

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

## Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Управління компенсувальними установками Приватного  
акціонерного підприємства «Вінницький завод «Маяк»

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕСЕ-18м  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

Богач А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Демов О.Д.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2019 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»  
 Освітня програма – Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Завідувач кафедри ЕСЕМ  
 д.т.н.проф. Бурбело М.Й.

„\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ вересня 2019 р

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську кваліфікаційну роботу**  
Богачу Андрію Олеговичу

1.Тема роботи: Управління компенсувальними установками Приватного акціонерного підприємства «Вінницький завод «Маяк»

керівник роботи: Демов Олександр Дмитрович, к.т.н., доцент,  
 затверджена наказом по ВНТУ від « 02 » жовтня 2019 року, № 254

2. Строк подання студентом роботи «04» грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи: відомості про електричні навантаження та планування підприємства, про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства.

Наукові публікації з питань управління компенсувальними установками в електричних мережах промислових підприємств.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація.

Вступ.

1. Аналіз управління компенсувальними установками ПрАТ «Вінницький завод «Маяк»

1.1 Аналіз компенсації реактивної потужності в вузлах навантажень заводу «Маяк»

1.2 Вхідні дані для виконання магістерської роботи

2. Визначення оптимальних параметрів системи електропостачання

2.1 Розрахунок електричних навантажень

2.2 Знаходження оптимальної кількості та потужності цехових ТП

2.3 Знаходження оптимального перерізу зовнішньої лінії живлення

2.4 Знаходження оптимальних перерізів КЛ 10 кВ

2.5 Визначення оптим. координат розміщення ЦРП за критерієм мінімуму затрат в СЕП

2.6 Вибір схеми цехової мережі

3. Управління компенсувальними установками ПрАТ «Вінницький завод «Маяк»

3.1 Визначення оптимальної потужності компенсувальних пристроїв

3.2 Засоби компенсації реактивної потужності

3.3 Управління компенсувальними установками ПрАТ «Маяк» шляхом підвищення їх ефективності

4 Економічна частина роботи

4.1 Розрахунок собівартості електроенергії на підприємстві

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.3 Дослідження стійкості роботи ел. мереж в умовах дії загрозливих чинників НС

ВИСНОВКИ

## 5. Перелік графічного матеріалу:

Матеріал, необхідний для висвітлення сутності проведених досліджень та впровадження розроблених методик

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзв. ситуаціях	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доцент		
Спеціальна частина	Демов О.Д., к.т.н., доцент		
Нормоконтроль	Войтюк Ю.П., к.т.н., ст. викладач		

## 7. Дата видачі завдання « 23 » вересня 2019 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розрахунок оптимальних параметрів системи електропостачання	09.10.2019	
2	Аналіз сучасних технічних засобів компенсації реактивної потужності та способів керування ними	18.10.2019	
3	Управління компенс. установками ПрАТ «Маяк» шляхом підвищення їх ефективності	01.11.2019	
4	Економічна частина роботи	10.11.2019	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	21.11.2019	
6	Написання пояснювальної записки	02.12.2019	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Богач А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Демов О.Д.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Богач Андрій Олегович. Управління компенсувальними установками Приватного акціонерного підприємства «Вінницький завод «Маяк». Магістерська кваліфікаційна робота. Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка –Вінниця:ВНТУ, 2019 - 110 с.

В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання управління компенсувальними установками (КУ) ПрАТ Вінницький завод «Маяк».

В першому розділі проведено розрахунок потужностей КУ та поставлена задача подальшого управління ними з метою більш повного їх використання в напрямку зниження втрат електроенергії.

В другому розділі виконано розрахунок параметрів системи електропостачання ПрАТ «Маяк», необхідних для подальшого управління КУ.

В третьому розділі розглядаються питання раціонального використання КУ протягом доби шляхом задіяння надлишків реактивних потужностей в одних вузлах мережі для покриття їх дефіциту в інших вузлах.

Розраховано основні техніко-економічні показники СЕП підприємства.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: електричні мережі, електропостачання, реактивна потужність.

Рисунків - 23

Таблиць - 27

Бібліографій – 44

## АННОТАЦИЯ

Богач Андрей Олегович. Управление компенсирующими установками Частного акционерного предприятия «Винницкий завод «Маяк». Магистерская квалификационная работа. Специальность 141 – Электроэнергетика, электротехника и электромеханика – Винница: ВНТУ, 2019 - 110 с.

В магистерской квалификационной работе рассмотрены вопросы управления компенсирующими установками (КУ) ЧАО Винницкий завод «Маяк».

В первом разделе проведено расчет мощностей КУ и поставлена задача дальнейшего управления ими с целью более полного их использования в направлении снижения потерь электроэнергии.

Во втором разделе выполнено расчет параметров системы электроснабжения ЧАО «Маяк», необходимых для дальнейшего управления КУ.

В третьем разделе рассматриваются вопросы рационального использования КУ на протяжении суток путем задействования избытков реактивных мощностей в одних узлах сети для покрытия их дефицита в других узлах.

Рассчитаны основные технико-экономические показатели системы электроснабжения.

Рассмотрены вопросы охраны труда и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: электрическая сеть, электроснабжение, реактивная мощность.

Рисунков - 23

Таблиц - 27

Библиографий – 44

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УПРАВЛІННЯ КОМПЕНСУВАЛЬНИМИ УСТАНОВКАМИ ПРАТ «ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК» .....	12
1.1 Аналіз компенсації реактивної потужності в вузлах навантажень заводу «Маяк».....	12
1.2 Вхідні дані для виконання магістерської роботи .....	13
1.2.1 Короткий опис технологічного процесу .....	13
1.2.2 Відомості про електричні навантаження підприємства та цеху механічної обробки деталей.....	13
РОЗДІЛ 2 ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	17
2.1 Розрахунок електричних навантажень .....	17
2.1.1 Розрахунок електричних навантажень цеху механічної обробки деталей.....	17
2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства .....	23
2.2 Знаходження оптим. кількості та потужності цехових ТП.....	26
2.4 Знаходження оптимальних перерізів КЛ 10кВ .....	32
2.4.1 Розрахунок струмів к.з.....	32
2.4.2 Автоматизація пошуку оптимальних перерізів КЛ від ЦРП до ТП....	34
2.5 Визначення оптимальних координат розміщення ЦРП за критерієм мінімуму затрат в системі електропостачання .....	35
РОЗДІЛ 3 УПРАВЛІННЯ КОМПЕНСУВАЛЬНИМИ УСТАНОВКАМИ ПРАТ «ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК» .....	38
3.1 Визначення оптимальної потужності компенсувальних пристроїв.....	38
3.2 Засоби компенсації реактивної потужності в мережах ПрАТ «Маяк» .....	43
3.3 Управління компенсувальними установками ПрАТ «Маяк» шляхом підвищення їх ефективності.....	47
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	57
4.1 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання.....	58
4.2 Розрахунок поточних витрат .....	60
4.2.1 Розрахунок потреби в робочій силі.....	60
4.2.2 Розрахунок витрат по заробітній платі .....	63
4.2.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат.....	68
4.3. Розрахунок собівартості електроенергії .....	69
4.3.1 Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію .....	69
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	75
5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта .....	76
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць .....	76
5.1.2 Електробезпека.....	79
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	81
5.2.1 Мікроклімат.....	81

5.2.2	Склад повітря робочої зони.....	82
5.2.3	Виробниче освітлення.....	83
5.2.4	Виробничий шум.....	86
5.2.5	Виробничі вібрації .....	87
5.2.6	Психофізіологічні фактори.....	89
5.3	Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи електропостачання з компенсувальними установками ПрАТ «Маяк» в умовах НС.....	91
5.3.1	Дослідження стійкості роботи системи електропостачання з компенсувальними установками ПрАТ «Маяк» в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	92
5.3.2	Дослідження стійкості роботи системи електропостачання з компенсувальними установками ПрАТ «Маяк» в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	94
	ВИСНОВКИ	98
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	99

## ВСТУП

Актуальність теми. Керовані компенсуючі пристрої - це один з дієвих засобів, які забезпечують суттєве зменшення втрат електричної енергії в мережах підприємства. Впровадження конденсаторних установок в системі електропостачання заводу «Маяк» - запорука зниження втрат електроенергії, які сьогодні складають суттєву долю від енергії, яка генерується електричними станціями. Керування батареями статичних конденсаторів симетричного виконання має здійснюватись із врахуванням всіх впливових факторів. Серед таких факторів слід врахувати перш за все використання оперативного резерву потужності КУ шляхом задіяння КУ, які встановлені в одних вузлах, для компенсації реактивної потужності інших вузлів промислової мережі.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є управління компенсувальними установками ПрАТ Вінницький завод «Маяк», що забезпечується впровадженням нового підходу для підвищення ефективності існуючих КУ. Для цього запропоновано брати лишки потужності конденсаторних установок на одній із підстанцій для компенсації реактивної потужності на шинях другої трансформаторної підстанції з подальшою генерацією в систему.

Предмет дослідження – режим споживання реактивної потужності в системі електропостачання ПрАТ Вінницький завод «Маяк» та керування ним.

Об'єкт дослідження – процес поліпшення використання КУ в розподільній мережі промислового підприємства і керування потужностями цих установок.

Методи досліджень. В даній роботі застосована методика, яка зазвичай має місце в електротехніці при аналізі електромереж.

Наукова новизна. Запропоновані способи керування реактивною потужністю в промислових електричних мережах та застосовано алгоритм керування компенсацією реактивної потужності, який може бути реалізовано в електричних мережах ПрАТ Вінницький завод «Маяк» для покращення їх економічних показників.



Практичне значення одержаних результатів. Проведений аналіз приводить до висновку, що існуючі способи і системи управління компенсувальними установками не в повній мірі відповідають вимогам енергозбереження, тому доцільним є застосування такого підходу, де оперативні надлишки потужності існуючих КУ одних вузлів використовуються для компенсації реактивних навантажень інших вузлів.

Апробація результатів роботи і публікації. Основні наукові результати опубліковані у 1 тезі доповідей (Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2016) ВНТУ). [39]

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УПРАВЛІННЯ КОМПЕНСУВАЛЬНИМИ УСТАНОВКАМИ ПрАТ «ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»

### 1.1 Аналіз компенсації реактивної потужності в вузлах навантажень заводу «Маяк»

Якість електропостачання будь-якого промислового підприємства в значній мірі залежить від ефективного використання реактивної потужності в його розподільних мережах – це запорука економії електроенергії. Управління потоками реактивної енергії дає можливість при порівняно невеликих затратах досягнути значної ефективності в економічному використанні електричної енергії. Від цього залежить економіка підприємства в цілому, так як сама компенсація реактивної потужності та грамотне керування нею приводить до суттєвого зменшення втрат електроенергії в мережах підприємства а також і в живлячих колах [2].

В системі електропостачання ПрАТ Вінницький завод «Маяк» є певні особливості в технології, а також наявність порівняно непряжних мереж, що в свою чергу забезпечує порівняно невеликі втрати активної енергії. Для отримання і реєстрації графіка реактивних навантажень здійснюються разові заміри, які виконуються через кожну годину.

Існуючі системи управління потужностями компенсувальних установок (КУ) здійснюють ввімкнення чи вимкнення секцій КУ и зорієнтовані на реактивне навантаження того вузла, де встановлені ці КУ. Такий підхід не дозволяє в повній мірі використовувати конденсаторні установки, так як режим роботи споживачів електричної енергії є різним і характеризується різною інтенсивністю навантаження. В результаті цього в деяких вузлах мережі в певні періоди часу утворюється резерв, а в інших вузлах – дефіцит потужностей КУ. Ця обставина призводить до неповного використання КУ для зниження втрат електроенергії.

Подальший пошук шляхів управління вибраними компенсувальними установками ПрАТ Вінницький завод «Маяк» базуватиметься на заходах, які

забезпечують зменшення втрат електричної енергії в колах системи електропостачання підприємства шляхом ефективного використання КУ з застосуванням нових методів та моделей [27]. Такий підхід дасть можливість ефективно управляти КУ, що дозволить значно знизити втрати електричної енергії. Ці питання викладені нижче в п. 3.3 даної роботи, де йдеться про використання оперативного резерву потужності КУ шляхом задіяння КУ, які встановлені в одних вузлах, для компенсації реактивної потужності інших вузлів промислової мережі[27].

## 1.2 Вхідні дані для виконання магістерської роботи

### 1.2.1 Короткий опис технологічного процесу

Підприємство випускає товари народного споживання.

Виготовлені в допоміжних цехах заготовки йдуть далі для механічної обробки в ковально-пресовому та збиральному цехах, де відбувається виготовлення механічних частин корпусів.

В наш час частина ПрАТ Вінницький завод „Маяк” виробляє: нагрівальні установки "Термія", інкубатори, зварювальний апарат „Імпульс”, електроплитки.

Підприємство випускає широкий спектр продукції. Виробничий цикл полягає в таких основних етапах:

1. Замовлення необхідних витратних матеріалів і комплектуючих.
2. Механо-заготівельне виробництво (виробництво необхідних металевих комплектуючих та штампованих конструкцій з листового металу).
3. Шліфування металевих заготовок та їх зварювання.
4. Гальванічна обробка і фарбування.
5. Лиття і переробка пластмас.
6. Зварювання і монтаж.

На підприємстві виконується збірка готової продукції з використанням як зарубіжних так і вітчизняних комплектуючих [3].

### 1.2.2 Відомості про електричні навантаження підприємства та цеху механічної обробки деталей

Електропостачання ПрАТ Вінницький завод „Маяк” здійснюється

кабельними лініями, які живляться від сусідньої трансформаторної підстанції 110/10 кВ, трансформаторні підстанції цехів підприємства заживлені за радіальною схемою. Головні приймачі електричної енергії – це асинхронні електричні мотори [4].

Решта споживачів електричної енергії на підприємстві – це звичайне освітлення, побут тощо. Відомості про електричні навантаження ПрАТ Вінницький завод „Маяк” містяться в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Дані ел. навантажень цехів підприємства

№ за генпланом	Споживачі	Р <sub>н</sub> , кВт	cosφ	Категорія надійності за ПУЕ
1	Їдальня	20	0,9	3
2	Збиральний	140	0,75	2
3	Адмін. корпус	100	0,8	3
4	Сантехмонтажний	23	0,8	2
5	Прохідна	5	0,7	3
6	Механоремонтний	260	0,9	2
7	Механічний цех №1	450	0,8	2
8	Механічний цех №2	400	0,6	2
9	Електромонтажний	250	0,9	2
10	Фарбувальний	380	0,75	2
11	Цех механічн. обробки детал.	222	0,85	2
12	Штамповка	600	0,8	2
13-18	Склади	10	0,6	3
19	Гідропрес	230	0,75	2
20	Дільн. термопласт-автоматів	510	0,9	2
21	Гальванопокриття	30	0,85	2

Генеральний план ПрАТ Вінницький завод „Маяк” наведено на рис. 1.1.

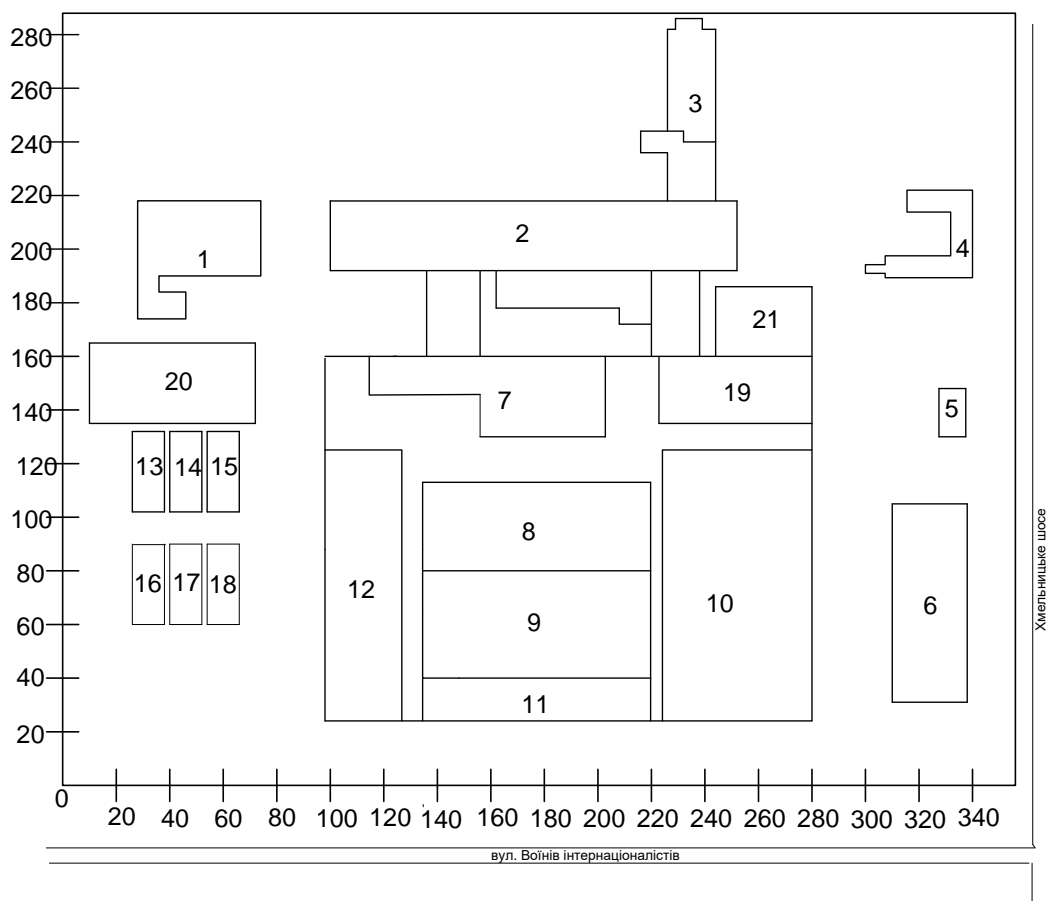


Рисунок 1.1 - Генеральний план ПрАТ Вінницький завод „Маяк”

На рисунку 1.2 зображено план цеху механічної обробки деталей.

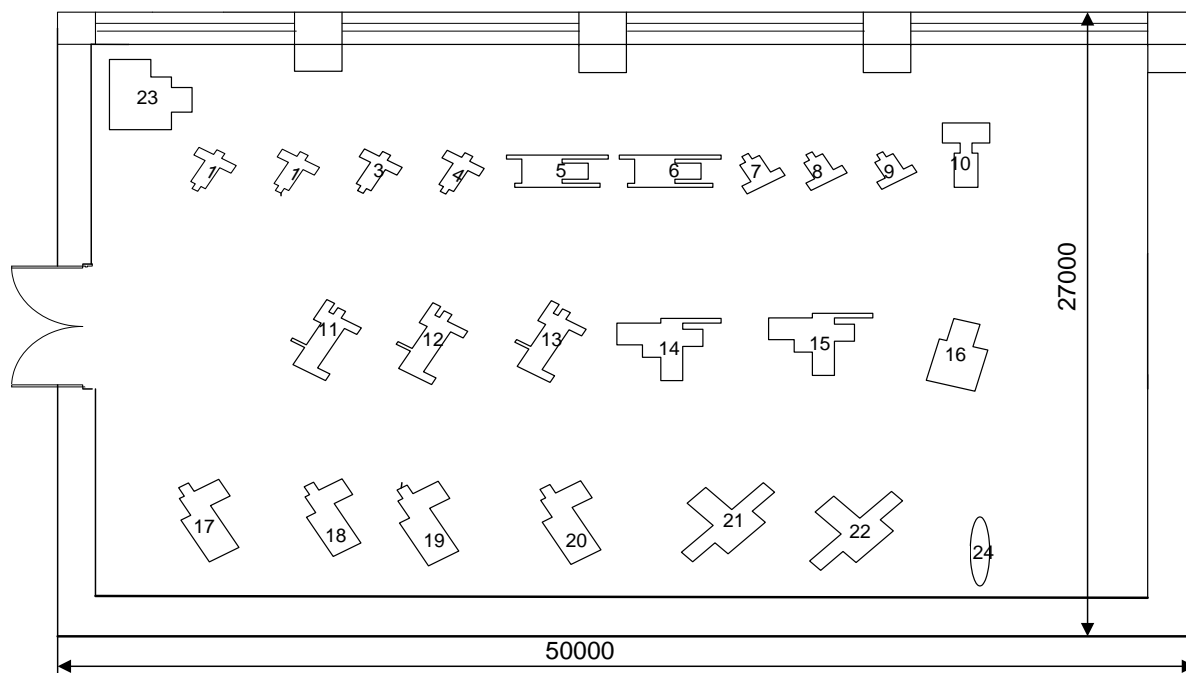


Рисунок 1.2 - План цеху механічної обробки деталей

Дані електроспоживачів цеху представлені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Дані електроспоживачів цеху

№	Найменування електроприймачів	P <sub>н</sub> , кВт
1-4	Радіально- свердлильний станок	5
5-6	Вертикально- свердлильний станок	2
7-9	Різьбо- шліфувальний станок	3
10	Координатно-шліфувальний станок	9,5
11-13	Внутрішньо-шліфувальний	10
14-15	Вертикально- фрезерний станок	13
16	Відрізний автомат	16
17-20	Плоско-шліфувальний станок	6
21-22	Гравіровочно фрезерний станок	15
23	Прес	30
24	Обдувочна установка	13

## РОЗДІЛ 2 ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Розробка моделей управління компенсувальними установками ПрАТ Вінницький завод «Маяк» потребує вибору системи електропостачання та її елементів у розподільних електричних мережах підприємства шляхом ефективного використання КУ з нових методів та моделей.

