\_v.1.1-7-2002.pdf](http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf).

35. Сакевич В.Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ. 2006.109 с.

36. Головна сторінка офіційного сайту ТОВ «Панда» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pandagroup.com.ua/>

# Додатки

## Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023р.ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри ЕСЕЕМд.т.н., проф. Бурбело М.Й. \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**до магістерської кваліфікаційної роботи  
на тему:Оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою  
відповідальністю “Панда”  
08-22.МКР.004.01.001 ТЗ

Науковий керівник:

д.т.н., проф. Бурбело М.Й. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕМ - 22м

Доценко А.Д. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вінниця 2023 р.

## 1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 247 від 18 вересня 2023 р.

Дата початку роботи 19 . 09 . 23р.

Дата закінчення роботи 11 . 12 . 23р.

## 2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

а) мета – оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Панда»;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) вихідні дані для виконання МКР:

генплан підприємства (об'єкта); план цеха (об'єкта, ділянки, приміщення) із розташуванням обладнання; відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства (цеха, об'єкта, ділянки, приміщення); відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень (для діючого підприємства, енергетичного району); основні техніко-економічні показники.

## 3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Методичні вказівки до оформлення дипломних проєктів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. Г.Л. Лисенко, А.Г. Буда, Р.Р. Обертюх. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 60 с,

3.2 Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) – видання третє, перероблене і доповнене, - 2014 р.

3.3. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків».- Вінниця: ВНТУ, 2005 р.

3.4 ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

3.5 Демов О. Д. «Економія електроенергії на промислових підприємствах». – Вінниця: ВНТУ, 2006 р.



#### 4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика підприємства та технологічного процесу	30.09.23	
2	Синтез зовнішньої СЕП	15.10.23	
3	Науково дослідна частина	30.10.23	
4	Синтез результатів наукової роботи	15.10.23	
5	Економічна частина	30.10.23	
6	Охорона праці	30.10.23	
7	Графічна частина	05.11.23	