### 2.1 Розрахунок електричних навантажень

#### 2.1.1 Розрахунок електричних навантажень цеху механічної обробки деталей

Згідно виконаємо розрахунок електричних навантажень цеху механічної обробки деталей наступним чином [3].

Для окремих електроприймачів розрахункові навантаження приймаються рівними номінальним:

$$P_M = P_n,$$

$$Q_M = P_M \operatorname{tg}\varphi_n;$$

де  $\operatorname{tg}\varphi_n$  - номінальний коефіцієнт реактивної потужності;

$P_n$  – ном. акт. потужність.

Середні значення навантажень за найбільш завантажену зміну:

$$P_{CM} = \sum_{i=1}^n k_{Vi} P_{ni},$$

$$Q_{CM} = \sum_{i=1}^n k_{Vi} P_{ni} \operatorname{tg}\varphi_{ci},$$

де  $n$  - число ЕП;

$\operatorname{tg}\varphi_{ci}$  - усереднені значення  $\operatorname{tg}\varphi$  для даного типу ЕП [4] [5],

$k_{vi}$  - індивідуальний коефіцієнт використання, характерний для даного ЕП;

Значення  $K_M$  визначають за таблицями  $K_M(n_e, K_B)$ . Груповий коефіцієнт використання:

$$K_B = \frac{P_{CM}}{P_H} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{vi} P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}},$$

де  $P_H$  - номінальна потужність всіх ЕП.

Вираз для визначення ефективного числа ЕП:

$$n_e = \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2} = \frac{P_H^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2}.$$

Для вертикально-свердлильного станка (5-6, рис. 1.2):

$$P_{CM} = n \cdot k_B \cdot P_H = 2 \cdot 0,14 \cdot 2 = 0,56 \text{ (кВт)};$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg}\varphi_c = 0,56 \cdot 0,7 = 0,39 \text{ (квар)}.$$

Визначимо  $k_B$  для групи електроприймачів ШР таРП:

$$K_{B \text{ ШР}} = \frac{\sum P_{CM}}{P_{H\Sigma}} = \frac{2,4 + 0,56 + 1,17 + 1,9 + 2,21}{5 \cdot 4 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 9,5 + 13} = 0,15 ;$$

$$K_{B \text{ РП}} = \frac{\sum P_{CM}}{P_{H\Sigma}} = \frac{2,4 + 0,56 + 1,17 + 1,9 + 2,1 + 0,3}{5 \cdot 4 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 9,5 + 13 + 30} = 0,2 .$$



Визначаємо коефіцієнт максимуму акт. потужності за коефіцієнтами  $K_B$  і  $n_{\text{еф}}$  з таблиці 1.1 [3].

Ефективне число електроприймачів для РП1

$$n_{\text{еф}} = \frac{(85,5)^2}{1294,25} \approx 5$$

Із таблиці 1.1 [3]: обираємо  $K_M = 1,72$ .

Знайдемо розрахункову акт. потужність (див. табл. 2.1).

$$P_M = K_M P_{\text{см}},$$

$$P_M = 1,72 \cdot 17,24 = 29,65 \text{ (кВт)}.$$

Оскільки,  $n_{\text{еф}} < 10$ , то реактивна потужність визначатиметься за формулою:

$$Q_M = 1,1 \cdot Q_{\text{см}};$$

$$Q_M = 1,1 \cdot 22,66 = 24,93 \text{ (квар)}.$$

Знайдемо повну розр. потужність:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{29,65^2 + 24,93^2} = 38,74 \text{ (кВА)}.$$

Розрахункові навантаження цеху знаходяться так:

$$K_B = \frac{\sum n \cdot P_H \cdot k_B}{\sum n \cdot P_H} = \frac{50,74}{222,5} = 0,23,$$

$$n_e = \frac{\left(\sum n \cdot P_H\right)^2}{\sum n \cdot P_H^2} = \frac{222,5^2}{3357,25} \approx 14.$$

З таблиці 1.2 , с.11, знаходимо значення  $K_M=0,8$  і обчислюємо розрахункову потужність цеху на шинах 0,4 кВ ТП [5]:

$$P_M = K_M \cdot \sum n \cdot P_H \cdot k_B = 0,8 \cdot 50,74 = 43,13 \text{ (кВт)},$$

$$Q_M = Q_C = 58,52 \text{ (квар)},$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{43,13^2 + 58,52^2} = 72,69 \text{ (кВА)}.$$

Проведені обчислення наводимо в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Розрахунок навантаження цеху механічної обробки деталей

Назва Е.П	п,шт	$P_H$ , кВт	$n \cdot P_H$ , кВт	$K_B$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_c$ , кВт	$Q_c$ , квар	$n \cdot P^2_H$	$N_e$	$K_M$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , квар	$S_M$
РП1 ШР1														
Радіально-свердильний станок (1-4)	4	5	20	0,12	0,4	2,29	2,4	5,496	100					
Вертикально-свердильний станок (5-6)	2	2	4	0,14	0,5	0,7	0,56	0,39	8					
Різьбо-шліфувальний станок (7-9)	3	3	9	0,13	0,45	1,98	1,17	2,32	27					
Координатно-шліфувальний станок (10)	1	9,5	9,5	0,2	0,5	0,7	1,9	1,33	90,25					
Вертикально-фрезерний станок (14)	1	13	13	0,17	0,65	1,17	2,21	2,59	169					
Всього ШР1	11		55,5	0,15			8,24	12,13	394,25	7	1,86	15,33	13,34	20,32
Прес (23)	1	30	30	0,3	0,65	1,17	9	10,53	900					
Всього РП1	12		85,5	0,2			17,24	22,66	1294,25	5	1,72	29,65	24,93	38,74

Продовження таблиці 2.1

Назва Е.П	п,шт	$P_H$ , кВт	$n \cdot P_H$ , кВт	$K_B$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_c$ , кВт	$Q_c$ , квар	$n \cdot P^2_H$ ,	$N_e$	$K_M$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , квар	$S_M$
РП2 ШР2														
Внутрішньо-шліфувальний станок (11-13)	3	10	30	0,24	0,65	1,17	7,2	8,4	300					
Вертикально-фрезерний станок (15)	1	10	10	0,24	0,65	1,17	2,4	2,8	100					
Плоско-шліфувальний станок (17-20)	4	6	24	0,2	0,65	1,17	4,8	5,6	144					
Гравіровочно-фрезерний станок (21-22)	2	15	30	0,3	0,65	1,17	9	10,53	450					
Відрізний автомат (16)	1	16	16	0,5	0,85	0,62	8	4,96	900					
Обдувочна установка (24)	1	13	13	0,16	0,5	1,7	2,1	3,57	169					
Всього ШР2	12		137	0,24			33,5	35,86	2063	9	1,07	35,85	39,44	53,29
Всього РП2	12		137	0,24			33,5	35,86	2063	9	1,07	35,85	39,44	53,29
Всього по цеху	24	132	222,5	0,23			50,74	58,52	3357,25	14	0,8	43,13	58,52	72,69

### 2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства

Складемо математичну модель задачі розрахунку силових та освітлювальних навантажень методами коефіцієнтів використання  $K_v$  та попиту  $K_p$  [8].

Початковими даними для матмоделі є:

$K_{pi}$  – коефіцієнт попиту  $i$ -го цеху;

$K_{vi}$  – коефіцієнт використання  $i$ -го цеху;

$P_{ni}$  – номін. акт. потужність  $i$ -го цеху, кВт;

$\cos\varphi_i$  – коефіцієнт потужності  $i$ -го цеху;

$P_{питi}$  – питома освітлювальне навантаження, кВт/м<sup>2</sup>;

$F_i$  – площа поверхні цеху, м<sup>2</sup>;

$K_{poi}$  – коефіцієнт попиту освітлення  $i$ -го цеху.

Ці вихідні дані наведено на рисунку 2.1.

Активна потужність електроосвітлення:

$$P_{POi} = P_{nmi} \cdot F_i \cdot K_{POi} \cdot K_{PPAi} \cdot 0,001,$$

де  $K_{poi}$  – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження  $i$ -го цеху;

$F_i$  – площа  $i$ -го цеху, м<sup>2</sup>;

$P_{питi}$  – питома густина освітлювального навантаження  $i$ -го цеху, кВт/м<sup>2</sup>;

$K_{праi}$  – коефіцієнт пуско-регулюючої апаратури  $i$ -го цеху.

Реактивна потужність електричного освітлення  $i$ -го цеху:

$$Q_{POi} = P_{POi} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{Oi}.$$

Активне навантаження середнє  $i$ -го цеху:

$$P_{Ci} = P_{Hi} \cdot K_{Vi} + P_{POi},$$

де  $P_{нoмi}$  – номінальна потужність  $i$ -го цеху, кВт;

$K_{Vi}$  – коефіцієнт використання  $i$ -го цеху.

Реактивне навантаження середнє і-го цеху:

$$Q_{Ci} = P_{Ci} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + Q_{POi},$$

де  $\operatorname{tg} \varphi_i$  – коефіцієнт реактивної потужності і-го цеху;

$Q_{POi}$  – розрахункова реактивна потужність освітлення і-го цеху.

Повне середнє навантаження і-го цеху:

$$S_{Ci} = \sqrt{P_{Ci}^2 + Q_{Ci}^2}.$$

Активне розрахункове навантаження і-го цеху:

$$P_{Pi} = P_{Hi} \cdot K_{Pi} + P_{POi},$$

де  $K_{Pi}$  – коефіцієнт попиту і-го цеху (відношення розрахункової активної потужності до номінальної активної потужності приймача);

Реактивне розрахункове навантаження і-го цеху:

$$Q_{Pi} = P_{Pi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + Q_{POi}.$$

Повне розрахункове навантаження і-го цеху:

$$S_{Pi} = \sqrt{P_{Pi}^2 + Q_{Pi}^2}.$$

Розрахунковий струм і-го цеху:

$$I_{Pi} = \frac{S_{Pi}}{\sqrt{3} \cdot U_H}.$$

Сумарне навантаження цехів:

$$P_{PO\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_{POi};$$

$$Q_{PO\Sigma} = \sum_{i=1}^N Q_{POi};$$

$$P_{C\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_{Ci};$$

$$Q_{C\Sigma} = \sum_{i=1}^N Q_{Ci};$$

$$P_{P\Sigma} = K_o \cdot \left( \sum_{i=1}^N P_{Pi} - P_{PO\Sigma} \right) + P_{PO\Sigma};$$

$$Q_{P\Sigma} = K_o \cdot \left( \sum_{i=1}^N Q_{Pi} - Q_{PO\Sigma} \right) + Q_{PO\Sigma},$$

де  $N$  – кількість цехів;

$K_o$  – коефіцієнт одночасності (згідно [2], таблиця 3, для коефіцієнту використання в цілому по заводу 0,65 та кількості приєднань 4 на збірних шинах ЦРП матимемо  $K_o = 1,0$ ).

Повне сумарне навантаження:

$$S_{C\Sigma} = \sqrt{P_{C\Sigma}^2 + Q_{C\Sigma}^2};$$

$$S_{P\Sigma} = \sqrt{P_{P\Sigma}^2 + Q_{P\Sigma}^2}.$$

Результати розрахунку навантажень підприємства наведені на рис. 2.1.

№	Найменування цехів	Н	Рн кВт	cosφ	tgφ	Кп	Кв	F м²	Кпо	Рплт Вт/м²	Рро кВт	Рс кВт	Qс квар	Sc кВА	Iс А	Рр кВт	Qr квар	Sr кВА	Ir А	ρo кВА/м²
Розрахунок навантажень методом коефіцієнту попиту											Ун = 0,38		Ko = 1,0							
1	Ідальня	Н	20	0,9	0,484	0,4	0,7	1348	1	0,012	16,170	30,170	14,612	33,522	50,932	24,170	11,706	26,856	40,803	0,020
2	Збиральний	Н	140	0,75	0,882	0,6	0,8	2800	0,85	0,018	42,840	154,84	136,556	206,453	313,673	126,84	111,862	169,12	256,951	0,060
3	Адм. корпус	Н	100	0,8	0,750	0,5	0,65	1180	0,85	0,024	24,072	89,072	66,804	111,340	169,164	74,072	55,554	92,590	140,676	0,078
4	Сантехмонтажний	Н	23	0,8	0,750	0,4	0,7	888	0,85	0,015	11,322	27,422	20,567	34,278	52,079	20,522	15,392	25,653	38,975	0,029
5	Прохідна	Н	5	0,7	1,020	0,3	0,7	75	0,8	0,018	1,080	4,580	4,673	6,543	9,941	2,580	2,632	3,686	5,600	0,049
6	Механоремонтний	Н	260	0,9	0,484	0,8	0,8	1000	0,85	0,018	15,300	223,300	108,149	248,111	376,966	223,300	108,149	248,111	376,966	0,248
7	Механічний № 1	Н	450	0,8	0,750	0,6	0,8	2503	0,85	0,015	31,913	391,913	293,935	489,892	744,313	301,913	226,435	377,392	573,387	0,151
8	Механічний № 2	Н	400	0,6	1,333	0,7	0,8	1068	0,85	0,014	12,709	332,709	443,612	554,515	842,499	292,709	390,279	487,849	741,209	0,457
9	Електромонтажний	Н	250	0,9	0,484	0,7	0,7	1373	0,85	0,016	18,673	193,673	93,800	215,192	326,950	193,673	93,800	215,192	326,950	0,157
10	Фарбувальний	Н	380	0,75	0,882	0,6	0,7	2000	0,85	0,015	25,500	291,500	257,079	388,667	590,518	253,500	223,566	338,000	513,538	0,169
11	Мех. обробки деталей	Н	222,5	0,85	0,620	0,7	0,8	920	0,85	0,015	11,730	189,730	117,584	223,212	339,135	167,480	103,795	197,035	299,364	0,214
12	Штамповочний	Н	600	0,8	0,750	0,6	0,6	1200	0,85	0,013	13,260	373,260	279,945	466,575	708,887	373,260	279,945	466,575	708,887	0,389
13	Склади (№№ 13-18)	Н	10	0,6	1,333	0,25	0,5	250	0,8	0,012	2,400	7,400	9,867	12,333	18,739	4,900	6,533	8,167	12,408	0,033
14	Гідропрес	Н	230	0,75	0,882	0,5	0,8	775	0,85	0,014	9,223	193,223	170,422	257,641	391,444	124,223	109,564	165,637	251,659	0,214
15	Термопластавтоматів	Н	510	0,9	0,484	0,7	0,8	1375	0,85	0,014	16,363	424,363	205,528	471,514	716,391	373,363	180,828	414,847	630,295	0,302
16	Гальванокриття	Н	30	0,85	0,620	0,7	0,7	525	0,85	0,017	7,586	28,586	17,716	33,631	51,097	28,586	17,716	33,631	51,097	0,064
22	Всього на напрузі 0,38 кВ		3631				0,74	19280			260,14	2955,74	2240,85	3709,151		2585,09	1937,76	3230,73		0,168

Рисунок 2.1 – Результати визначення розрахункових навантажень

Отже, повна сер. потужність заводу складає  $S_{C\Sigma} = 3709,151$  кВА  
 $S_{P\Sigma} = 3230,73$  кВА [9].

## 2.2 Знаходження оптим. кількості та потужності цехових ТП

Цехи підприємства «Маяк» відносяться до 2-ї та 3-ї категорій. В зв'язку з цим вибираємо двотрансформаторні ЦТП.

Так як густина навантаження  $\rho \leq 0,2$  кВА/м<sup>2</sup>, то є сенс вибрати трансформатори потужністю  $\leq 1000$  кВА.

Виконаємо розподіл цехів між трансф. підстанціями таким чином (див. табл. 2.2) [10].

Таблиця 2.2 – Розподіл навантаження ТП між цехами

Цех	S <sub>м</sub> , кВА	k <sub>з</sub>
1,2,7,20,13-18,12	1730	0,87
8,9,10,11,19,21,3,4,5,6	1758	0,88

Знайдемо оптимальну потужність трансформаторів ТП по мінімуму затрат в ТП.

Математична модель задачі:

$$Z(S_m) = (E_e + E_a) \cdot K_{ТП}(S_T, k_T) + [\Delta P_{xx}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{кз}(S_T) \cdot \frac{S_{ТП}^2}{S_T^2 \cdot k_T}] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min_{S_T \in S_{СТ}}$$

$$k_H \cdot k_T \cdot S_T \geq S_{ТПсм}$$

$$k_T > 1 \Rightarrow k_{па} \cdot S_T \geq k_{нпа} \cdot S_{ТП};$$

$$S_T \in S_{СТ},$$

де  $E_e$  – ефективність капіталовкладень,

$E_a$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію,

$K_{ТП}(S_T, k_T)$  – капіталовкладення в ТП;

$\Delta P_{xx}(S_T)$  – втрати х.х.;

$k_T$  – число трансформаторів ЦТП;

$\Delta P_{кз}(S_T)$  – втрати к.з.;

$S_{ТП}$  – розрахункова потужність ТП;

$S_T$  – номінальна потужність трансформатора ТП;

$t$  – тариф на електроенергію;



$\tau$  – число годин максимальних втрат;

$k_n$  – коефіцієнт навантаження трансформатора;

$S_T$  – потужність окремого тр-ра;

$S_{ТП}$  – розрахункова потужність ТП;

$k_{па}$  – максимально допустимий коефіцієнт навантаження тр-ра в післяаварійному режимі згідно ДСТУ 3463-96;

$k_{ппа}$  – частина навантаження ТП, яка повинна залишитись в роботі в післяаварійному режимі (погоджується з технологами);

$S_{СТ}$  – множина стандартних потужностей силових трансформаторів.

Значення коефіцієнтів  $k_{ппа}$  з урахуванням технологічного процесу та категорії споживачів приймаємо:  $k_{ппа} = 0,9$ .