#### 5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

#### 6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

#### 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

#### 8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Не передбачається

## Додаток Б Вихідні дані

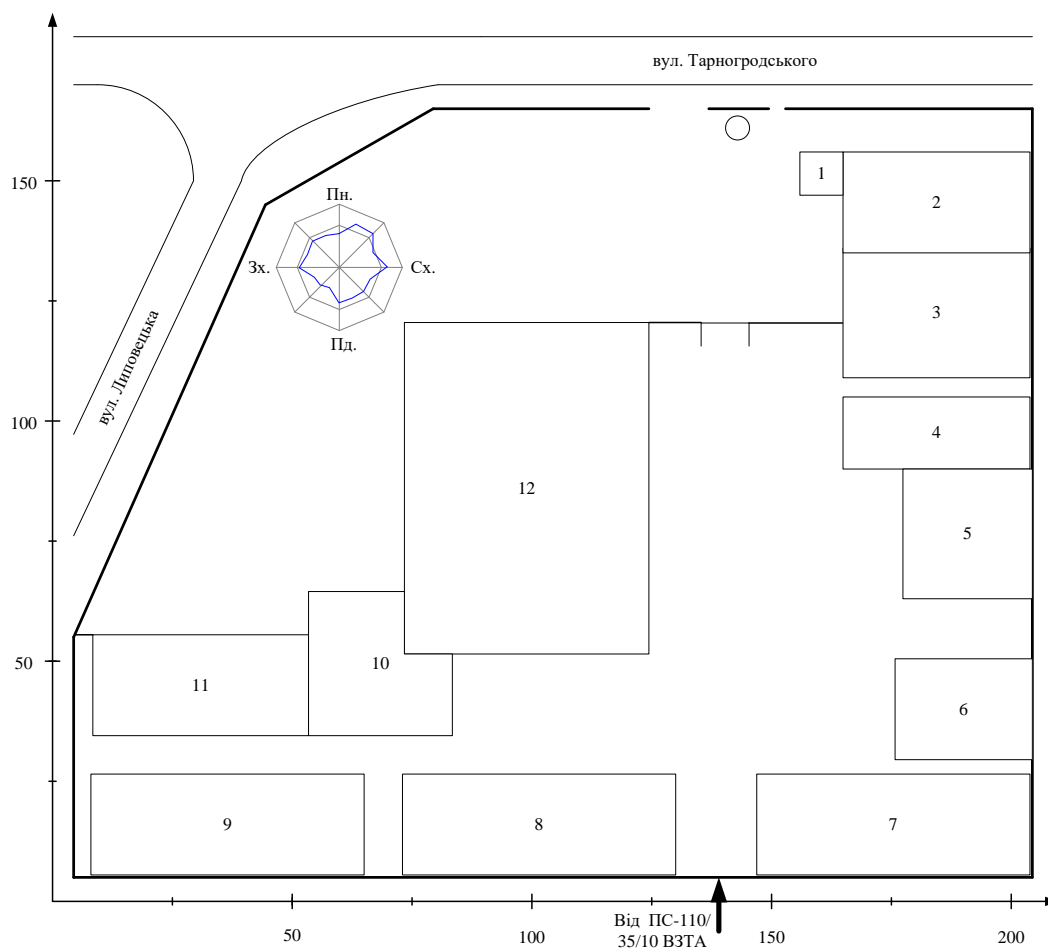


Рисунок Б.1 – Генплан ТОВ «Панда»

Таблиця Б.1- Відомості про електричні навантаження підприємства

№ на плані	Назва цеху	Рн, кВт
1	Прохідна	30
2	Адмінкорпус	165
3	Лабораторія	215
4	Робочий цех	300
5	Компресорна	475
6	Пакувальний цех	250
7	Виробництво піддонів	275
8	Склад полімерних заготовок	95
9	Склад готової продукції	145
10	Цех підготовки виробництва	315
11	Розвантажувальний цех	245
12	Виробничий цех	575
13	Свердловина	115

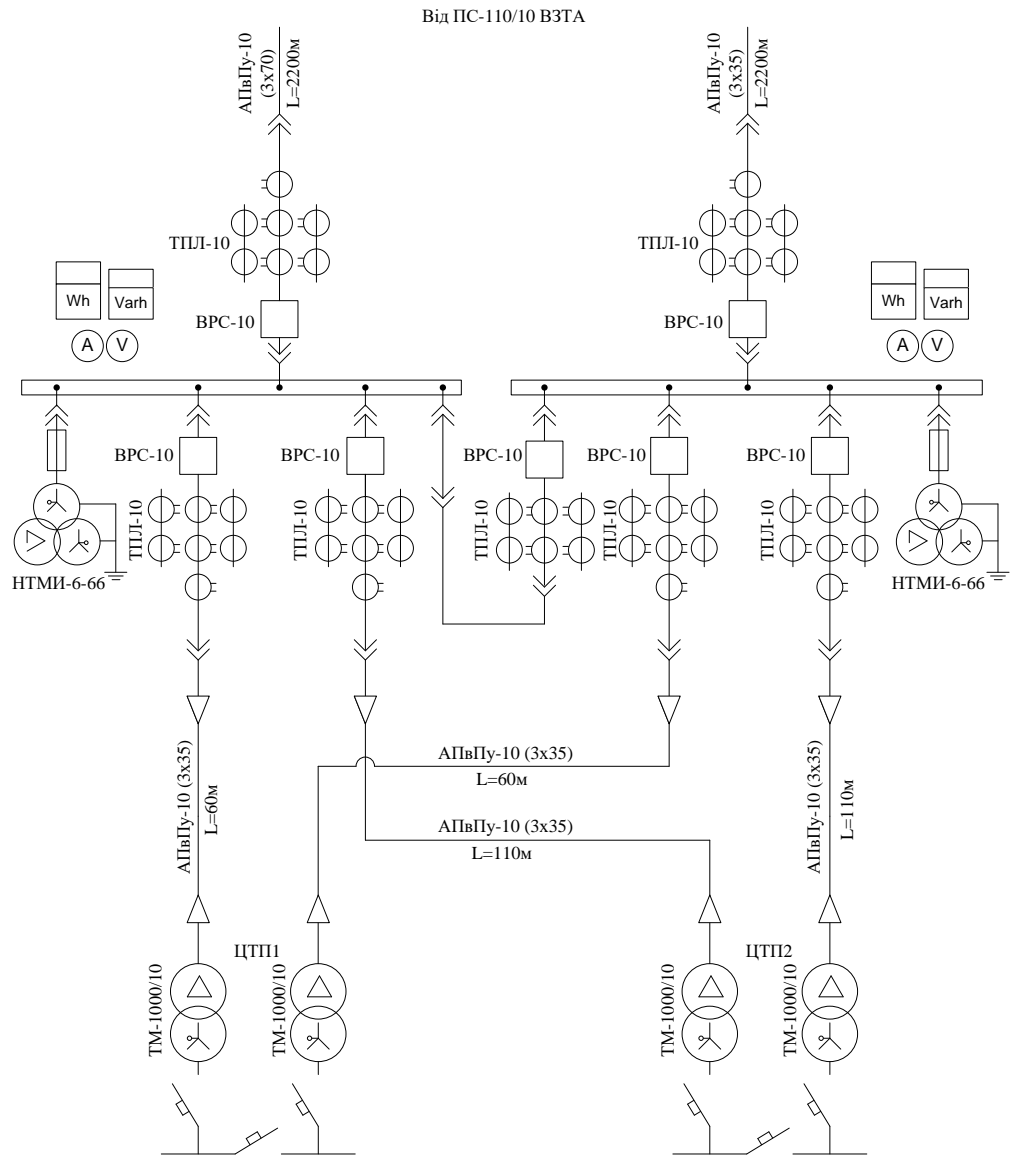


Рисунок Б.2 – Однолінійна схема електропостачання

## Додаток В

**ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю "Панда"

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР, МКР)

Підрозділ: кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту  
факультет електроенергетики та електромеханіки  
(кафедра, факультет)

**Показники звіту подібності Unicheck**

Оригінальність 80,5% Схожість 19,5%

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 Unicheck щодо роботи.

Автор роботи \_\_\_\_\_ Доценко А.Д.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

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

Додаток Г  
Ілюстративна частина

**Оптимізація системи електропостачання  
Товариства з обмеженою відповідальністю “Панда”**

Доценко Антон Дмитрович

Спеціальність 141 -“Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка”

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

**Мета та задачі магістерської кваліфікаційної роботи**

Завдання даної магістерської кваліфікаційної роботи - дослідження системи електропостачання ТОВ «Панда» з метою оптимізації системи електропостачання підприємства шляхом компенсації реактивної потужності та зміни управління електроприводом конвеєра. Виконання усіх необхідних розрахунків та проектних рішень для розробки оптимальної СЕП підприємства.

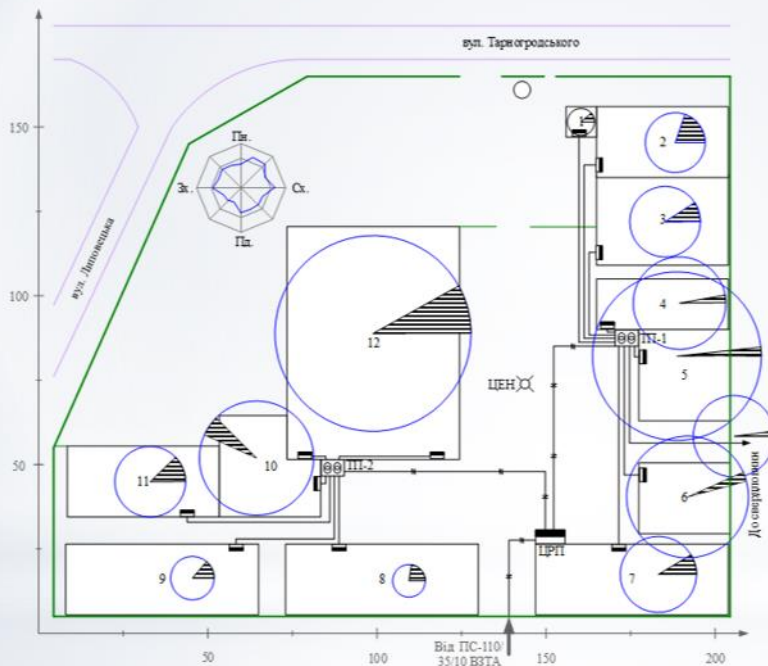
Об’єктом дослідження даної роботи є оптимізація системи електропостачання ТОВ «Панда».