Результати розрахунків заносимо в таблицю на рис. 2.2, 2.3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Вибір оптимальної потужності ТП1 за мінімумом затрат																
2	Дані нормального режиму																
3	Розрах. Потужність ТП, кВА													Sp=	1730		
4	Середня потужність ТП, кВА													Sc=	1810		
5	кількість трансформаторів													k=	2		
6	Дані післяаварійного режиму																
7	Коефіцієнт перевантаження т-ра в п.а. режимі													Kппа=	1,3		
8	Доля навантаження у п.а. режимі													Kппа=	1		
9	Економічні характеристики																
10	Питома вартість втрат, грн/кВт													Bo=	1519,559		
11	коефіцієнт ефективності капіталовкладень													Ee=	0,1		
12	коефіцієнт відрахувань на амортизацію													Ea=	6,6%		
13																	
14		St, кВА	ΔPкз, кВт	ΔPxx, кВт	Ixx, %	Uкз, %	Kтп1, грн	Kтп2, грн	E*К, грн	ΔPзм, кВт	ΔPпс, кВт	ΔP, кВт	Vв, тис. грн	З, тис. грн		X	
15		63	1,28	0,24	2,8	4,5	31,536	76,626	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
16		100	1,97	0,33	2,6	4,5	35,496	83,466	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
17		160	3,1	0,51	2,4	4,5	40,302	89,226	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
18		250	4,2	0,74	2,3	4,5	47,016	93,06	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
19		400	5,9	0,95	2,1	4,5	55,638	96,894	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
20		630	8,5	1,31	2	5,5	65,232	127,62	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
21		V 1000	10,5	2,1	1,4	6	76,032	142,47	23,65002	15,71273	4,2	19,91273	30,258554	53,90857	V	+	
22		1600	18	2,8	1,3	5,5	89,172	187,2	31,0752	10,52191	5,6	16,12191	24,498194	55,57339		+	
23		2500	23,5	3,85	1	6,5	104,472	214,182	35,55421	5,626652	7,7	13,32665	20,250629	55,80484		+	
24	Мінімальні затрати, тис. грн													53,90857			
25	Оптимальна потужність трансформатора, кВА													1000			

Рисунок 2.2 – Результати розрахунків

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	<b>Вибір оптимальної потужності ТП2 за мінімумом затрат</b>																
2	<b>Дані нормального режиму</b>																
3	Розрах. Потужність ТП, кВА													Sp=	1758		
4	Середня потужність ТП,кВА													Sc=	1850		
5	кількість трансформаторів													k=	2		
6	<b>Дані післяаварійного режиму</b>																
7	Коефіцієнт перевантаження т-ра в п.а. режимі													Kппа=	1,3		
8	Доля навантаження у п.а. режимі													Kппа=	1		
9	<b>Економічні характеристики</b>																
10	Питома вартість втрат, грн/кВт													Vo=	321,8564		
11	коефіцієнт ефективності капіталовкладень													Ee=	0,1		
12	коефіцієнт відрахувань на амортизацію													Ea=	6,6%		
13																	
14		St, кВА	ΔPкз, кВт	ΔPхх, кВт	Іхх, %	Uкз, %	Kтп1, грн	Kтп2, грн	E*К, грн	ΔPзм, кВт	ΔPпс, кВт	ΔP, кВт	Vв, тис. грн	З, тис. грн		X	
15		63	1,28	0,24	2,8	4,5	31,536	76,626	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
16		100	1,97	0,33	2,6	4,5	35,496	83,466	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
17		160	3,1	0,51	2,4	4,5	40,302	89,226	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
18		250	4,2	0,74	2,3	4,5	47,016	93,06	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
19		400	5,9	0,95	2,1	4,5	55,638	96,894	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
20		630	8,5	1,31	2	5,5	65,232	127,62	-----	-----	-----	-----	-----	-----		--	
21	V	1000	10,5	2,1	1,4	6	76,032	142,47	23,65002	16,22546	4,2	20,42546	6,5740657	30,22409	V	+	
22		1600	18	2,8	1,3	5,5	89,172	187,2	31,0752	10,86526	5,6	16,46526	5,2994509	36,37465		+	
23		2500	23,5	3,85	1	6,5	104,472	214,182	35,55421	5,81026	7,7	13,51026	4,348364	39,90258		+	
24	Мінімальні затрати, тис. грн														30,22409		
25	Оптимальна потужність трансформатора, кВА														1000		

Рисунок 2.3 – Вибір потужності цехової трансформаторної підстанції № 2

Вибираємо трансформатори потужністю 1000 кВА.

Результати вибору заносимо в табл. 2.3.

Таблиця 2. 3 – Результати вибору ЦТП

КТП	S <sub>см</sub> , кВА	S <sub>р</sub> , кВА	k <sub>T</sub>	k <sub>па</sub>	S <sub>T</sub> , кВА
КТП1	1810	1730	2	1,3	1000
КТП2	1850	1758	2	1,3	1000

### 2.3 Визначення оптимального перерізу зовнішньої лінії живлення

Живлення підприємства здійснюємо на напрузі 10 кВ від сусідньої трансформаторної підстанції «Західна».

Однолінійна схема електропостачання заводу «Маяк» зображена на рис. 2.4.

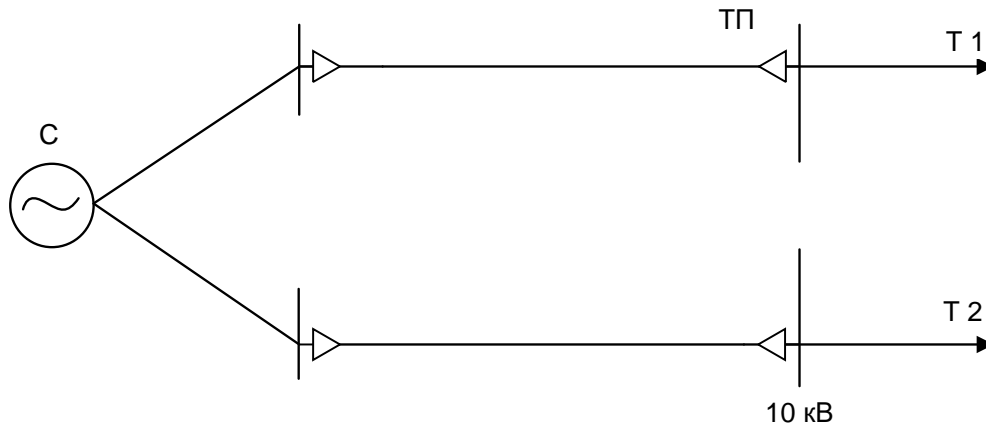


Рисунок 2.4 – Схема живлення підприємства

Визначимо навантаження цехових ТП та зовнішньої КЛ 10 кВ з урахуванням втрат потужності в трансформаторах цехових ТП.

Втрати потужності в цехових ТП визначимо за формулами [15]:

$$\Delta P_{\text{ЦТП}} = \sum_{i=1}^n \left( \Delta P_{\text{хх}i} + \Delta P_{\text{кз}i} \cdot \left( \frac{S_{\text{р}i}}{S_{\text{н}i}} \right)^2 \right)$$

$$\Delta Q_{\text{ЦТП}} = \sum_{i=1}^n \frac{S_{\text{р}i}}{100} \left( \left( \frac{S_{\text{р}i}}{S_{\text{н}i}} \right)^2 \cdot U_{\text{кз}i} + I_{\text{кз}i} \% \right)$$

де  $\Delta P_{\text{хх}}$  - втрати х.х.;

$U_{\text{кз}}$  - напруга к.з.;

$I_{\text{кз}}$  - струм к.з.;

$n$  - кількість ЦТП

$\Delta P_{\text{кз}}$  - втрати к.з.;

$S_{\text{р}}$  - розрахункова потужність ЦТП;

$S_{\text{н}}$  – ном. потужність трансформатора ЦТП.

Наступний розрахунок виконуємо в такій послідовності:

$$P_{\text{ж}} = P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{ЦТП}}; \quad Q_{\text{ж}} = Q_{\text{р}} + \Delta Q_{\text{ЦТП}}; \quad S_{\text{ж}} = \sqrt{P_{\text{ж}}^2 + Q_{\text{ж}}^2},$$

де  $P_{\text{р}}$  - сумарна активна розрахункова потужність заводу (наведена на рис. 2.1);

$Q_{ж}$  - сумарна реактивна розрахункова потужність заводу ( наведена на рис. 2.1);

$S_{ж}$  - сумарна повна розрахункова потужність заводу;

$\Delta P_{цтп}$  - сумарні втрати активної потужності в ЦТП;

$\Delta Q_{цтп}$  - сумарні втрати реактивної потужності в ЦТП.

Розрахунки виконуються з допомогою Excel автоматично в електронній таблиці рис. 2.5.

№ ТП	Сном_Т кВА	кт	$\Delta P_{хх}$ кВт	$\Delta P_{кз}$ кВт	$I_{хх}$ %	$U_{кз}$ %	Sp кВА	$\Delta P_{тр}$ кВт	$\Delta Q_{тр}$ квар	$\Delta S_{тр}$ кВА
1	1000	2	2,10	10,50	1,4	6,0	1730,000	19,913	28,090	34,432
2	1000	2	2,10	10,50	1,4	6,0	1758,000	20,425	28,093	34,733
<b>Всього</b>								<b>40,338</b>	<b>56,183</b>	<b>69,1639</b>

Рисунок 2.5 –Визначення втрат потужності в ЦТП

При виборі оптимального перерізу зовнішньої КЛ 10 кВ керуємося такими вихідними даними [18]:

- розрахунковий струм приймача  $I$ , А;
- напруга  $U_n$ , кВ;
- струм КЗ на початку КЛ;
- розрахункова потужність приймача з урахуванням втрат (див. вище)  $P$ , кВт;
- реактивна розрахункова потужність приймача  $Q$ , кВА;
- допустима втрата напруги в лінії в нормальному та п/а режимах  $\Delta U_{ноп}$  і  $\Delta U_{падоп}$ , %;
- кількість кіл в лінії  $k_{л}$ ;

- довжина ЛЕП  $L$ , км;
- доля навантаження у післяаварійному режимі,  $k_{\text{ппа}}$  (якщо  $k > 1$ );
- щільність втрат  $B_0$ , грн/кВт.

Визначимо струм к.з. на початку кабельної лінії:

$$I_{\text{кз}} = \frac{S_{\text{кз}}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2,89 \text{ (кА)}.$$

Математична інтерпретація подальшого вибору КЛ 10 кВ:

$$Z(x) = [(E_e + E_a) \cdot K_0(x) + 3 \cdot I_{\text{Л}}^2 \cdot r_0(x) \cdot t \cdot \tau] \cdot L \cdot k_{\text{л}} \rightarrow \min_{x \in X_{\text{cm}}}.$$

$$x \geq x_{\text{ндон}} \equiv I_{\text{дон}}(x) \geq I_{\text{Л}};$$

$$k_{\text{л}} > 1 \Rightarrow x \geq x_{\text{надон}} \equiv k_{\text{л}} \cdot I_{\text{дон}}(x) \geq \frac{k_{\text{л}} \cdot I_{\text{Л}} \cdot k_{\text{ппа}}}{k_{\text{л}} - 1};$$

$$x \geq x_{\text{н}\Delta U} \equiv \Delta U_{\text{н}}(x) \leq \Delta U_{\text{ндон}};$$

$$k_{\text{л}} > 1 \Rightarrow x \geq x_{\text{па}\Delta U} \equiv \Delta U_{\text{па}}(x) \leq \Delta U_{\text{надон}};$$

$$x \geq x_{\text{КЗ}} = \frac{I_{\text{КЗ}} \cdot \sqrt{t_{\text{н}}}}{C};$$

$x \in X_{\text{ст}}$ ,

де  $K_0(x)$  – питома вартість КЛ;

$I_{\text{Л}}$  – струм кабелю;

$\Delta U_{\text{н}}$  – втрата напруги в КЛ в нормальному режимі роботи;

$\Delta U_{\text{ндон}}$  – допуст. втрата напруги в КЛ;

$\Delta U_{\text{па}}$  – втрата напруги в КЛ в післяаварійному режимі;

$\Delta U_{\text{надон}}$  – допустима втрата напруги в КЛ в післяаварійному режимі;

$x_{\text{КЗ}}$  – найменший переріз кабельної лінії;

$I_{\text{к.з.}}$  – струм к.з.;

$t_{\text{н}}$  – приведений час к.з.;

$C$  – терм. коефіцієнт;

$r_0(x)$  – питомий акт. опір кабельної лінії;

$L$  – довжина ЛЕП;

$I_{\text{дон}}$  – доп. струм кабельної лінії;

$k_{\text{л}}$  – кількість ланцюгів;

$k_{\text{п}}$  – коефіцієнт перевантаження.

На рис. 2.6. наведено початкові дані а також кінцевий результат вибору зовнішньої лінії живлення (кабель ААБ 3 × 50 мм<sup>2</sup>).

№	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
7	Напруга, кВ												U = 10	
8	Активна розрахункова потужність ТП, кВт												P = 2625,43	
9	Реактивна розрахункова потужність ТП, кВАр												Q = 1993,94	
10	Розрахунковий струм окремого кабелю, А												I = 95,169	
11	Коефіцієнт допустимого навантаження												Kдоп = 0,920	
12	Допустима втрата напруги в КЛ, %												dUдоп = 5	
13	Кількість кабелів												k = 2	
14	Довжина лінії, км												L = 1	
15	<b>Дані аварійного режиму</b>													
16	Струм к.з. на початку лінії, кА												Iкз = 2,887	
17	Приведений час к.з., с												tn = 1,5	
18	Тепловий коефіцієнт, (А*с^(1/2))/мм <sup>2</sup>												C = 90	
19	Мінімальний переріз лінії за умовою к.з., мм <sup>2</sup>												Fкз = 39,28	
20	<b>Дані післяаварійного режиму</b>													
21	Максимально допустимий коефіцієнт завантаження в післяаварійному режимі												Kпа = 1,2	
22	Доля навантаження в післяаварійному режимі												Kнпа = 1	
23	Допустима втрата напруги в КЛ, %												dUпадоп = 5	
24	*	F	Ro	Xo	Idоп	Ko	dUn	dUna	dP	K	E*K	Bв	З	
25		мм <sup>2</sup>	Ом/км	Ом/км	А	тис.грн/км	%	%	кВт	тис.грн	тис.грн	тис.грн	тис.грн	
26		10	3,100	0,122	0	7,337	4,191	8,382	168,465	14,674	1,761	92,951	---	
27		16	1,940	0,113	75	10,603	2,659	5,319	105,426	21,206	2,545	58,169	---	
28		25	1,240	0,099	90	15,272	1,726	3,453	67,386	30,544	3,665	37,180	---	
29		35	0,890	0,095	115	19,964	1,263	2,526	48,366	39,928	4,791	26,686	---	
30	*	50	0,620	0,090	140	28,405	0,904	1,807	33,693	56,810	6,817	18,590	19,568	
31		70	0,443	0,086	165	38,847	0,667	1,335	24,074	77,694	9,323	13,283	20,329	
32		95	0,326	0,083	205	50,347	0,511	1,021	17,716	100,694	12,083	9,775	21,858	
33		120	0,258	0,081	240	63,710	0,419	0,839	14,021	127,420	15,290	7,736	23,026	
34		150	0,206	0,079	275	78,545	0,349	0,698	11,195	157,090	18,851	6,177	25,028	
35		185	0,167	0,077	310	105,754	0,296	0,592	9,075	211,508	25,381	5,007	30,388	
36		240	0,129	0,075	355	146,671	0,244	0,488	7,010	293,342	35,201	3,868	39,069	
37	Оптимальний переріз КЛ, мм <sup>2</sup>												Fопт = 50,000	
38	Мінімальні затрати, тис.грн												Зmin = 19,568	

Рисунок 2.6 – Результати вибору зовнішньої лінії живлення

## 2.4 Знаходження оптимальних перерізів КЛ 10кВ

### 2.4.1 Розрахунок струмів к.з.

Оскільки ПУЕ [1] вимагає проводити перевірку провідників 10 кВ, виконаємо розрахунок аварійних режимів.

Схема заміщення електричної системи наведена на рис. 2.7:

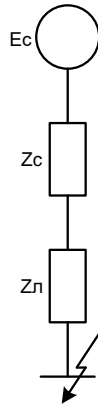


Рисунок 2.7 – Заступна схема для розрахунку струму к.з.

Трифазний струм к.з. на початку ліній ЦРП–ЦТП:

$$I_{кз} = \frac{U_{кз}}{\sqrt{3} \cdot Z},$$

де  $U_{кз}$  – напруга на шинах ЦРП, кВ.

Сумарний опір:

$$Z = \sqrt{R_l^2 + (X_l + X_c)^2},$$

де  $R_l$  – активний опір КЛ, Ом;

$X_l$  – реактивний опір КЛ, Ом;

$X_c$  – опір системи, Ом.

Опір системи:

$$X_c = \frac{U_n^2}{S_{кз}},$$

де  $S_{кз}$  – потужність к.з., МВА.

Розрахунок струму к.з. виконаємо на робочому листі “КЛ–1”, на якому також розрахуємо переріз КЛ до ЦТП–1. Таблиця з розрахунком опорів зображена на рисунку 2.8.

	Q	R
16	$X_c =$	2,000
17	$X_l =$	0,090
18	$R_l =$	0,620
19	$Z =$	2,180

Рисунок 2.8 – Визначення опорів елементів заступної схеми

## 2.4.2 Автоматизація пошуку оптимальних перерізів КЛ від ЦРП до ТП

Автоматизований розрахунок розподільних кабельних мереж 10 кВ, які живлять цехові ТП, виконаємо за допомогою математичної моделі та табличної форми, що були наведені в п. 2.3.

Слід зазначити, що для випадку розподільних КЛ коефіцієнт допустимого навантаження  $K_{доп}$  буде розраховуватися так [22]:

$$K_{доп} = k_c \cdot k_n = 1,0 \cdot 0,93 = 0,93,$$

де  $k_c$  – коефіцієнт середовища (згідно [1], таблиця 1.3.3, для умовної температури середовища  $15^0$ , нормованої температури жил  $65^0$  та розрахункової температури середовища  $15^0 k_c = 1,0$ );

$k_n$  – коефіцієнт прокладки (згідно [1], таблиця 1.3.26, для відстані між кабелями 300 мм та кількості кабелів 2  $k_n = 0,93$ ).

Результати розрахунку наведемо на рис. 2.9.

В	С	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Активна розрахункова потужність споживача, кВт												Рр=	1569,913	
Реактивна розрахункова потужність споживача, кВАр												Qр=	796,09	
Кількість ланцюгів												к=	2	
Допустима втрата напруги в КЛ, %												$\Delta U_{доп}$ =	5	
Довжина лінії, км												L=	1	
Розрахунковий струм окремого проводу, А												I=	50,81327	
<b>Дані післяаварійного режиму</b>														
Коефіцієнт перевантаження КЛ у післяаварійному режимі												Кппа=	1,1	
Доля навантаження у післяаварійному режимі												Кнпа=	0,78	
Допустима втрата напруги в КЛ у післяаварійному режимі, %												$\Delta U_{доппа}$ =	10	
<b>Економічні характеристики</b>														
Питома вартість втрат, грн/кВт												Во=	321,8564	
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень												Ее=	0,1	
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію												Еа=	4%	
Мінімальний переріз за умов К.З.												Фкз=	21,18	
F,	Ro,	Xo,	Iдоп,	Ko1,	Ko2,	$\Delta U$ ,	$\Delta U_{па}$ ,	X	Vтп,	$\Delta P$ ,	Вв,	З,тис.		
мм <sup>2</sup>	Ом/км	Ом/км	А	тис.грн/км	тис.грн/км	%	%		грн	кВт	грн	тис. грн		
10	3,1	0,122	0	0	0	2,481927	3,871806	---	---	---	---	---		
16	1,94	0,113	75	17,36	34,72	1,567795	2,44576	---	---	---	---	---		
25	1,24	0,099	90	19,96	39,92	1,012753	1,579894	+	11177,6	19,20999	6182,85979	17,26023		
V 35	0,89	0,095	115	23,55	47,1	0,736426	1,148824	+	13188	13,78782	4437,69776	17,19014	V	
50	0,62	0,09	140	27,12	54,24	0,522497	0,815095	+	15187,2	9,604997	3091,4299	18,27863		
Мінімальні затрати, тис. грн													17,19014	
Оптимальний переріз, мм <sup>2</sup>													35	

Рисунок 2.9 – Результати розрахунку перерізу кабельної лінії №1



Отримані параметри ліній зведемо в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок вибору оптимального перерізу КЛ

	Приведені затрати $Z$ , тис.грн	Кількість кабелів $k$	Переріз КЛ $F_{\text{опт}}$ , мм <sup>2</sup>
КЛ-1	17,19	2	35
КЛ-2	18,47	2	35

2.5 Визначення оптимальних координат розміщення ЦРП за критерієм мінімуму затрат в системі електропостачання

Математична інтерпретація поставленої задачі запишеться таким чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} 3(x_0, y_0) = \left[ (E_e + E_{аж}) \cdot (\alpha_{жс} + K_0(F_{жс})) + 3 \cdot I_{лжс}^2 \cdot r_0(F_{жс}) \cdot B_0 \right] \cdot k_{жс} \cdot \rho((x_0, y_0), (x_{жс}, y_{жс})) + \\ + \sum_{i=1}^n \left[ (E_e + E_a) \cdot (\alpha + K_0(F_i) \cdot k_i) + 3 \cdot I_{ли}^2 \cdot r_0(F_i) \cdot k_i \cdot B_0 \right] \cdot \rho((x_0, y_0), (x_i, y_i)) \rightarrow \min_{(x_0, y_0) \in X} \\ \min_{i=1}^n (x_i) \leq x_0 \leq \max_{i=1}^n (x_i); \\ \min_{i=1}^n (y_i) \leq y_0 \leq \max_{i=1}^n (y_i), \end{array} \right.$$

де  $3(x_0, y_0)$  – приведені затрати;

$E_e$  – коефіцієнт ефективності;

$E_a$  – відрахування на амортизацію;

$I_{ли}$  – струм окремої кабельної лінії;

$n$  – кількість цехових трансформаторних підстанцій;

$(x_{жс}, y_{жс})$  – координати живлення;

$(x_i, y_i)$  – координати цехової трансформаторної підстанції;

$(x_0, y_0)$  – координати центру мережі;

$\alpha_{жс}, \alpha$  – питома вартість лінії живлення та інших кабельних ліній;

$K_0(F)$  – питома вартість ЛЕП;

$I_{лж}$  – струм лінії живлення;

$r_0(F)$  – питомий опір ЛЕП;

$B_0$  – вартість втрат активної потужності в ЛЕП;

$k_{жс}$  – кількість кабелів лінії живлення;

$k_i$  – кількість кіл.