Предмет дослідження – елементи схеми та електричні режими в СЕП.

Основними шляхами для вирішення завдань по проектуванню СЕП є:

- вибір класу напруги, розрахунок електричного навантаження з дотриманням вимог до надійності системи електропостачання;
- вибір кількості та потужності трансформаторів і компенсаторів реактивної потужності з оптимальними параметрами;
- проаналізувати ефективність переходу до регульованого електроприводу на підприємстві з метою економії електричної енергії .

План підприємства із силовими розподільчими, та живильними мережами

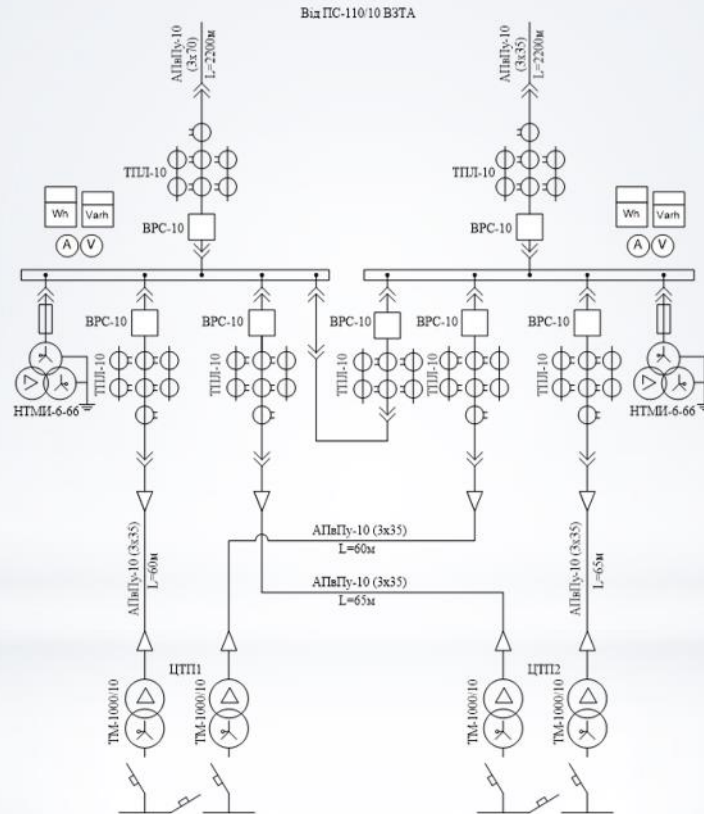


№	Найменування цехів	Рн, кВт
1	Пролізна	30
2	Адмін. Корпус	165
3	Лабораторія	215
4	Робочий цех	300
5	Компресорна	475
6	Газувальний цех	250
7	Виробництво піддонів	275
8	Склад полімерних заготовок	95
9	Склад готової продукції	145
10	Цех підготовки виробництва	315
11	Розвантажувальний цех	245
12	Виробничий цех	575
13	Свердлошниця	115

Таблиця умовних позначень

Позначення	Найменування
⊕⊕	Трансформаторна підстанція
■	Розподільчий пристрій
—N—	Кабельні лінії 10 кВ
—	Кабельні лінії 0,4 кВ

Однолінійна схема живлення підприємства





## Вибір оптимальної потужності конденсаторних батарей

**Вхідні дані для розрахунку**

Напруга, кВ:  $U = 10$

Вхідна реактивна потужність, квар:  $Q_{вх} = 474$

Коефіцієнт ефективності капиталовкладення:  $E_k = 0.1$

Коефіцієнт відрахунок на амортизацію:  $E_a = 0.04$

Питома вартість КУ:  $B_{к0} = 100$

Питома вартість реактивної потужності в КУ, кВт/Мвар:  $\Delta P_k = 4.5$

Питома вартість втраг активної потужності, грив/кВт:  $B_0 = 16103.1$

Питома активна опора ліній живлення, Ом/км:  $\tau_{11} = 0.89$ ,  $\tau_{12} = 0.89$