Результати розрахунку наведені на рисунку 2.10.

Вибір центру мережі												
Характеристики мережі												
Напруга, кВ											U=	10
Метрика мережі: Е-евклідова, НЕ- неевклідова											Метрика	НЕ
Економічні характеристики												
Питомі витрати, що не залежать від перерізу, грн/км											a=	2700
Питома вартість втрат, грн/км											Bo=	321,8564
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень											Ee=	0,1
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію											Ea=	4%
Координати центру, м	Xo=	129,7	min X	24	max X	340						
	Yo=	108,2	min Y	28	max Y	280						
ТП споживача	X, м	Y, м	F, мм²	k	Pp, кВт	Qp, кВАр	I, А	Ro, Ом/км	Ko, грн/ км	L, м	З, тис. грн	
ЖП(на 2 кола)	0	128	16	2	2625,43	1993,94	190,338	1,94	34,72	149,5	10146,37	
ТП1	110	170	16	2	1569,913	796,09	97,44	1,94	34,72	81,5	1449,924	
ТП2	235	35	50	2	1588,425	802,093	98,43	0,62	54,24	178,5	1036,728	
Сумарні затрати, тис. грн												12633,03

Рисунок 2.10 – Результати знаходження координат ЦМ

Для чіткого представлення розподілення навантажень по території підприємства побудуємо картограму електричних навантажень. Картограма навантажень представляє собою розміщені на генплані площі, обмежені кругами. Центр круга цеху повинен співпадати з центром навантажень цього цеху [27].

Картограму навантажень будуємо на кресленні генерального плану підприємства (додаток Б).

$$P_{Mk} = \pi \cdot r_k^2 \cdot m_p.$$

Вибираємо масштаб побудови картограми навантажень: прийнемо радіус круга навантаження, наприклад ідальні 30 м, тоді масштаб побудови визначаємо:

$$m_p = \frac{P_{M1}}{\pi \cdot r_1^2} = \frac{24,17}{3,14 \cdot 50^2} = 0,0036 \text{ кВт/м}^2.$$

Вибираємо  $m_p = 0,005 \text{ кВт/м}^2$ . Визначимо радіуси кругів при даному масштабі [29]:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{M1}}{\pi \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{24,17}{3,14 \cdot 0,005}} = 42,53 \text{ (м)}.$$

Сектор освітлювального навантаження для головного корпусу складає:

$$\alpha_1 = \frac{360 \cdot P_{MO1}}{P_{M1}} = \frac{360 \cdot 16,17}{24,17} = 245,9^\circ.$$

Розрахунки по інших цехах зведені в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків

	Споживачі	x	y	P <sub>мо</sub> , кВт	P <sub>м</sub> , кВт	r <sub>к</sub> , м	α <sub>і</sub> , °
1	Їдальня	45	200	16,17	24,17	42,53	245,9
2	Збиральний	180	210	42,84	126,84	144,5	129,3
3	Адміністративний корпус	235	260	24,07	74,07	50,2	132,4
4	Сантехмонтажний	337	210	11,32	20,52	47,88	206,7
5	Прохідна	333	140	1,08	2,58	9,1	8
6	Механоремонтний	325	65	15,30	223,30	59,8	26,9
7	Механічний цех №1	170	150	31,91	301,91	44,1	41,4
8	Механічний цех №2	180	90	12,71	292,71	43,3	17
9	Електромонтажний	180	60	18,67	193,67	55,8	37,9
10	Фарбувальний	250	78	25,50	253,50	63,86	39
11	Цех механічн.обробки детал.	190	26	11,73	167,48	43,3	39,4

## РОЗДІЛ 3 УПРАВЛІННЯ КОМПЕНСУВАЛЬНИМИ УСТАНОВКАМИ

## ПрАТ «ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»

## 3.1 Визначення оптимальної потужності компенсувальних пристроїв

Математична інтерпретація поставленої задачі матиме такий вигляд:

$$Z(q_k) = \frac{t \cdot \tau}{U_H^2} \left( \sum_{i=1}^{m_1} (q_i - q_{ki})^2 \cdot r_{0i} \cdot L_i + \sum_{i=1}^{m_2} (q_i - q_{ki})^2 \cdot r_{Ti} \right) +$$

$$((E_e + E_a) \cdot B_{k0} + t \cdot \tau \cdot \Delta P_k) \cdot \sum_{i=1}^n q_{ki} \rightarrow \min_{q_k};$$

$$q_{ki} \geq 0, i = 1, \dots, n;$$

$$\sum_{i=1}^n q_{ni} - \sum_{i=1}^n q_{ki} = Q_{ex},$$

де  $n$  – кількість вузлів навантаження;

$m = m_1 + m_2$  – кількість віток мережі;

$m_1$  – кількість ліній;

$m_2$  – кількість трансформаторів;

$E_e$  – ефективність капіталовкладень;

$E_a$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$r_{0i}$  – питомий активний опір;

$L_i$  – довжина лінії;

$q_i$  – сума реактивн. навантажень;

$q_{ki}$  – сума потужностей конденсаторної установки;

$B_k$  – питома вартість КУ (грн/Мвар).

$B_{k0}$  – питома вартість компенсувальних установок;

$B_0$  – питома вартість втрат активної потужності;

$B_k$  – питома вартість КУ (грн/Мвар).

Схема електропостачання підприємства і заступна схема наведені на рисунку 3.1 і рисунку 3.2.

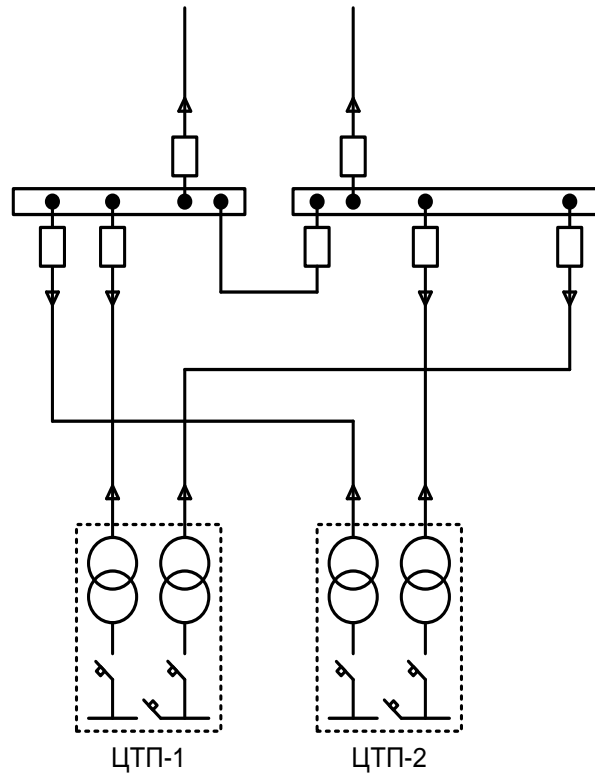


Рисунок 3.1 - Схема електропостачання підприємства

Розгорнута однолінійна схема електропостачання підприємства «Маяк» наведена також в додатку В і на рис. 4.1.

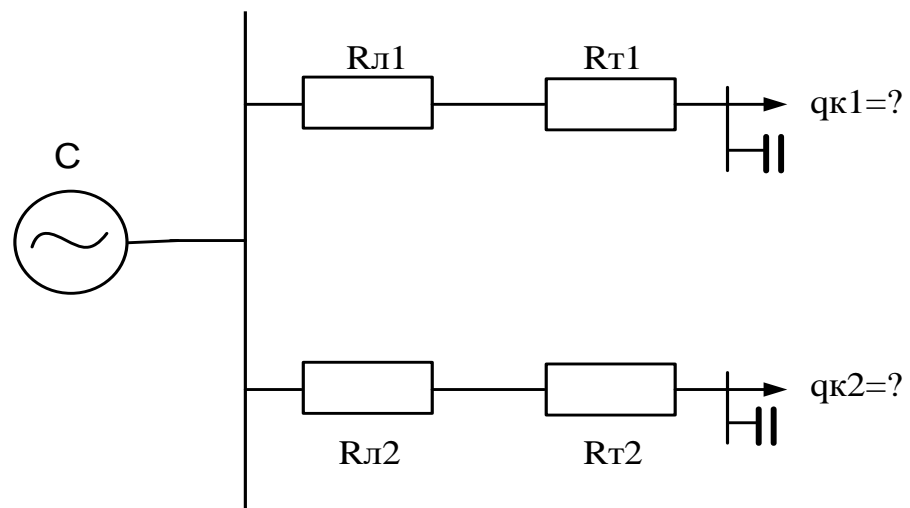


Рисунок 3.2 – Заступна схема мережі

Наведемо форму розв'язання задачі КРН в середовищі MathCad (рис. 3.3) та запис математичної моделі КРН і розв'язання задачі КРН в середовищі

MathCad (рис. 3.4).

Вихідні дані:		
Напруга, кВ		$U := 10$
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень		$E_e := 0.1$
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію		$E_a := 0.044$
Питома вартість КУ		$B_{к0} := 100$
Питомі втрати активної потужності в КУ, кВт/Мвар		$\Delta P_K := 4.5$
Питома вартість втрат активної потужності, грн/кВт		$B_0 := 193.44$
Вхідна реактивна потужність на одну лінію живлення, квар		$Q_{вх} := 227.894$
Опір зовнішньої лінії живлення, Ом	$r_{ж} := 0.620 \cdot 1.066$	$r_{ж} = 0.661$
Опір розподільних ліній живлення, Ом	$r_{л1} := 0.620 \cdot 0.0435$	$r_{л1} = 0.027$
	$r_{л2} := 0.620 \cdot 0.0755$	$r_{л2} = 0.047$
Опір трансформаторів, Ом	ТП-1	$r_{т1} := 1.050$
	ТП-2	$r_{т2} := 1.050$
Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар	$q_{к1} := \frac{682.093}{2}$	$q_{к1} = 341.046$
	$q_{к2} := \frac{917.161}{2}$	$q_{к2} = 458.58$

Рисунок 3.3 – Вихідні дані

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Символьные операции Окно Справка

$$f(q_{к1}, q_{к2}) := \frac{B_0}{U^2} \cdot 10^{-3} \cdot \left[ (q_{н1} - q_{к1})^2 \cdot (r_{т1} + r_{л1}) + (q_{н2} - q_{к2})^2 \cdot (r_{т2} + r_{л2}) \dots \right. \\ \left. + (q_{н1} + q_{н2} - q_{к1} - q_{к2})^2 \cdot r_{ж} \right] + \left[ (E_e + E_a) \cdot B_{к0} + B_0 \cdot \Delta P_K \cdot 10^{-3} \right] \cdot (q_{к1} + q_{к2})$$

Початкові значення потужності БК у вузлах навантаження, квар  $q_{к1} := 90$   
 $q_{к2} := 90$

Given

Обмеження:  $q_{к1} \geq 0$   
 $q_{к2} \geq 0$

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

Визначимо оптимальне проектне рішення:

$$\begin{pmatrix} q_{к1} \\ q_{к2} \end{pmatrix} := \text{Minimize}(f, q_{к1}, q_{к2}) \quad \begin{pmatrix} q_{к1} \\ q_{к2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 226.06 \\ 345.673 \end{pmatrix}$$

Річні приведені затрати, грн  $f(q_{к1}, q_{к2}) = 8.852 \times 10^3$

Оскільки на кожну ТП необхідно встановити два КП, то матимемо:

$q_{к1} = 226.06/2 = 113.03$  (квар)  
 $q_{к2} = 345.673/2 = 172.837$  (квар)

Проектне рішення:

$q_{к1} = 226.06$  (квар) 2хУКМ-0,4-110-10 УЗ  
 $q_{к2} = 345.673$  (квар) 2хУКМ-0,4-180-20 УЗ

Рисунок 3.4 – Запис математичної моделі КРН та розв’язання задачі КРН в середовищі MathCad

Виходячи з отриманих розрахунків, отримали таке рішення (табл. 3.1)

Таблиця 3.1 – Результат розв’язання задачі КРН

№ вузла	Розрахована потужність КП $Q_k$ , квар	Тип та потужність КП
ТП-1	226,06	2хУКМ-0,4-110-10 УЗ
ТП-2	345,673	2хУКМ-0,4-180-20 УЗ

Розглянемо вплив компенсації реактивної потужності на енергозбереження в системі електропостачання ПрАТ «Маяк» (рисунок 3.14).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Елемент	$Q_k$ , квар	$P_n$ , кВт	$Q_n$ , квар	$R_o$ , ом	L, км	R, ом	Q, кВАр	Зпер, грн	Зкомп, грн	З, грн	$WQ_{сп}$ , квар*год	$WQ_{ген}$ , квар*год
31	Рж				0	1	0	96,96	0	0	0		
32	Ртг				0		0	96,96	0	0	0		
33	Рм				1,94	0,8	1,552	96,96	114,8903	0	114,8903		
34	Рт1	341	443,5	110	2		2	56	58	8812,59599	8870,596	323769,6	0
35	Рл				1,94	0,8	1,552	34	14,1272	0	14,127197		
36	Рт2	458	545	180	2		2	34	18,20515	11836,2726	11854,478	196574,4	0
37	Сума	799	988,5	290							20854,091	520344	0
38													
39													
40	tgf	0,2 коефіцієнт реактивної потужності											
41	П1	2601,72 основна плата за РП, грн											
42	П2	0 надбавка за недостатнє оснащення підприємства засобами КРП, грн											
43	T	2601,72 плата за реактивну енергію, грн											
44													
45	Вхідна реактивна потужність $Q_{вх}$ , квар												227,894
46	Економія, грн												7792,644
47	Початкові капіталовкладення, грн												79900
48	Термін окупності												4

Рисунок 3.14 – Таблична форма вирішення задачі КРП

Ряд необхідних даних, які присутні на рис. 3.14, взято з попередніх розрахунків, див., зокрема, рис. 3.3, 3.4.

В результаті проведення серії розрахунків побудовано графік залежності терміну окупності річної економії коштів підприємства від терміну окупності заходів з компенсації реактивн. потужності, який представлено на рисунку 3.15.

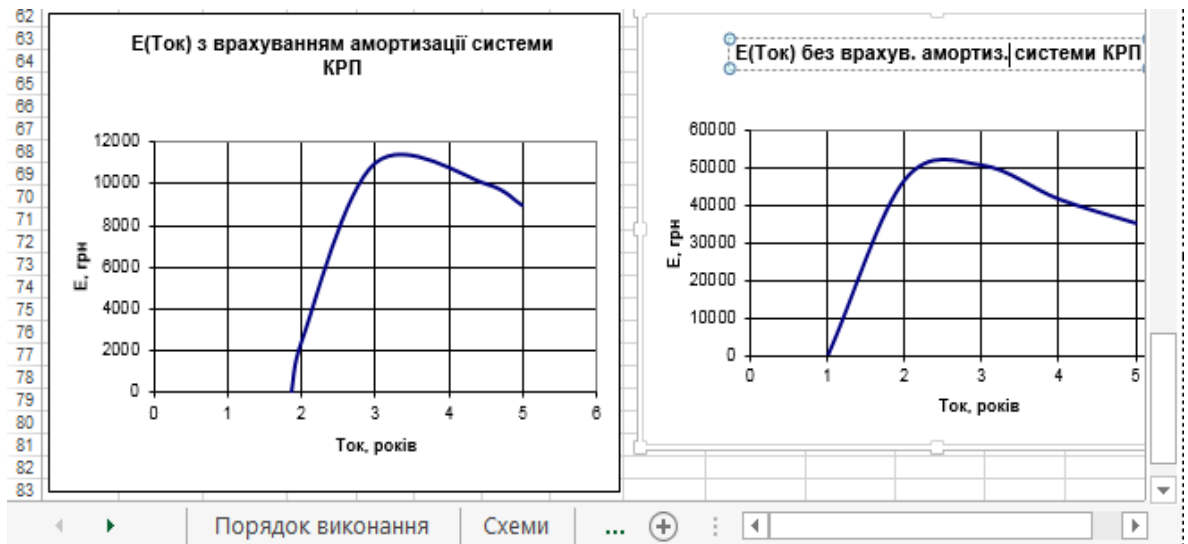


Рисунок 3.15 – Графік залежності економії щорічних капітальних витрат підприємства від терміну окупності системи КРП

З графіка (рисунок 3.15) видно, що найбільша щорічна економія буде за умови оснащення підприємством системою КРП, термін окупності якої складатиме 3,4 роки. Виходячи з цього графіка, можна обрати оптимальну для фінансових можливостей підприємства систему КРП.



### 3.2 Засоби компенсації реактивної потужності в мережах ПрАТ «Маяк»

Види компенсації реактивної потужності можна поділити на:

-індивідуальну компенсацію, яка краща там, де батареї статичних конденсаторів (БСК) під'єднують безпосередньо біля електроприймачів, рис.

3.5. В даному випадку вимикач електроприймача одночасно є вимикачем БСК. Використовується при компенсації одиничних, постійно під'єднаних протягом довгого часу потужностей вище 20 кВт. Недолік - потребує значних капіталовкладень [36].

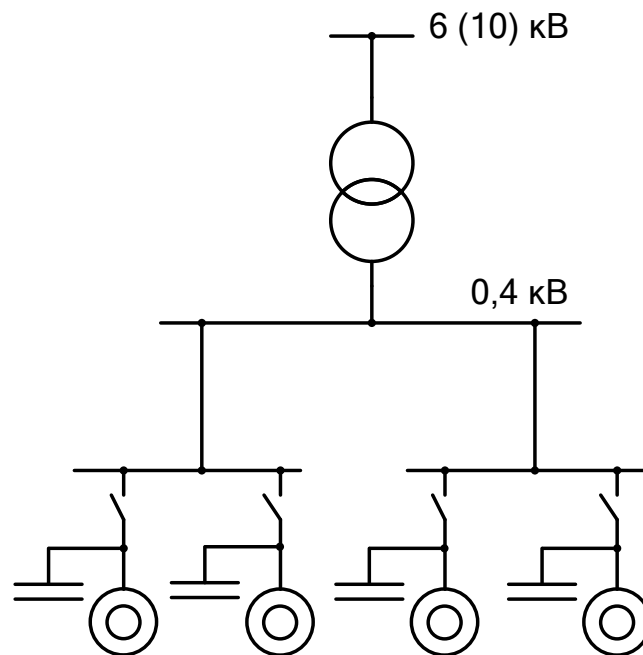


Рисунок 3.5 – Індивідуальна компенсація

Індивідуальна компенсація – це найпростіше технічне рішення. Додаткова перевага індивідуальної компенсації реактивної потужності (КРП) це те, що експлуатаційні затрати на неї порівняно невеликі [27].