Довжини ліній від ЦРП до ЦТП, км:  $L_{кв1} = 0.061$ ,  $L_{кв2} = 0.064$

Опори трансформаторів, Ом:  $\tau_{11} = 1.05$ ,  $\tau_{12} = 1.05$

Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар:  $Q_{к1} = 755.609$ ,  $Q_{к2} = 535.48$

Довжини ліній живлення БК у вузлах навантаження, квар:  $q_{к1} = 100$ ,  $q_{к2} = 100$

Довжини та питомі опори ліній живлення:  $l_{к1} = 2.2 + 0.049 \cdot 2.249$ ,  $q_{к0} = 0.443$

Опори зовнішньої лінії живлення, Ом:  $\tau_{к1} = l_{к1} \cdot q_{к0} = 0.996$

Опори розподільчих ліній живлення, Ом:  $\tau_{к1} = q_{11} \cdot L_{кв1} = 0.054$ ,  $\tau_{к2} = q_{12} \cdot L_{кв2} = 0.057$

**Модель балансової задачі компенсації реактивного навантаження**

$$X(q_{к1}, q_{к2}) = \frac{B_0}{U^2 \cdot 1000} \left[ (q_{к1} - q_{к1})^2 \left( \frac{\tau_{11} + \tau_{к1}}{2} \right) + (q_{к2} - q_{к2})^2 \left( \frac{\tau_{12} + \tau_{к2}}{2} \right) + (q_{к1} + q_{к2} - q_{к1} - q_{к2})^2 \frac{E_k}{2} \right] + [(E_k + E_a) \cdot B_{к0} + B_0 \cdot \Delta P_k] (q_{к1} + q_{к2})$$

Given об'єктивна функція

$q_{к1} \geq 0$ ,  $q_{к2} \geq 0$

$(q_{к1} + q_{к2}) - (q_{к1} + q_{к2}) = q_{кк}$

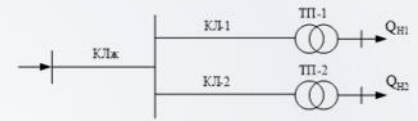
Визначимо оптимальне проективне рішення:

$$q_{к1} = \text{Minimize}(q_{к1}, q_{к2}) = \begin{pmatrix} 518.322 \\ 298.766 \end{pmatrix}$$

Рівні приведені затрати, грн:  $Z(q_{к1}, q_{к2}) = 1.465 \cdot 10^7$

Перевірка, квар:  $(q_{к1} + q_{к2}) - (q_{к1} + q_{к2}) = 474.001$ ,  $q_{кк} = 474$

Вигляд розрахунку задачі КРП в середовищі MathCad



Однолінійна схема електропостачання підприємства

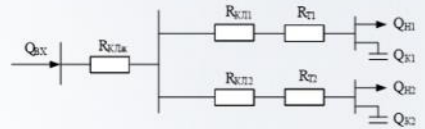


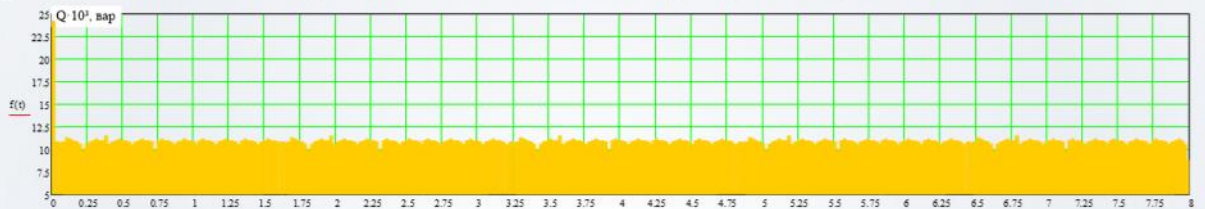
Схема заміщення мережі електропостачання підприємства

Для досягнення цього завдання необхідно ефективно перерозподіляти вхідне реактивне навантаження між усіма трансформаторними підстанціями в системі підприємства.

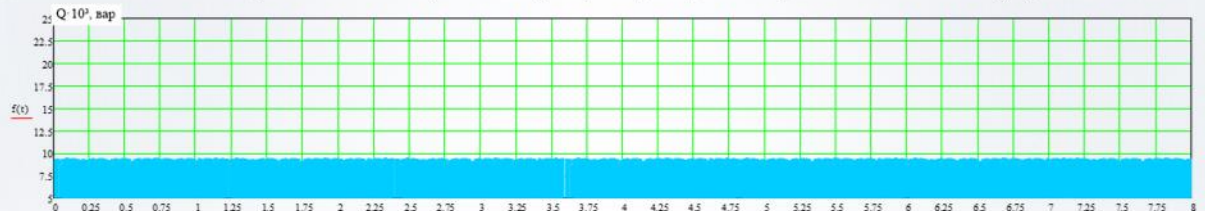
Балансова задача КРП полягає в оптимальному розподіленні сумарного значення КУ між вузлами навантаження підсистеми при заданій вхідній реактивній потужності.

На ТОВ «Панда» доцільно застосовувати КУ типу УКР-0,4 відповідно до потужності вузла встановлення використовуємо наступні стандартні потужності батарей КУ: для ТП1 - 2 КУ типу УКР 0,4-250/50; для ТП2 - 2 КУ типу УКР 0,4-200/50.

## Зменшення споживаної реактивної потужності впровадженням регульованого електроприводу



Споживання реактивної енергії електроприводом до використання системи управління



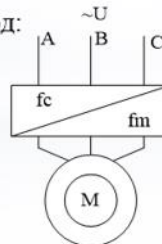
Споживання реактивної енергії електроприводом після використання системи управління

Значення споживаної енергії квар·год:

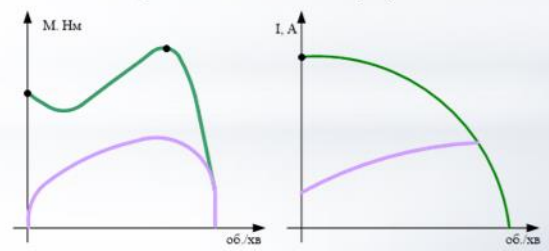
$$W_{до} = Q \cdot t = 86,878$$

$$W_{після} = Q \cdot t = 78,879$$

$$\Delta W = 7,998$$

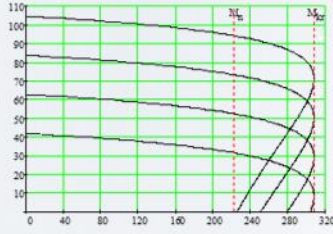


Приєднання АД через перетворювач частоти

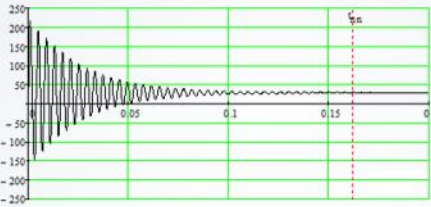


Характеристики роботи двигуна з системою управління

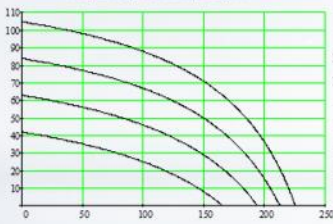
## Швидкісні та перехідні характеристики розробленого електроприводу



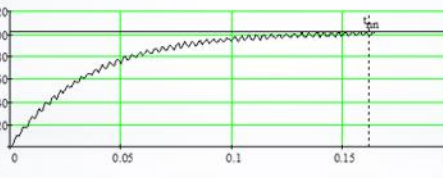
Природна та штучні механічні характеристики двигуна