Індивідуальна компенсація найбільш ефективна, коли більша частина реактивної потужності генерується невеликою кількістю навантаження, що споживає найбільшу потужність достатньо довгий період часу;

- групову компенсацію, яка застосовується при КРП декількох активно-індуктивних навантажень, під'єднаних до одного розподільного пристрою зі спільною БСК, рис. 3.6. Збільшення коефіцієнта одночасності ввімкнення навантаження зменшує потужність і підвищує ефективність роботи БСК [28].

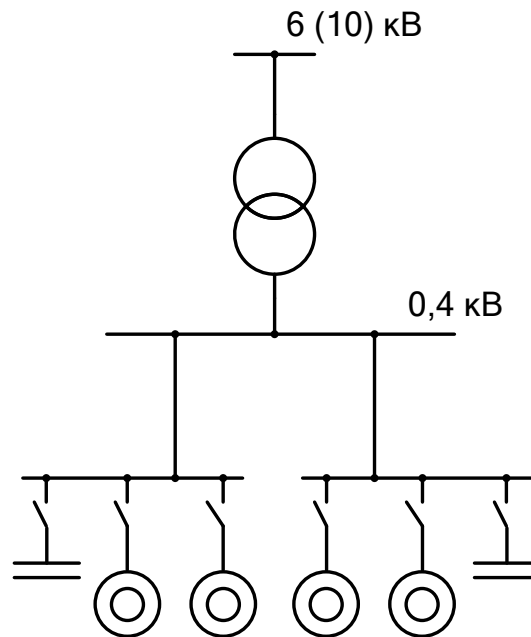


Рисунок 3.6 – Групова компенсація

- централізовану компенсацію. У цьому випадку конденсаторна установка оснащується спеціалізованим контролером і комутаційно-захисною апаратурою. Тут введена конденсаторна установка задовольняє споживаній в конкретний момент часу реактивній потужності без перекомпенсації або недокомпенсації (рис. 3.7).

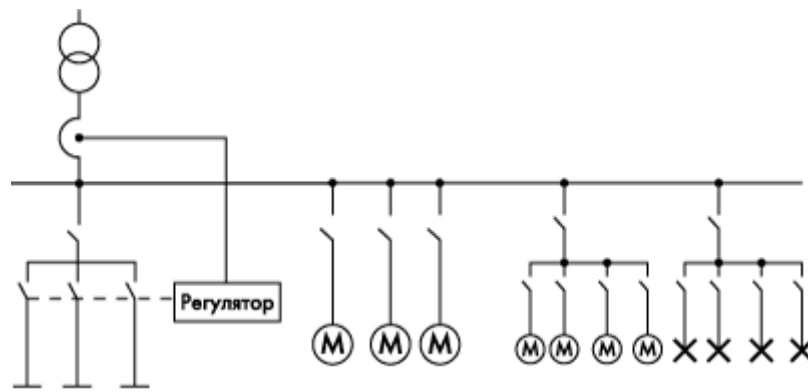


Рисунок 3.7 – Централізована компенсація

На багатьох підприємствах не все устаткування працює одночасно, багато верстатів задіяно всього декілька годин в день. Тому індивідуальна компенсація стає дуже дорогим рішенням, при великій кількості устаткування і відповідно великому числі встановлюваних БСК. Більшість цих БСК не буде задіяна довгий період часу [22].

Централізована компенсація застосовується там, де навантаження змінюється протягом дня. При цьому споживання реактивної потужності протягом дня теж змінюється, тому використання автоматично керованих БСК переважає, ніж некерованих.

Кінцеві результати з КРП визначаються математичним забезпеченням систем керування, яке повинно синтезуватися, виходячи із принципу системності. Його практична реалізація передбачає системне охоплення (розгляд проблеми із різних сторін) та системне представлення (досягається побудовою, як правило, єдиної математичної моделі керування). При цьому рекомендується використовувати конденсаторні установки типу КК, УКМ58, УК 05, УКМ70 і УКМФ71. Протягом тривалого терміну експлуатації вони зарекомендували себе як якісне, надійне обладнання, що дозволяє вирішувати будь-які завдання компенсації реактивної потужності. Для прикладу технічні характеристики конденсаторних установок типу УК 05 наведені на рис. 3.8 (документ подано в оригіналі виробника «Вінницяпромелектро»). Загальний вигляд однієї з конденсаторних установок наведено на рис. 3.9 [30].

Технические характеристики конденсаторных установок типа <b>УК 05 – 0,4 – XXX У3</b> , ТУ У 31.2-13334151.001-2002											
Номер	Мощность, кВт/кВАр	Ток, А	Тип шкафа	Кол-во ступеней	Базовая ступень	Код управления	Комплектация конденсаторами, кВт/кВАр	Цена с НДС, грн.	А	Н	В
01	25	36,2	1	3	5	1:2:4	5:7,5:12,5	11827	600	1200	300
02	30	43,5		3	5	1:2:4	5:10:15	12887			
03	35	50,7		3	5	1:2:4	5:10:20	13347			
04	40	58,0		3	5	1:2:4	5:10:25	14594			
05	50	72,7		3	10	1:2:4	10:15:25	14734			
06	60	87,2		3	10	1:2:4	10:20:30	15221			
07	70	108,7		3	10	1:2:4	10:20:40	15773			
08	80	126,7		3	10	1:2:4	10:30:40	16744			
09	90	140,4		4	10	1:2:4:4	10:20:30:30	17814			
10	100	174,4		4	10	1:2:4:8	10:20:30:40	21614			
11	120	203,4	4	15	1:2:4:4	15:25:40:40	23317				
12	140	232,6	4	20	1:2:2:2	20:40:40:40	25787				
13	160	261,6	5	20	1:2:2:4:4	20:30:30:40:40	28518				
14	180	290,8	5	20	1:2:2:2...2	20:40:40:40:40	30880				
15	200	319,8	6	20	1:2:2:4...4	20:30:30:40:40:40	33866				
16	220	327,1	6	20	1:2:2...2	20:40:40:40:40:40	35819				
17	240	364,7	7	15	1:2:4:4...4	15:25:40:40...40	39290				
18	250	377,9	7	20	1:2:4:4...4	20:30:40:40...40	42237				
19	260	399,7	7	20	1:2:2...2	20:40:40...40	45437				
20	280	436,1	8	15	1:2:4:4...16	15:25:40:40...40	47864				
21	300	465,2	8	20	1:2:2...2	20:40:40...40	50181				
22	350	508,5	10	10	1:2:4...4	10:20:40...40	64134				
23	390	579,7	11	10	1:2:4...4	10:20:40...40	69178				
24	430	651,3	12	10	1:2:4...4	10:20:40...40	61131				
25	460	701,4	12	20	1:2...2	20:40...40	62496				
26	480	736,2	12	40	1:1...1	40:40...40	64496				
27	520	794,5	13	40	1:1...1	40:40...40	79235				
28	560	852,7	14	40	1:1...1	40:40...40	82238				
29	600	911,2	15	40	1:1...1	40:40...40	80010				
<b>Конденсаторные установки оснащены:</b> 1. Индивидуальной защитой конденсаторов 2. Защитой от перегрева, принудительной вентиляцией (от 120 кВт/кВАр и выше); 3. Светодиодной сигнализацией срабатывания магнитных пускателей с указанием мощности батарей; 4. Блоком рубильник-предохранитель (установки мощностью до 90 кВт/кВАр).  <b>Комплектация:</b> 1. Специализированные магнитные пускатели CNK (Rade Concar), DIL (Moeller). 2. Конденсаторы МКРГ (Elektronikon, Германия, Modulo Ducati) 3. Регулятор реактивной мощности							<b>Дополнительно конденсаторные установки могут быть оснащены:</b> 1. - с защитой при отклонении напряжения питания от требований ГОСТ 13109 – УК00; 2. - с защитой от перегрузок по току – УК01; 3. - с комбинированными видами защит – УК03; 4. - с сигнализацией срабатывания защит – УК04; 5. - без защит – УК05.				

Прайс действителен на 12.03.2009 г

ВТП «Вінницяпроелектро», 21021, Україна, м. Вінниця, вул. Перика, 7  
 Тел./факс (0432) 52-30-17, 43-38-08. E-mail: vpe@vinnitsa.com

Рисунок 3.8–Технічні характеристики конденс. установок типу УК 05

Преваги установок обумовлюються використанням: - самовідновлених сегментованих конденсаторів;

- спеціальних контакторів випереджаючого включення;

- спеціальних контролерів декількох типів, що забезпечують автоматичне регулювання  $\cos \Phi_1$ ;

- сигналізації при несправності; - фільтра вищих гармонійних; - пристроїв терморегуляції; - емалевого або порошкового фарбування.



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд однієї з конденсаторних установок

### 3.3 Управління компенсвальними установками ПрАТ «Маяк» шляхом підвищення їх ефективності

В розглядається новий підхід для підвищення ефективності існуючих КУ. Для цього запропоновано брати лишки потужності в одній підстанції та направляти їх на іншу [27].

Розглянемо формування оперативних надлишків КУ для радіальної схеми, наведеної на рис. 3.1, рис. 4.1. В цій схемі секційні вимикачі на високій і низькій стороні нормально розімкнуті, таким чином вона виглядає як

радіальна і подальший розрахунок доцільно проводити по схемі «одна живильна лінія, один трансформатор, один кабель, одна КУ» (рис. 3.10).

Представимо графік реактивного навантаження  $i$ -ої ТП ступінчатим  $Q_i(t)$ , (рис. 3.11).

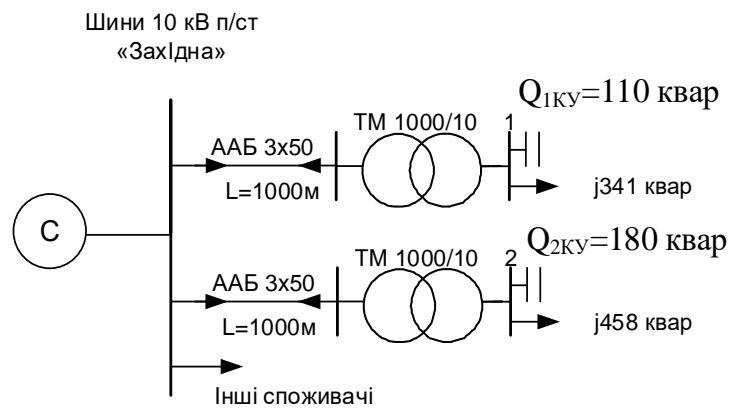


Рисунок 3.10 – Розрахункова схема  $Q_{1КУ}=110$  квар  $Q_{2КУ}=180$  квар

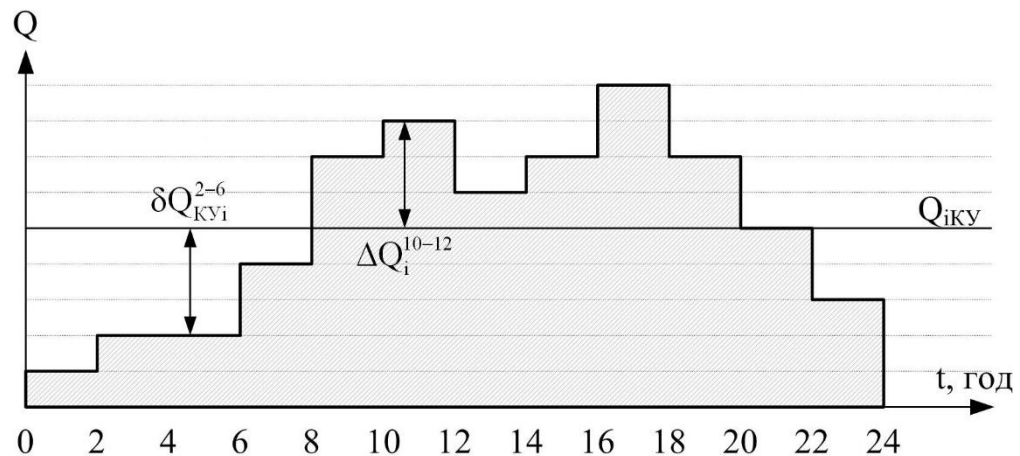


Рисунок 3.11 – Графік споживання реактивної потужності  $i$ -им вузлом, де  $Q_{КУi}$  – потужність КУ, встановлених в  $i$ -му вузлі;  $\delta Q_{КУi}^{2-6}$  – оперативний надлишок реактивної потужності КУ  $i$ -го вузла протягом часу  $\Delta t_{2-6}$ ;  $\Delta Q_i^{10-12}$  – дефіцит реактивної потужності  $i$ -го споживача протягом часу  $\Delta t_{10-12}$ .

Згідно методики, викладеної в [27], яку ми тут використовуємо, в  $i$ -их вузлах схеми протягом проміжків часу  $\Delta t_z$  з'являються надлишки реактивної потужності КУ:

$$\delta Q_{KV_i}^z = Q_{KV_i} - Q_i^z > 0, \quad (3.1)$$

де  $i=1\dots n$ ;  $n$  – кількість вузлів, в яких утворилися надлишки реактивної потужності;  $z=1\dots d$ ;  $d$  – кількість ступенів графіку  $Q_i(t)$ ;  $Q_i^z$  – споживання реактивної потужності  $i$ -им вузлом протягом часу  $\Delta t_z$ .

Одночасно з цим в  $g$ -их вузлах може виникнути нестача реактивної потужності:

$$\Delta Q_g^z = Q_g^z - Q_{KV_g} > 0, \quad (3.2)$$

де  $g=1\dots h$ ;  $h$  – кількість вузлів, в яких виникла нестача реактивної потужності;  $\Delta Q_g^z$  – використання реактивної потужності  $g$ -им вузлом на часі  $\Delta t_z$ .

Отже на проміжку часу  $\Delta t_z$  в електричній схемі з'являється забагато реактивної потужності КУ  $\delta Q_{KV\Sigma}^z = \sum_{i=1}^n \delta Q_{KV_i}^z$ , це пропонується взяти для

компенсації нестачі реактивної потужності  $\Delta Q_\Sigma^z = \sum_{g=1}^h \Delta Q_g^z$ .

Беручи до уваги (3.1) і (3.2) зобразимо схему, рис. 3.10, у вигляді схеми рис. 3.12. Проаналізуємо як використовуються лишня потужність КУ в цій схемі.

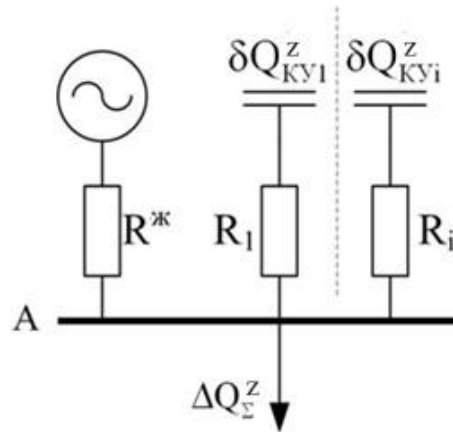


Рисунок 3.12 – Схема заміщення:  $R_i$  – сумарний активний опір лінії та трансформатора, що живить  $i$ -ий вузол;  $R^{жс}$  – сумарний активний опір лінії живлення та трансформатора підстанції

Коли передається реактивна потужність від  $i$ -их вузлів в  $g$ -ті протягом часу  $\Delta t_z$ , то стають меншими втрати в лінії живлення і електричних мережах на величину [29]:

$$\Delta W_1^z = \left( \frac{2\Delta Q_\Sigma^z \sum_{i=1}^n \delta Q_{KVi}^z - \left( \sum_{i=1}^n \delta Q_{KVi}^z \right)^2}{U_H^2} \cdot R^{жс} + \sum_{i=1}^n \delta Q_{KVi}^z \cdot D \right) \cdot \Delta t_z, \quad (3.3)$$

з іншого боку з'являються додаткові втрати енергії в  $i$ -их лініях споживача:

$$\Delta W_2^z = \sum_{i=1}^n \frac{(\delta Q_{KVi}^z)^2}{U_H^2} R_i \cdot \Delta t_z, \quad (3.4)$$

де  $D$  – економічний еквівалент реактивної потужності вузла А.

Зменшення втрат активної енергії в залежності від величини  $\delta Q_{KVi}^z$  на проміжку часу  $\Delta t_z$  знаходиться так:

$$\Delta W^z(\delta Q_{KVi}^z) = \Delta W_1^z(\delta Q_{KVi}^z) - \Delta W_2^z(\delta Q_{KVi}^z). \quad (3.5)$$

Перед нами постає така задача: на кожному відділку часу  $\Delta t_z$  задіяти такі потужності лишніх КУ і в таких точках схеми, які забезпечать найбільше



зменшення втрат електричної енергії  $\Delta W^z$  і при цьому напруга у вузлі, де буде увімкнено оперативний лишок,  $U_i$  не буде перевищувати допустиме значення  $U_{don}$ . В [27] запропоновано таку математична модель вирішення цієї задачі:

$$\left. \begin{aligned} \Delta W^z(\delta Q_{KYi}^z) &\rightarrow \max \\ \delta Q_{KY\Sigma}^z &\leq \Delta Q_{\Sigma}^z \\ \delta Q_{KYi}^z &\geq 0 \\ U_i &\leq U_{don} \end{aligned} \right\}. \quad (3.6)$$

Критеріальну функцію  $\Delta W^z(\delta Q_{KYi}^z)$  представляють [29] як

$$\Delta W^z(\delta Q_{KYi}^z) = \sum_{i=1}^n \Delta W_i^z(\delta Q_{KYi}^z). \quad (3.7)$$

Функція (3.7) складається з окремих доданків, і для її оптимізації пропонують використати метод динамічного програмування [30], який дає змогу зробити направлений послідовний перебір варіантів ввімкнення КУ потужністю  $\delta Q_{KYi}^z$  при виконанні обмежень, і знайти максимум критеріальної функції  $\Delta W^z(\delta Q_{KYi}^z)$ . Розрахунки виконуються з допомогою співвідношення, яке що враховує попередні величини

$$\Delta W_i^z(\xi) = \max_{\delta Q_{KYi}^z=0 \dots \xi} \left\{ \Delta W_i^z(\delta Q_{KYi}^z; \xi) + \Delta W_{i-1}^z(\Delta Q_{\Sigma}^z - \xi; \delta Q_{KYi}^z) \right\}, \quad (3.8)$$

де  $\xi$  – характеризує сумарну потужність можливо ввімкнених оперативних лишків КУ,  $\xi = 0 \dots \delta Q_{\Sigma}^z$ . Потужність оперативного лишку в  $i$ -му вузлі для досягнення найбільшого зниження втрат електроенергії визначається так:

$$\delta Q_{KYi,max}^z = \left( \Delta W_{max}^z \right)^{-1} \left( \delta Q_{KYi}^z \right), \quad (3.9)$$

де  $\left( \Delta W_{max}^z \right)^{-1} \left( \delta Q_{KYi}^z \right)$  – величина функції, оберненої до  $\Delta W_{max}^z \left( \delta Q_{KYi}^z \right)$ .

Так само виконуються обчислення для кожного часу  $\Delta t_z$ . Так як зменшення втрат на одному проміжку не залежить від зменшення втрат на іншому [29], то

результуюче найбільше зниження втрат протягом всього розрахункового періоду знайдеться у вигляді суми найбільших зменшень втрат протягом кожного  $\Delta t_z$ :

$$\Delta W_{\Sigma} = \sum_{z=1}^b \Delta W_{max}^z. \quad (3.10)$$

З наведених виразів (3.3, 3.4) випливає, що головне зменшення втрат при використанні оперативних лишків КУ здобувається в електричних мережах і це призводить до зменшення оплати за реактивну електричну енергію. Тут в якості критерія керування взято зменшення оплати за реактивну електричну енергію. Найкраще управління КУ досягається ввімкненням таких секцій і в таких точках схеми, де забезпечується найбільше зменшення плати за реактивну електричну енергію:

$$\Delta \Pi_I^z = \left( \frac{2\Delta Q_{\Sigma}^z \sum_{i=1}^n \delta Q_{KYi}^z - \left( \sum_{i=1}^n \delta Q_{KYi}^z \right)^2}{U_H^2} \cdot R^{жс} + \sum_{i=1}^n \left( \delta Q_{KYi}^z \right) \cdot D \right) \cdot \Delta t_z \cdot T. \quad (3.11)$$

Розрахуємо оптимальне використання оперативних надлишків для розподільної електричної мережі підприємства « Маяк », представлені на

рис. 3.11. Споживання реактивної потужності споживачами протягом доби наведено в табл. 3.3. Потужності встановлених КУ вказано на схемі і відповідає значенням, наведеним вище в табл. 3.1. Вважаємо, що напруга у вузлах навантаження залишається в допустимих межах.

Таблиця 3.3 - Реактивне навантаження в точках схеми, квар

	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
$Q_1(t)$	50	50	40	100	120	130	70	80	90	120	110	40
$Q_2(t)$	60	80	40	110	140	150	80	90	90	140	120	60

Побудуємо заступну схему розподільної мережі (рис. 3.13).

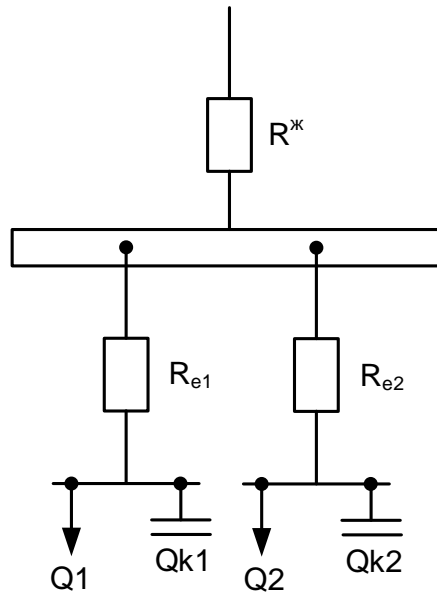


Рисунок 3.13 – Заступна схема розподільної мережі

Визначаємо активні опори відповідно кабельних ліній, трансформаторів ТП (їх значення наведені на рис. 3.3):  $R_{кб1} = 0,03$  Ом;  $R_{кб2} = 0,03$  Ом ;

$R_{тр1} = 1,05$  Ом;  $R_{тр2} = 1,05$  Ом; і еквівалентні опори відгалужень до вузлів 1 – 2:  $R_{e1} = 0,03+1,05=1,08$  (Ом);  $R_{e2} = 0,03+1,05=1,08$  (Ом).

Еквівалентний опір живильної лінії  $R^* = 0,7$  Ом (рис. 3.3).

Згідно наведеного вище алгоритму знаходимо потужності та вузли, в яких виник оперативний надлишок  $\delta Q_{KV_i}^z$ . Наприклад, для проміжку часу  $\Delta t_{10-12}$  потужність оперативного надлишку реактивної потужності КУ у першому вузлі

$$\delta Q_{KV1}^{10-12} = 110 - 130 = 0 \text{ (квар).}$$

За (3.2) знаходимо потужності та вузли, в яких виник дефіцит реактивної потужності  $\Delta Q_g^z$ . Наприклад, для проміжку часу  $\Delta t_{10-12}$  дефіцит реактивної потужності у другому вузлі

$$\Delta Q_2^{10-12} = 150 - 180 = 0 \text{ (квар).}$$

Знаходимо сумарний дефіцит реактивної потужності в електромережі  $\Delta Q_{\Sigma}^z$ . Наприклад, для проміжку часу  $\Delta t_{10-12}$

$$\Delta Q^{10-12}_{\Sigma} = 20 + 0 = 20 \text{ (квар)}.$$

Потужності оперативних надлишків реактивної потужності КУ  $\delta Q_i(t)$ , дефіциту реактивної потужності  $\Delta Q_i(t)$  та сумарні потужності її дефіциту  $\Delta Q_{\Sigma}(t)$ , що виникають протягом доби у вузлах, представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Величини лишків потужностей та їх нестачі, квар

	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
$\delta Q_1(t)$	60	60	70	10	0	0	40	30	20	0	0	70
$\delta Q_2(t)$	130	100	140	70	40	30	100	90	90	40	60	120
$\Delta Q_1(t)$	0	0	0	0	10	20	0	0	0	10	0	0
$\Delta Q_2(t)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta Q_{\Sigma}(t)$	0	0	0	0	10	20	0	0	0	10	0	0

Для проміжку часу  $\Delta t_{10-12}$  дефіцит реактивної потужності, що виник в першому вузлі  $\Delta Q^{10-12}_1 = 20$  квар, можна компенсувати єдиним способом: використати оперативний надлишок з другого вузла (див. в табл. 3.4: з 30 квар забрати 20 квар).

Розраховуємо зменшення втрат за формулами (3.3) та (3.4). Наприклад, в нашому випадку зменшення втрат у живильній електромережі:

$$\Delta W_1^{10-12} = \left( \frac{2 \cdot 20 \cdot 20 - 20^2}{10^2} \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} + 20 \cdot 0,05 \right) \cdot 2 = 2,0056 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Збільшення втрат в електромережі:

$$\Delta W_2^{10-12} = \frac{20^2}{10^2} \cdot 1,08 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0,00864 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Результуюче зменшення втрат:

$$\Delta W^{10-12} = \Delta W_1^{10-12} - \Delta W_2^{10-12} = 2,0056 - 0,00864 = 1,99696 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Таким чином в цей проміжок часу  $\Delta t_{10-12}$  для компенсації дефіциту реактивної потужності  $\Delta Q^{10-12} = 20$  квар оптим. потужність оперативн. надлишків складе 20 квар за рахунок наявного в другому вузлі надлишку (30 квар).

Значення зменшення втрат активної електроенергії в живильній електромережі  $\Delta W_1^z$ , збільшення втрат у ній  $\Delta W_2^z$ , результуюче зниження втрат  $\Delta W^z$ , та величини оптимальних потужностей оперативних надлишків  $\delta Q'_{KV_i}$  для кожного вузла і різних періодів доби приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Зменшення втрат та оптимальні значення потужностей оперативних надлишків

	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
$\Delta W_1(t)$	0	0	0	0	1,22	2,006	0	0	0	1,22	0	0
$\Delta W_2(t)$	0	0	0	0	0,007	0,009	0	0	0	0,007	0	0
$\Delta W(t)$	0	0	0	0	1,213	1,997	0	0	0	1,213	0	0
$\delta Q'_{KV_1}(t)$	0	0	0	0	10	20	0	0	0	10	0	0
$\delta Q'_{KV_2}(t)$	0	0	0	0	70	0	0	0	0	0	0	0

Розраховуємо сумарне зниження втрат  $\Delta W_\Sigma$  (3.10) за добу:

$$\Delta W_\Sigma = 1,213 + 1,997 + 1,213 = 4,423 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Відповідно зниження втрат протягом року складе:

$$4,423 \cdot 265 = 1172,095 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

В тому числі зниження втрат в живильних електричних мережах:

$$\Delta W_1 = 1,22 + 2,006 + 1,22 = 4,446 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Відповідно зниження втрат в цих мережах протягом року: –  
 $4,446 \cdot 265 = 1178,19 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$

Характерним для проведеного розрахунку є те, що для більшості проміжків часу (табл. 3.5) передача реактивної потужності з одного вузла в інший відсутня, бо в цих проміжках відсутній дефіцит потужності, те ж саме відбувається і з  $\Delta W_2^z$ . Звертає на себе той факт, що в другому вузлі протягом доби дефіцит потужності взагалі не існує.

Таким чином протягом доби у вузлах електричних мереж споживачів ПрАТ «Маяк» можуть виникати оперативні надлишки потужності КУ, використання яких дозволяє знизити втрати в живильних електричних мережах [35].

#### Висновки

1. Компенсувальні установки потребують автоматичного управління, що підтверджується проведеним вище аналізом.

2. Підвищення ефективності існуючих конденсаторних установок можна досягнути шляхом використання оперативних надлишків існуючих потужностей КУ одних вузлів для компенсації реактивних навантажень в інших точках схеми. Як показав проведений розрахунок, це дозволяє знизити втрати в живильних мережах споживачів та зовнішніх електричних мережах.

## РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Відповідно до схеми електричної мережі підприємства, показаної на рисунку 4.1, та вихідних даних, приведених у таблицях 4.1, 4.2, необхідно виконати такі розрахунки:

1. Розрахувати величину капітальних вкладень в трансформаторні підстанції, кабельні лінії та високовольтні вимикачі.
2. Розрахувати оплату за спожиту електроенергію.
3. Розрахувати величину складових експлуатаційних витрат:
  - витрат в мережах підприємства;
  - витрат на заробітну плату;
  - витрат на матеріали;
  - амортизаційних витрат.
4. Розрахувати собівартість електроенергії на підприємстві.

Таблиця 4.1 – Характеристики трансформаторних підстанцій

Підстанція	Тип трансформатора	Кількість трансформаторів	Факт. потужність підстанції, кВА
ТП 1	ТМ-1000	2	1730
ТП 2	ТМ-1000	2	1758

Таблиця 4.2 – Відомості про кабельні лінії

Найменування ліній	Довжина лінії, м	Марка кабелю	Кількість
ЦРП - ТП1	60	ААБ-10 3х35	2
ЦРП – ТП2	150	ААБ-10 3х35	2

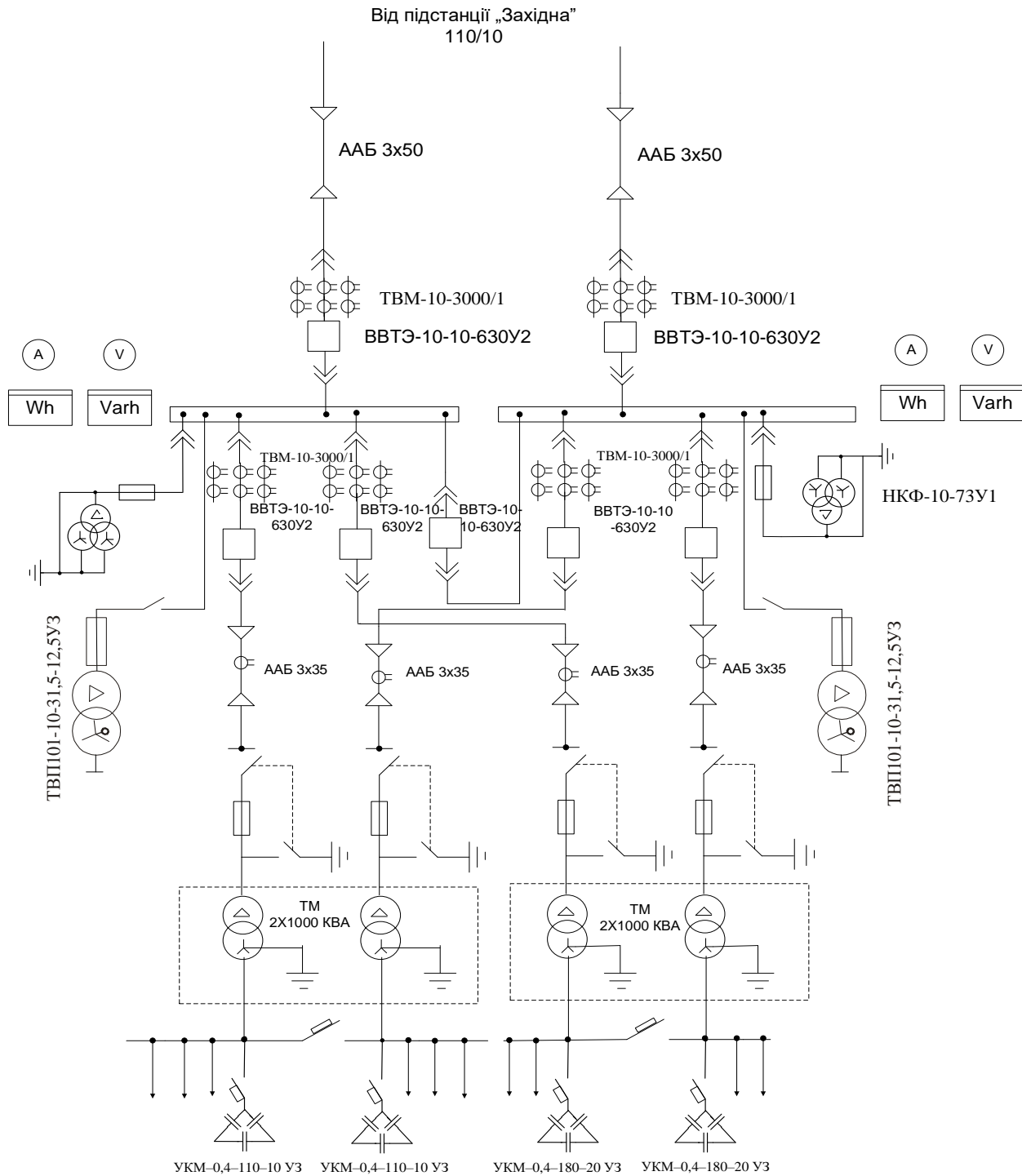


Рисунок 4.1 – Схема електропостачання підприємства

#### 4.1 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання

Розрахунок капіталовкладень в лінії електропередач виконуємо за вартістю кабелів та їх прокладання (табл. 2.4, 2.5 [32]).

Капітальні вкладення для ліній електропередач:



$$K_{л} = 2(K_{пит} + K_{прок}) \cdot L ,$$

де  $K_{пит}$  - питома вартість на 1км лінії, тис. грн./км;  $K_{прок}$  - питома вартість прокладання, тис. грн./км;  $L$  - довжина лінії електропередачі, км.

Визначимо вартість прокладання кабельної лінії від системи до ЦРП (ААБ 3х50) в ґрунті II категорії без врахування переходів:

$$K_{л} = (K_{пит} + K_{прок}) \cdot L = (34,5 + 10,9) \cdot 1 = 45,4 \text{ (тис.грн.)}$$

Для інших ліній розрахунки робляться аналогічно, результати розрахунків заносимо в таблицю 4.3.

У вартість прокладання в траншеї врахована вартість копання та засипання траншей механізованим способом.

Таблиця 4.3 – Розрахунок капіталовкладень для ліній електропередач

Назва лінії	Марка кабелю	Кільк.	Довжина, км	$K_{пит}$ , тис.грн	$K_{прок}$ тис.грн	$K_{л}$ , тис.грн
С-ЦРП	ААБ 3х50	2	1	34,5	10,9	45,40
ЦРП-ТП1	ААБ 3х35	2	0,06	29,7	9,33	2,34
ЦРП-ТП2	ААБ 3х35	2	0,15	29,7	9,33	5,86
Разом						53,6

Капітальні вкладення для електричних підстанцій будуть:

$$K_{пс} = \sum_{i=1}^l K_{псі} + K_{пост} ,$$

де  $K_{псі}$  – вартість однієї трансформаторної підстанції, тис. грн. [32] ;

$l$  – кількість підстанцій;

$K_{пост}$  - постійні витрати, що практично не залежать від потужності підстанції і пов'язані з устроєм території, з створенням майстерень, лабораторій і диспетчерських пунктів, з будівництвом житла тощо, тис. грн.

Постійні витрати прийняті у розмірі 20 % від повної вартості всіх підстанцій.

З таблиць [32] визначаємо величину капіталовкладень для трансформаторних підстанцій:

$$K_{пс}=420+84 = 504 \text{ (тис.грн).}$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок капіталовкладень для електричних підстанцій

№	Тип трансформат	Кількість тр-рів	К <sub>од</sub> , тис.грн	К <sub>пост</sub> , тис.грн	К <sub>пс</sub> , тис.грн
ТП-1	ТМ-1000	2	420	84	504
ТП-1	ТМ-1000	2	420	84	504
РАЗОМ				1008	

Сумарна вартість вимикачів:

$$K_{в}=7 \cdot 30 = 210 \text{ (тис. грн.).}$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства:

$$K = 53,6+1008+ 210 = 1271,6 \text{ (тис.грн.).}$$

## 4.2 Розрахунок поточних витрат

### 4.2.1 Розрахунок потреби в робочій силі

Чисельність робітників, що необхідна для технічного обслуговування і поточного ремонту всього енергоустаткування і мереж, визначається виходячи з трудомісткості виконуваних робіт. Планова трудомісткість визначається як, люд.-год./рік:

$$T_{тр} = \Pi \cdot t_{норм} \cdot \beta_p \cdot h,$$

де  $\Pi$  - число ремонтів даного виду в рік, на одиницю обладнання;

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

$\beta_p$  – поправочний коефіцієнт; для однозмінного підприємства з  $K_{\text{см}} = 1$

$$\beta_p = \frac{2}{K_{\text{см}}} = \frac{2}{1} = 2;$$

$h$  - кількість обладнання певного діапазону потужності, що належить цьому виду ремонтних робіт.

Для вимикачів 10 кВ, люд.-год/рік:

$$T_{\text{прі}} = \Pi \cdot t_{\text{норм}} \cdot \beta_p \cdot h = 1 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 7 = 280 \text{ (люд.-год/рік.)}$$

Проводимо розрахунки трудомісткості ремонту іншого електрообладнання та заносимо їх результати до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Трудомісткість поточного ремонту та огляду

Обладнання	К-сть, шт	Поточний ремонт			Огляд		
		К-сть на одиницю Обладнання рем/рік	Норма трудомісткості люд-год	Загал. трудомісткість люд-год	К-сть на одиницю обладнання огл/рік	Норма трудомісткості люд-год	Загал. трудомісткість люд-год
Силовий транс-тор 1000/10	4	0,33	120	158,4	12	9	432
Вимикач 10кВ, шт	7	1	20	280	12	2	168
Кабельна лінія 50 мм <sup>2</sup> , км	1	1	46	46	1	11,5	11,5
Кабельна лінія 35 мм <sup>2</sup> , км	0,21	1	30	6,3	1	7,5	2,415
Разом:				490,7			613,915

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

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

де 12 – кількість місяців у році;

$t_{пр}$  – планова (таблична) трудомісткість поточного ремонту одиниці устаткування люд.-год [32];

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

$h$  – кількість обладнання в групі.