Перехідна характеристика по струму



Швидкісні характеристики двигуна



Перехідна характеристика по швидкості обертання

Виробник	LG ELECTRONICS
Тип модуля	інвертор
Максимальна потужність двигуна	15 кВт
Вихідна напруга інвертора	3 x 380 В AC
Діапазон трифазних живлячих напруг	3 x 380...480 В AC
Особливості входу 1	установка швидкості обертання сигналом 0 ... 10В 4 ... 20мА, 0 ... 20мА
Вихід напруги	0...10 В
Електричне підключення	гвинтові клемми
Монтаж	настінний
Спосіб програмування	клавіатура і потенціометр
Додаткові функції	1 аналоговий програмований вихід, 2 цифрові програмовані виходи, 5 цифрових програмованих входів, 8 базових швидкостей
Кількість входів	10
Кількість аналогових виходів	4
Робоча температура	-10...50° С
Вихідна частота	0,1...400 Гц
Час пуску / гальмування	0,1...3600 с
Номинальний струм	45 А
Похибка вихідної частоти	0,01%
Кількість аналогових входів	6
Маса бруто	5,2 кг

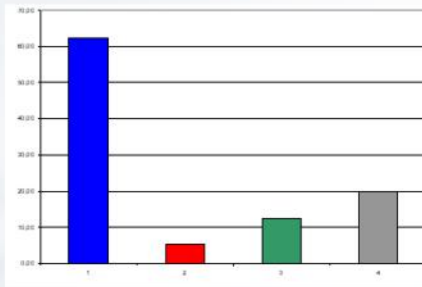
## Техніко-економічні показники СЕП

Сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства	2715,4 тис. грн.
Загальна потреба підприємства в електроенергії	6718890,93 кВт*год/рік
Тариф	6,6949 грн/кВт*год
Оплата за спожити електроенергію	44982302,92 грн
Собівартість спожитої електроенергії	6,9944 грн/кВт*год

Підсумкова таблиця

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
К-сть корисно спожитої ел енергії	E <sub>а</sub>	6617464	кВт год
Річне споживання ел енергії із втратами	E	6718890,93	кВт год
Плата за електроенергію	П <sub>е</sub>	44982302,92	грн
Витрати на передачу і розподіл ел ен.	C <sub>п</sub>	1302665,90	грн
Сумарні витрати під-ва	C <sub>сум</sub>	46284968,82	грн
Собівартість ел енергії	S	699,44	коп/кВт год

Гістограма кошторису річних поточних витрат



Таблиця кошторису річних поточних витрат

Стаття витрат	Величина витрат, грн	Рн, кВт
Витрати по експлуатації обладнання	812399,85	62,36
Витрати на поточний ремонт	66809,08	5,13
Витрати на амортизацію	162923,79	12,51
Інші витрати	260533,18	20,00
Разом	1302665,90	100



## Висновки по роботі

Спроектовано внутрішню мережу підприємства на напрузі 10 кВ. Було обрано трансформатори марки ТМ – 1000/10. Для радіальної схеми живлення ЦТП від ЦРП 10 кВ обрано кабельні лінії АПвПу-10 перерізом 35 мм<sup>2</sup>. Для ЦРП підприємства від підстанції мережі обрано кабельні лінії марки АПвПу -10 3x70+1x35 мм<sup>2</sup> L = 2,2 км. Для будівництва ЦРП були розраховані координати центру енергетичного навантаження. Це дозволяє встановити ЦРП в оптимальних місцях з мінімальними витратами електроенергії.

Результатом наукової роботи є дослідження впровадження регульованого електроприводу на підприємстві для досягнення мінімального споживання реактивної енергії. Результати показують що використання регульованого електроприводу дозволяє значно зменшити величину споживаної реактивної енергії, що в свою чергу оптимізує роботу системи електропостачання підприємства.

Четвертий розділ МКР був присвячений економічним розрахункам. А саме, економічній доцільності будівництва спроектованої СЕП. Розраховано витрати на електроенергію проектованої СЕП.

Проведено аналіз норм гігієни праці та електробезпеки. Проведено аналіз стійкості роботи СЕП на робочих місцях підприємства під впливом іонізуючого випромінювання та електромагнітних імпульсів.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**