Для вимикачів, люд.-год/рік:

$$T_{обсл} = 12 \cdot t_{пр} \cdot K_{ср} \cdot K_{зм} \cdot h = 12 \cdot 20 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 7 = 168 \text{ (люд.-год/рік)}.$$

Проводимо розрахунки трудомісткості технічного обслуговування іншого електрообладнання та заносимо їх результати до табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Трудомісткість технічного обслуговування і загальна трудомісткість

Обладнання	Кількість шт	Технічне обслуговування				Загал. Трудомістк. люд-год	Загальна трудомісткість обслуговування люд-год
		Змінність	Коеф. склад. Ремонтів $K_{ср}$	К-сть місяців в році	Загал. Трудомістк. люд-год		
Силовий тр. ТМ-1000	4	1	0,1	12	576	1008	
Вимикач 10кВ, шт	7	1	0,1	12	168	336	
Кабельна лінія 50 мм <sup>2</sup> , км	1	1	0,1	12	55,2	66,7	
Кабельна лінія 35 мм <sup>2</sup> , км	0,21	1	0,1	12	7,56	9,975	
Разом:					806,76	1420,675	

Відповідно знаходимо кількість експлуатаційних робітників, чол.:

$$N_{обсл} = \frac{T_{обсл}}{\Phi_{\partial} \cdot K_{ВН}},$$

де  $T_{обсл}$  - річна планова трудомісткість технічного обслуговування з обліком трудозатрат на огляди (перевірки, іспити), створювані як самостійні операції, люд-год.;

$\Phi_d$  - дійсний (ефективний) фонд часу роботи одного робочого в рік; звичайно приймається рівним 1850-1900 год;

$K_{BH}$  - плановий коефіцієнт виконання норм для даної категорії робітників. При розрахунках можна брати для ремонтного персоналу його значення 1,10, а для експлуатаційного - 1,05;

$$H_{обсл} = \frac{T_{обсл}}{\Phi_d \cdot K_{BH}} = \frac{1420,675}{1900 \cdot 1,05} = 0,71 \text{ (чол.)};$$

та персоналу для ремонтних робіт, чол.:

$$H_{TP} = \frac{T_{TP}}{\Phi_d \cdot K_{BH}},$$

де  $T_{TP}$  - річна планова трудомісткість поточного ремонту, люд-год.;

$$H_{TP} = \frac{T_{TP}}{\Phi_d \cdot K_{BH}} = \frac{490,7}{1900 \cdot 1,1} = 0,24 \text{ (чол.)}.$$

Приймаємо за нормами ПУЕ [1]  $H_{TP} = 2$  чол.,  $H_{обсл} = 2$  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:

$$\Phi_e = H_{обсл} \cdot \beta_n \cdot t_{ге} \cdot \Phi_d,$$

де  $H_{обсл}$  - число експлуатаційного персоналу по списку, люд.;

$\beta_n$  - коефіцієнт використання річного номінального фонду робочого часу (можна приймати рівним 0.9);

$t_{ге}$  - годинна тарифна ставка, що відповідає середньому тарифному розряду експлуатаційних робітників, рівному 3 та 5 розряду;

$\Phi_d$  - ефективний фонд часу одного робітника в рік, год.

Годинну тарифну ставку ( $t_{re}$ ) рекомендується розраховувати за формулою:

$$t_{re} = ((K3 + K4) / 2) \cdot C_I,$$

де  $K3, K4$  – тарифні коефіцієнти дл 3 та 4 розрядів, відповідно, [32];

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

$$C_i = \frac{Z_{\min} \cdot k_{r,i}}{\Phi_H},$$

де  $Z_{\min}$  – мінімальний розмір заробітної плати;

$k_{r,i}$  – тарифний коефіцієнт робітника i-го розряду;

$\Phi_H$  – номінальний місячний фонд робочого часу ( $\Phi_H = 22 \cdot 8 = 176$  год).

Законом України „Про Державний бюджет України на 2015 рік та про внесення змін до деяких законодавчих актів України” від 28.12.2014 р. № 80-VIII встановлено розміри мінімальної заробітної плати – 3872 грн. [33]. Тоді:

$$C_I = 3872 \cdot 1 / 176 = 22 \text{ (грн./год.)}.$$

Годинна тарифна ставка робітників 3 та 5 розряду становитиме:

$$t_{re} = ((K3 + K4) / 2) \cdot C_I = ((1,18 + 1,27) / 2) \cdot 22 = 26,95 \text{ (грн./год.)}.$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = N_{\text{обс}} \cdot \beta_H \cdot t_{re} \cdot \Phi_d = 2 \cdot 0,9 \cdot 26,95 \cdot 1900 = 92169 \text{ (грн./рік)}.$$

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

$$\Phi_p = T_{\text{пр}} \cdot t_{rp},$$

де  $t_{rp}$  – годинна тарифна ставка робітників-ремонтників 4 та 5 розрядів

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

де К4, К5 – тарифні коефіцієнти для робітників-ремонтників 4 та 5 розрядів, відповідно, [32].

Розраховуємо годинну тарифну ставку робітників-ремонтників 4 та 5 розрядів та відповідний фонд прямої заробітної плати:

$$t_{гр} = ((K4+K5)/2) \cdot C_{г} = ((1,27+1,36)/2) \cdot 22 = 28,93 \text{ (грн./год.)},$$

$$\Phi_p = T_{пр} \cdot t_{гр} = 490,7 \cdot 28,93 = 14195,951 \text{ (грн./рік)}.$$

Фонд основної заробітної плати, грн./рік:

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

де  $\Phi$  - тарифний фонд заробітної плати експлуатаційних робітників ( $\Phi_e$ ) або фонд прямої заробітної плати ремонтного персоналу ( $\Phi_p$ ), 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:

$$\Phi_{oe} = \Phi_e(1+0.05+0.01+\alpha) = 92169 \cdot (1+0,05+0,01+0,2) = 116132,94 \text{ (грн./рік)}$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = \Phi_p(1+0.05+0.01+\alpha) = 14195,951 \cdot (1+0,05+0,01+0,25) = 18596,7 \text{ (грн./рік)}.$$

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:

$$\Phi_{од} = \Phi_o \cdot 1,15,$$

$$\Phi_{оed} = \Phi_{oe} \cdot 1,15 = 116132,94 \cdot 1,15 = 133552,881 \text{ (грн./рік)},$$

$$\Phi_{орд} = \Phi_{op} \cdot 1,15 = 18596,7 \cdot 1,15 = 21386,205 \text{ (грн./рік)}.$$

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

$$C_{зп} = \Phi_{од} \cdot \left(1 + \frac{\beta_c + \beta_n + \beta_z}{100}\right),$$

де  $\beta_n$  - нарахування в пенсійний фонд,  $\beta_n = 32\%$  ;

$\beta_z$  - нарахування у фонд зайнятості,  $\beta_z = 1,5\%$  ;

$\beta_c$  - нарахування на соціальне страхування,  $\beta_c = 1,5\%$ .

Відповідно розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{зпЕ} = \Phi_{оЕД} \cdot \left(1 + \frac{\beta_c + \beta_n + \beta_z}{100}\right) = 133552,881 \cdot \left(1 + \frac{1,5 + 32 + 1,5}{100}\right) = 180296,4$$

(грн./рік)

і ремонтному персоналу:

$$C_{зпР} = \Phi_{орД} \cdot \left(1 + \frac{\beta_c + \beta_n + \beta_z}{100}\right) = 21386,205 \cdot \left(1 + \frac{1,5 + 32 + 1,5}{100}\right) = 28871,4 \text{ (грн./рік)}.$$

#### 4.2.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються

Необхідні дані для розрахунку беремо з [32], враховуючи збільшення ціни матеріалу на сьогоднішній день втричі, результати розрахунків заносимо до таблиці 4.7.

Вартість матеріалу на технічну операцію:

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



де  $C_{0i}$  – питома вартість витратних матеріалів на обслуговування  $i$ -го виду трансформаторів;

$T_i$  – трудомісткість обслуговування  $i$ -го виду трансформаторів (беремо з табл. 4.6);

$L$  – сумарна довжина кабелів;

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

Таблиця 4.7 – Розрахунок вартості матеріалів

Матеріал	Ціна матеріалу в грн.	Норми витрати на 100 чол.·год. працемісткості ремонту і техн. обслуговування	Вартість матеріалу, грн.
Силові трансформатори		1000	1000
Сталь сортова, кг	7,5	7	52,44
Провід установочний, м	3,1	0,5	1,56
Мідь-Алюміній (гола), кг	69,8	73	5092,2
Картон електроізоляційн., кг	33,6	1,6	53,79
Лакотканина (ширина 700мм), м	93,3	0,21	19,59
Кабельний папір, кг	27,5	0,6	16,5
Стрічка кіперна, кг	336,3	41	13789,53
Стрічка тафтяна, кг	249,8	24	5996,16
Стрічка азбестова, м	7,4	0,08	587,28
Лаки ізоляційні, кг	40,2	1,6	64,35
Емалі ґрунтові, кг	44,1	3,1	136,8
Масло трансформаторне, кг	13,6	1,2	16,35
Бензин, кг	6,9	0,9	6,24
Розчиники, кг	19,5	1	19,5
Маслостійка гума, кг	50,0	0,5	24,99
Резина профільна, кг	50,0	0,09	4,50
Припой олов'яно-свинцевий, кг	476,1	0,02	9,54
Припой мідно-фосфорний, кг	88,5	-	0,00
Електроди, кг	16,4	0,2	3,30
Засоби кріплення, кг	20,9	2,5	52,38
Дріт кручений, м	2,7	0,35	0,96
Матеріал обжиму, кг	27,3	0,5	13,65
Разом:			25961,58

Кабельні лінії			
Сталь сортова, кг	7,5	2	14,982
Електроди, кг	16,5	0,1	1,6452
Разом:			16,6272

Отже, вартість матеріалів на ремонт:

$$C_{\text{мпр}} = 0,01[158,4 \cdot 25961,58 + (46 + 6,3) \cdot 16,63] = 41131,84 \text{ (грн./рік)}$$

і вартість матеріалів на технічне обслуговування:

$$C_{\text{мто}} = 0,01[1008 \cdot 25961,58 + (66,7 + 9,975) \cdot 16,63] = 261705,48 \text{ (грн./рік)}.$$

Отже, можна розрахувати:

витрати на обслуговування електроустановок і мереж, грн/рік:

$$C_{\text{обс}} = C_{\text{зпе}} + C_{\text{мто}} = 180296,4 + 261705,48 = 442001,88 \text{ (грн./рік)};$$

та витрати на їх поточний ремонт, грн/рік:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{зпр}} + C_{\text{мпр}} = 28871,4 + 41131,84 = 70003,24 \text{ (грн./рік)}.$$

#### 4.2.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат

Знаходимо амортизаційні відрахування за формулою:

$$C_a = a \cdot K,$$

де  $a$  – норма амортизації, %

$K$  – капіталовкладення (визначені в п. 4.1), грн.

$$C_a = 0,06 \cdot 1271600 = 76296 \text{ (грн./рік)}.$$

Інші витрати - приймаються в розмірі 20-30% від суми витрат на обслуговування, поточний ремонт і амортизацію, грн/рік:

$$C_{\text{іпр}} = \beta_{\text{іпр}}(C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a);$$

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

$$C_{\text{іпр}} = 0,25 \cdot (442001,88 + 70003,24 + 76296) = 147075,28 \text{ (грн./рік)}.$$

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	442001,88	60,10
Витрати на поточний ремонт	70003,24	9,52
Витрати на амортизацію	76296,00	10,38
Інші витрати	147075,28	20,00
Разом	735376,40	100

### 4.3. Розрахунок собівартості електроенергії

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

Розрахунок обсягу споживання електроенергії і-го цеху визначається за формулою, кВт·год./рік:

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

де  $P_p$  – розрахункова потужність і-го цеху (наведено на рис. 2.1), кВт;

$T_{mi}$  – річна тривалість використання максимуму активного навантаження

і-го цеху (береться з галузевих інструкцій та довідкових матеріалів; величина  $T_m$  у середньому за рік складає для однозмінних підприємств – 2000–3000 год.);  
, год.;

$K_n$  – коефіцієнт попиту.

Для прикладу визначимо річні витрати активної електроенергії для цеху механічної обробки деталей :

$$E_{a11} = 167,48 \cdot 2000 = 334960 \text{ (кВт*год./ рік )}.$$

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

Таблиця 4.9 – Річні витрати активної електроенергії по цехах

Найменування цеху	Число змін	$T_m$ , год	$P_p$ , кВт	$E_a$ , кВт*год/рік
Їдальня	1	2000	24,17	48340
Збиральний	1	2000	126,84	253680
Адміністративний	1	2000	74,07	148140
Сантехмонтажний	1	2000	20,52	41040
Прохідна	1	2000	2,58	5160
Механоремонтний	1	2000	223,30	446600
Механічний цех №1	1	2000	301,91	603820
Механічний цех №2	1	2000	292,71	585420
Електромонтажний	1	2000	193,67	387340
Фарбувальний	1	2000	253,50	507000
Цех мех. обр. дет.	1	2000	167,48	334960
Штамповка	1	2000	373,26	746520
Склади	1	2000	4,90	9800
Гідропрес	1	2000	124,22	248440
Дільниця	1	2000	373,36	746720
Гальванопокриття	1	2000	28,59	57180
РАЗОМ				5170160

Для визначення повної потреби підприємства в електроенергії необхідно до отриманого результату додати втрати електроенергії в лініях і трансформаторах.

Втрати електроенергії в лініях розраховуємо так:

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

де  $n$  – кількість кіл лінії (вважаємо, що лінії працюють роздільно, а не паралельно);

$I_M$  – максимальний струм у лінії, А;

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

$R = r_0 \cdot L$  – активний опір проводу або кабелю однієї фази, Ом;

$r_0$  – питомий опір однієї фази кабелю, Ом / км;

$L$  – довжина лінії, км.

Величина  $\tau$  визначається за часом використання максимального навантаження, для нашого підприємства з однозмінною роботою  $T_M = 2500$  год.:

$$\tau_M = \left( 0,124 + \frac{2000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 919,59 \text{ (год)} \text{ (год./рік)}.$$

Для лінії ЦРП –ТП1:

Активний опір однієї фази проводу від системи до ЦРП:

$$R = 0,769 \cdot 1 = 0,769 \text{ (Ом)}.$$

Відповідно втрати електроенергії в цій лінії:

$$\Delta E_{л} = 3 \cdot n \cdot I_M^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 2 \cdot 95,169^2 \cdot 0,769 \cdot 919,59 \cdot 10^{-3} = 38429,33$$

(кВт·год/рік).

Аналогічно проводимо розрахунок втрат електроенергії в інших лініях і результати заносимо до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Втрати електроенергії в лініях

Найменування лінії	Марка проводу	К-сть ліній	Довжина, км	$I_M$ , А	R, Ом	$\tau$ , год/рік	$\Delta E_{л}$ , кВт*год
С –ЦРП	ААБ 3x50	2	1	95,17	0,769	919,59	38429,33
ЦРП-ТП-1	ААБ 3x35	2	0,06	49,9	0,066	919,59	824,32
ЦРП-ТП-2	ААБ 3x35	2	0,15	62,15	0,165	919,59	3516,51
РАЗОМ							42770,16

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

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

де  $n$  - кількість трансформаторів;

$\Delta P_{кз}$  і  $\Delta P_{хх}$  – величини номінальних втрат у трансформаторах, відповідно, при короткому замиканні і холостому ході, кВт;

$T_p$  - час роботи трансформаторів, год./рік (приймається рівним 8760 год./рік);

$S_{ф}$  - фактична потужність, яка передається через трансформатори, кВА;

$S_{н}$  - номінальна потужність одного трансформатора, кВА.

Результати розрахунку заносимо до таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Втрати енергії в трансформаторах

№	Тип Транс-ра	К-сть тр-рів	$\Delta P_{х}$ , кВт	$\Delta P_{к}$ , кВт	$S_p$ , кВА	$S_{н}$ , кВА	$\Delta E_T$ , кВт*год/рік
ТП	ТМ – 1000	2	2,1	10,5	1730	1000	43309,48
	ТМ – 1000	2	2,1	10,5	1758	1000	43461,73
РАЗОМ							86771,21

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

$$E = E_a + \Delta E_{л} + \Delta E_T = 5170160 + 38429,33 + 86771,21 = 5295360,54$$

(кВт·год./рік).

Оплата за спожиту електроенергію, грн./рік:

$$П = v \cdot E,$$

де  $v$  – тарифна плата за електроенергію,  $v = 2,8$  грн./кВт·год [31];

$E$  - кількість електроенергії, що споживається;

$$П = 2,8 \cdot 5295360,54 = 14827009,512 \text{ (грн.)};$$

#### 4.3.2 Розрахунок собівартості електроенергії

Собівартість корисної споживаної підприємством однієї кіловат-години електроенергії, грн./кВт·год.:

$$S = \frac{C_{\text{сум}} \cdot 100}{E_a},$$

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

$$C_{\text{сум}} = \Pi + C_{\text{п}},$$

де  $\Pi$  – оплата за спожиту електроенергію;

$C_{\text{п}} = C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a + C_{\text{ір}}$  – річні витрати підприємства при передаванні електроенергії, їх величина наведена в табл. 4.8 і складає величину

$$C_{\text{п}} = 735376,40 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, сумарні витрати:

$$C_{\text{сум}} = \Pi + C_{\text{п}} = 14827009,512 + 735376,40 = 15562385,91 \text{ (грн/рік)}.$$

Таким чином, собівартість електроенергії:

$$S = \frac{C_{\text{сум}}}{E_a} = \frac{15562385,91}{5170160} = 3,1 \text{ (грн./кВт·год.)}.$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.12.

Таблиця 4.12 – Результати розрахунків

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
Кількість корисно спожитої ел.енергії	$E_a$	5170160,00	кВт·год.
Річне спожив. ел.енергії із втратами	$E$	5295360,54	кВт·год.
Плата за електроенергію	$\Pi$	14827009,51	грн.
Витрати на перед. і розпод. ел.енергії	$C_{\text{п}}$	735376,40	грн.
Сумарні витрати підприємства	$C_{\text{сум}}$	15562385,91	грн.
Собівартість ел.енергії	$S$	3,1	грн./кВт·год.

Таким чином в даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було проведено розрахунок основних техніко-економічних показників СЕП ПрАТ «Маяк» та розраховано собівартість електричної енергії.



## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випускній кваліфікаційній роботі розглянуто управління компенсувальними установками на ПрАТ «Вінницький завод «Маяк». У розділі розглядаються заходи з нормалізації умов праці. Об'єктом проектування є система електропостачання ПрАТ «Вінницький завод «Маяк». Підприємство живиться від районної трансформаторної підстанції 110/10 кВ.

У цеху механічної обробки деталей підприємства, де розташовано велику кількість обладнання, яке потребує використання компенсувальних установок, згідно ГОСТ 12.0.003-74 на робітника токарно-гвинторізного верстата діють наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

### а) фізичні:

- машини та механізми, що рухаються;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена температура поверхонь обладнання;
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищена та знижена рухливість повітря;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень напруги в електричному полі, замикання якого може відбутись через тіло людини;

### б) хімічні:

- загальтоксичні (оксид вуглецю);
- подразнювальні (пари лугів);

### в) психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);

- нервово - психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

## 5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

### 5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

За вимогами СН-245-71 об'єм виробничих приміщень на ПАТ «Вінницький завод «Маяк» на одного працівника повинен складати не менше  $15\text{м}^3$  і площа  $4,5\text{м}^2$ .

Ділянка розташування турбін і водопідігрівачів повинна розташовуватись з врахуванням відводу надлишку тепла природного та приточно-витяжною вентиляцією.

Для чергового персоналу повинні передбачатися приміщення з шумопонижуючими та звукопонижуючими стінами. Для відпочинку персоналу повинні бути обладнані приміщення на відстані не більше 30м з природним світлом при коефіцієнті природної освітленості не менш 0,5%, обладнані вмивальники фонтанчики з питною водою.

У віконних проїмах повинні бути передбачені створи площею не менш 20% загальної площі світлових проїм. Стеля та стіни фарбуються вапняним розчином.

Підлоги на постійних робочих місцях повинні бути покриті мало теплопровідним матеріалом із коефіцієнтом теплосасвоєння менше  $6\text{ ккал/м}^2$ .

До заходів щодо обмеження несприятливого впливу шуму і вібрації повинні бути включені заходи відповідно до ГОСТ 12.1.008-83 і ГОСТ 12.1.012-90. Особи, на яких впливає в процесі трудової діяльності вплив шуму, підлягають при попередньому прийомі на роботу медичному огляду, а також періодичним медичним оглядам.

Площа ділянок, призначених для озеленення, повинна складати не менше 15 – 20% всієї площі підприємства. Допоміжні приміщення слід розміщувати в пристройках до виробничих будівель в місцях з найменшим

впливом небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Висота допоміжних будівель повинна бути не менше 2,4 м.

В групу санітарно – побутових приміщень входять гардеробні, душеві, вбиральні, умивальні, кімнати для куріння, приміщення для особистої гігієни, та ін.

При організації робочого місця та визначенні робочих операцій необхідно керуватися принципами економії руху, які сприяють збільшенню виробничої праці та знижують втомленість, знижують кількість виробничих травм.

Зону обробки універсальних верстатів, призначених для обробки заготовок діаметром до 630 мм включно, необхідно обгороджувати захисним пристроєм (екраном). З боку, протилежного робочому місцю, у цій зоні також повинен бути екран. Затискні патрони універсальних токарних та токарно-револьверних верстатів повинні мати огороження, яке можна легко відводити убік під час установлювання та знімання заготовок, не обмежуючи технологічні можливості верстатів.

Забороняється згвинчувати патрон (планшайбу) раптовим гальмуванням шпинделя. Згвинчувати патрон (планшайбу) ударами кулачків об підставку допускається тільки у разі його ручного обертання; в цьому випадку повинні застосовуватись підставки з довгими ручками.

Допускається закріплювати в кулачковому патроні без підпирання центром задньої бабки тільки короткі, завдовжки не більше двох діаметрів, зрівноважені деталі; в іншому разі для підпирання необхідно використовувати задню бабку. Для обробки в центрах деталей завдовжки 12 діаметрів і більше, а також у разі швидкісного та силового різання деталей завдовжки 8 діаметрів і більше необхідно застосовувати додаткові опори (люнети). Перед обробкою деталей в центрах спочатку необхідно перевірити закріплення задньої бабки і тільки після встановлення деталі змастити центр; задній центр під час виконання робіт також повинен періодично змащуватись, а у разі обробки довгомірних деталей – повинен перевірятись також осьовий

затискач.

Пруткові токарні автомати та пруткові револьверні верстати повинні мати по всій довжині прутків огороження, оснащене шумопоглинальним пристроєм. У разі застосування огороження у вигляді напрямних труб, що обертаються разом із прутками (або коли прутки із заднього боку виступають за межі огорожі), прутковий магазин повинен мати кругове огороження по всій довжині. Розміщений зовні верстата пристрій для подавання прутків повинен мати огороження, яке не перешкоджає доступу до цього пристрою. Універсальні верстати у разі використання їх для обробки прутків повинні бути, за необхідності, оснащені пристроєм, який обгороджує пруток з боку задньої частини шпинделя. Пруток не повинен виступати за відгороджувальний пристрій. Прутковий матеріал, який подається для обробки на верстат, не повинен мати кривизни.

Різці необхідно закріплювати з мінімально можливим вильотом з різцетримача (виліт різця не повинен перевищувати більше ніж у 1,5 раза висоту державки) і не менше ніж двома болтами. Різальна кромка різця повинна виставлятися по осі оброблюваної деталі. Для правильного установлення різців відносно осі центрів та підвищення надійності закріплення їх у супорті необхідно застосовувати шліфовані прокладки. Прокладки повинні відповідати лінійним опорам частини державки різців.

Для обробки в'язких металів (сталей), що дають зливну стрічкову стружку, необхідно застосовувати різці з викружками, накладним і стружколамачами або стружкозавивачами. Для обробки крихких металів (чавуну, бронзи тощо) з утворенням мілко-подрібненої сталевої стружки необхідно застосовувати захисні пристрої: спеціальні стружковідвідники, прозорі екрани або індивідуальні щитки для захисту обличчя.

У разі замінювання супорта, під час установлювання або знімання деталей та інструмента, ручної обробки деталі (зачищення, шліфування), усунення биття револьверну головку та супорт з інструментом необхідно відводити на безпечну відстань. Для зачищення виробів на верстаті шкуркою або порошком

необхідно застосовувати притискні колодки.

Забороняється під час виконання робіт на металообробних верстатах токарної групи:

- користуватись затискними патронами, – якщо спрацьовані робочі площини кулачків;
- працювати з необерттовим центром задньої бабки – у разі швидкісного різання;
- працювати без закріплення патрона сухарями – для запобігання самовідвертанню у разі реверсування;
- гальмувати обертання шпинделя натискуванням руки на обертвові частини верстата або деталі;
- залишати в револьверній головці інструмент, який не використовується для обробки даної деталі;
- перебувати між деталлю та верстатом – під час установаження деталі на верстат;
- притримувати руками кінець важкої деталі або заготовки, що відрізається;
- класти деталі, інструмент та інші предмети на станину верстата та кришку передньої бабки;
- закладати та подавати рукою у шпиндель оброблюваний пруток – у разі ввімкненого верстата;
- вимірювати оброблювану деталь скобою, калібром, масштабною лінійкою, штангенциркулем, мікрометром тощо – до повного зупинення верстата, відведення супорта та револьверної головки на безпечну відстань;
- заточувати короткі різці без застосування відповідної оправки.

### 5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення молокозаводу здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 x 220В (фазна

напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

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

- розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

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

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

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

Згідно ГОСТ 12.1.013-78 повинні виконуватись наступні правила електробезпеки:

- при улаштуванні електричних кіл необхідно передбачати можливість всіх електроустанов в межах окремих об'єктів і ділянок работ;

- роботи, пов'язані з під'єднанням (від'єднанням) дротів, повинні виконуватись електромеханічним персоналом, який має відповідну кваліфікаційну групу по електробезпеці;
- металеві частини машин та електрообладнання повинні мати заземлення (занулення) згідно ГОСТ 12.1.030-81;
- на щитах управління перемикаючі пристрої в колах РЗА повинні розташовуватись наглядно, а виконання однотипних операцій з ними виконуються однаково.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень – умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури поверхонь, які оточують людину, та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення.

Санітарні норми поширюються на умови мікроклімату, в межах робочої зони виробничих приміщень підприємств, закладів, установ, тощо, не залежно від їх форм власності та підпорядкування.

За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичні умови поділяють на оптимальні та допустимі.

Для робочої зони виробничих приміщень встановлюються оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови з врахуванням важкості виконуваної роботи та періоду року. При одночасному виконанні в робочій зоні робіт різної

категорії важкості рівні показників мікроклімату повинні встановлюватись з урахуванням найбільш чисельної групи працівників.

Величини показників мікроклімату у робочій зоні цеху механічної обробки деталей наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування мікроклімату в робочій зоні виробничого приміщення.

Період року	Категорія робіт	Допустима температура	Відносна вологість	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Пб	15-21	75	Не більше 0,4
Теплий	Пб	16-27	70 при $t = 25^{\circ}\text{C}$	0,2-0,5

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в роботі передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше, ніж  $30-31^{\circ}\text{C}$ ;
2. Використання природної вентиляції (аерація), аераційні ліхтарі та шахти розташовуємо безпосередньо над основними джерелами тепла на одній осі.

### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

Робоча зона – простір, в якому знаходяться робочі місця постійного або не постійного (тимчасового) перебування працівників.



Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього різних шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним.

Забруднення повітря приводить до зниження працездатності та погіршення умов праці людини. Шкідлива дія забрудненого повітря викликається не тільки первинними компонентами виробничих викидів але і утвореними з них новими токсичними речовинами.

Забруднювачами повітря в приміщенні цеху механічної обробки деталей на ПрАТ «Вінницький завод «Маяк» є пил і хімічно небезпечні речовини (табл.5.2). Тому для цього передбачаються наступні заходи щодо зниження запиленості:

- 1) забезпечення виробничих ділянок достатньою вентиляцією;
- 2) герметизація виробничого обладнання.

Санітарними нормами встановлено гранично - допустимі концентрації пилу в повітрі виробничих приміщень.

Таблиця 5.2 - Назва і концентрація хімічно небезпечних речовин

Назва речовин	Величина ГДК, мг/м <sup>3</sup>
Оксид вуглецю	1,0
Пари лугів	0,5

### 5.2.3 Виробниче освітлення

Організація раціонального освітлення виробничих приміщень є однією з найважливіших задач охорони праці. Раціональне освітлення забезпечує психологічний комфорт, поліпшує умови праці, підвищує безпеку робіт і одночасно сприяє поліпшенню якості продукції, підвищенню продуктивності праці. При хорошому освітленні очі протягом довгого часу зберігають здатність добре бачити, не стомлюючись.



						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Середньої точності	Вище 0,5 до 1	IV	б	Малий Середній	Середній Темний	5 0 0	200	4	1,5	2,4	0,9

Внаслідок різкого коливання зовнішнього світла, його залежності від атмосферних умов і сезону встановити абсолютне значення природної освітленості неможна. Тому за кількісну оцінку характеристики природного освітлення прийнята відносна величина - коефіцієнт природної освітленості (КПО). Нормовані значення КЕО для будинків, розташованих у поясі II Г світлового клімату, визначаються за формулою:

$$e_N = e_n \cdot m_N = 1,5 \cdot 0,9 = 1,4 \%, \quad (5.1)$$

де  $e_n$  – значення КЕО для будинків;

$m_N$  – коефіцієнт світлового клімату – 0,9 (вікна зорієнтовані на північ).

$$e_N = e_n \cdot m_N,$$

де  $m$  - коефіцієнт світлового клімату;  $e_n$  – значення КПО.

#### Штучне освітлення

Система освітлення, що проектується, повинна забезпечувати норму освітленості. Роботи у інструментальному цеху відносяться до 4-го розряду робіт, тому норма освітленості становить 300 лк.

Для забезпечення виробничого освітлення проектом передбачені такі рішення:

- встановлення світильників типу УПДДРЛ згідно з санітарними нормами;
- живлення робочого і аварійного освітлення в нормальному режимі здійснюється від різних джерел.

#### 5.2.4 Виробничий шум

Звук - це коливальний рух пружного середовища (тверді тіла, рідини, гази), який розповсюджується хвилеподібно. Рух звукової хвилі супроводжується періодичними підвищеннями і пониженнями тиску в середовищі.

Шум - безладне поєднання звуків різної частоти і інтенсивності. Він виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких та газоподібних середовищах. В залежності від джерела та фізичної природи виникнення розрізняють шуми механічного, аерогідродинамічного, електротехнічного походження. Механічний шум обумовлений коливанням деталей машин, ударами. Аерогідродинамічні шуми виникають при русі рідин і газів по трубопроводах, при викиді газів в атмосферу, при обтіканні тіл і перешкод. Електротехнічні шуми виникають при роботі електродвигунів, трансформаторів, електричних машин. Шум, який розповсюджується у повітряному середовищі, прийнято називати повітряним; шум, який передається конструкціями називають структурним.

Нормуються допустимі рівні звукового тиску  $L=20\lg(P_1/P_0)$ , дБ, де  $P_1$  - середньоквадратичне значення звукового тиску, Па за період часу, що розглядається, і  $P_0$  - значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц) залежно від частоти, характеру робіт і характеру шуму (нормування за граничними спектрами - ГС), або допустимі рівні звуку  $L_A=20\lg(P_A/P_0)$ , Дба ( $P_A$  - середньоквадратичне значення звукового тиску з урахуванням корекції А шумоміра) залежно від характеру робіт і характеру шуму.

Для умов, що розглядаються в роботі, чи умов виконання роботи (II клас шумів) допустимі рівні звукового тиску повинні відповідати ГС 107 дБ (номер 1), а рівні звуку  $L_A$  не повинні перевищувати 80 дБА (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ в октавних полосах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквіва- лентні рівні звуку, дБ А
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для тонального і непостійного шуму допустимі значення  $L$  та  $L_A$  на 5 одиниць менші.

Джерелами шуму в умовах, що розглядаються в проекті, є електричні приводи верстатів які розміщуються в цеху.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел (ШХ) дорівнюють: 107 дБ та 80 дБА відповідно.

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

1. Зниження шуму в джерелі його виникнення та на шляху його розповсюдження;
2. Використання шумоізолюючих кожухів.

### 5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація як чинник виробничого середовища зустрічається в багатьох технологічних процесах – при віброушільненні, механічній обробці металів, роботі вентиляційного обладнання, транспортуванні й т. н. Вібрація

супроводжує роботу самохідних і стаціонарних механізмів та агрегатів, в основі роботи яких – поворотно-поступальна дія.

Джерелами вібрації, що діють на водіїв транспортних машин, є ходова частина, привід і двигун. Ходова частина створює на робочому місці водія вібрацію, що виникає внаслідок взаємодії коліс та гусениць з нерівним рельєфом шляхів та полів і передається через раму на кабінку або робочий майданчик. Вібрація на сидінні збільшується в міру віддалення його від центра ваги машини й наближення до задньої осі, а також із підвищенням тиску повітря в балонах коліс. Негативна дія вібрації також відчувається, коли деформуються деталі внаслідок нерівномірного нагріву, зносу або незадовільного технічного догляду за сполучними муфтами, підшипниками, обоймами й т. ін.

Вібрація – це коливальні процеси, що відбуваються в механічних системах. Найпростішою формою вібрації є гармонійні синусоїдні коливальні рухи. Основні параметри синусоїдного коливання: частота в герцах (1 кол./с); амплітуда зміщення –  $A$  (м або см); коливальна швидкість –  $V$  (м/с); прискорення –  $\omega$  (м/с<sup>2</sup>). Час, протягом якого здійснюється одне повне коливання, називається періодом коливання  $T$  (с).

Відповідно [38] нормуються допустимі величини віброшвидкості (м/с) чи віброприскорення (м/с<sup>2</sup>), або логарифмічні рівні віброшвидкості  $L=20\lg(V_1/V_0)$ , дБ ( $V_1$  – середньоквадратичне значення віброшвидкості за повний період часу, м/с,  $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ , м/с – вихідне значення віброшвидкості) залежно від частоти коливань, їх виду (транспортні, транспортно-технологічні, технологічні, вібрації робочого інструменту чи робочих місць), напрямку (X, Y, Z) і часу дії протягом зміни.

Можливі параметри вібрацій, виходячи з вібраційних характеристик (ВХ) відповідного обладнання, знаходяться в межах від 2 до 63 Гц (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц
--------------	--

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

Для умов, що розглядаються в роботі (вібрації робочого інструменту чи робочих місць, технологічні) параметри вібрацій не повинні перевищувати середньоквадратичні значення  $0,2 \text{ м/с} \cdot 10^{-2}$  та логарифмічні рівні 92 дБ.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

1. Зниження або виключення різких прискорень та ударів;
2. Вибір таких кінематичних і технологічних схем, при яких динамічні процеси є мінімальними.

#### 5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Періодичне перебування в незручній та/або фіксованій позі до 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах і т. ін.) від 10% до 25% часу зміни; знаходження в позі стоячи від 60% до 80% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 1500

Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну: 101 –300

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

По горизонталі: до 12

По вертикалі: до 8

Інтелектуальні навантаження: Рішення складних завдань з вибором за відомим алгоритмом (робота за серією інструкцій)

Зміст роботи: Сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів, Обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання, Робота в умовах дефіциту часу

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) 51 -75

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи 176–300

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження 11-25

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) 3-4

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 70% до 50%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) 20-25

Емоційне навантаження:

-ступінь відповідальності за результат своєї діяльності;

-значущість помилки – несе відповідальність за функціональну якість основної роботи (завдань); вимагає виправлень за рахунок додаткових зусиль всього колективу (групи, бригади та ін.);

-ступінь ризику для власного життя;

-ступінь відповідальності за безпеку інших осіб.

Монотонність навантажень:

-кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово 5-2;



-тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) 24-2;

-монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) 91-95.

Режим праці:

-фактична тривалість робочого дня (год.) 10– 12;

-змінність роботи - тризмінна робота (робота у нічну зміну);

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість (перерви нерегламентовані або недостатньої тривалості до 3% часу зміни).

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи електропостачання з компенсувальними установками ПрАТ «Маяк» в умовах НС

Всі системи електропостачання з компенсувальними установками ПрАТ «Маяк» є досить вразливими до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. Тому важливим питанням є забезпечення високої стійкості роботи СЕП. В даному випадку оцінка стійкості може бути проведена за допомогою моделювання його ураження, що враховують можливі наслідки ураження людей, виникнення пожеж, виходу з ладу енергетичних систем.

Дія радіації на матеріали залежить від виду випромінювання, дози, природи опроміненої речовини та від умов навколишнього середовища. В енергетичних системах використовують різні матеріали: метали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли), найбільш чутливими до радіації є метали, бо в них велика концентрація вільних носіїв. Основними заходами підвищення радіаційної стійкості є: використання радіаційно-стійких елементів та матеріалів; застосування різних екранів, або активного захисту від дії радіації.

При взаємодії гама-випромінювань та деяким середовищем, цьому

середовищу надається певна кількість енергії. Більша частина цієї енергії йде на поступальний рух електронів та іонів, що були утворені в процесі іонізації. Подальшу іонізацію викликають первинні електрони, що мають велику енергію. Як наслідок виникають тимчасові електричні та магнітні поля.

Виникнення електромагнітного імпульсу (ЕМІ), може викликати високі імпульси струму та напруги в кабельних лініях електропередач, системи зв'язку, обчислювальних машин, антен радіостанцій тощо. В результаті імпульс струму чи напруги проникає в систему і спричиняє пошкодження, ступінь яких залежить від чутливості складових системи вузлів. ЕМІ може поширюватись на десятки кілометрів в навколишньому середовищі і по різних комунікаціях, здійснюючи вплив на об'єкти там, де ударна хвиля, світлове вимірювання і проникаюча радіація втрачають своє значення, як вражаючі фактори.

Результатом такого впливу може бути вихід із ладу різних пристроїв та спорядження. Особливо негативний вплив електромагнітного імпульсу на обладнання, яке не має спеціального захисту (вимикачі, різні «домішки» до системи проводів, електромагнітне екранування і т.п.).

Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для елементів СЕП, зокрема вимикачі та трансформатори, добре захищених від дії інших вражаючих факторів. Тому захист елементів від механічних пошкоджень не захищає від дії електромагнітного імпульсу. Саме тому, обов'язковим для обладнання СЕП є дослідження стійкості його роботи в умовах впливу електромагнітного імпульсу та іонізуючих випромінювань.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання з компенсуючими установками ПрАТ «Маяк» в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм стійкості роботи енергетичного обладнання СЕП є граничне значення експозиційної дози ( $D_{гр}$ , Р), при якому в елементній базі можуть

виникати зворотні зміни. Визначаємо граничні значення експозиційних доз для елементів СЕП. По мінімальному значенню  $D_{гр}$ , визначаємо границю стійкості системи в цілому. Так як трансформатори та вимикачі мають мінімальне значення  $D_{гр}$ , то далі для них розрахована Дослідження стійкості роботи при дії ІВ та ЕМІ, а кабельні лінії та повітряна лінія мають грозозахист, і стійкі до дії ЕМІ, то подальші розрахунки для них не виконуються. Результати заносимо у таблицю 5.6.

Таблиця 5.6- Граничні дози для елементів СЕП ПрАТ «Маяк»

№	Елементи СЕП ПрАТ «Маяк»	$D_{гр,Р}$	$D_{гр,Р}$
1	Кабельні лінії ААБ (3x70 мм <sup>2</sup> )	$10^8$	10 <sup>2</sup>
2	Кабельна лінії ААБ (3x120 мм <sup>2</sup> )	$10^9$	
3	Трансформатори	$10^2$	
4	Вимикачі	$10^4$	

Розрахуємо можливу дозу для СЕП, граничний час експлуатації 10р.

$$D_{ем} = \frac{2 \cdot P_{1max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{k_{осл}} = \frac{2 \cdot 4,92 \cdot (\sqrt{87660} - \sqrt{1})}{1} = 2903,53 (P).$$

Таким чином система буде працювати стійко, так як, можлива експозиційна доза менша за граничну  $2903,53 < 100000$ .

Визначаємо допустимий час роботи елементів СЕП:

$$t_{дон} = \left( \frac{D_{сп} \cdot K_{осл} + 2 \cdot p_{1max} \cdot \sqrt{t_p}}{2 \cdot p_{1max}} \right)^2 .$$

$$t_{донmp-p} = \left( \frac{10^2 \cdot 1 + 2 \cdot 4,92 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,92} \right)^2 = 116,7 \cdot 10^2 \text{ год} = 13,3 \text{ (роки)}$$

$$t_{\text{допвим}} = \left( \frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 4,92 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,92} \right)^2 = 9631 \cdot 10^4 \text{ год} = 10,9 \text{ (років)}$$

Отже допустимий час роботи трансформаторів складатиме не менше 13 років, а вимикачів близько 11 років.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання з компенсувальними установками ПрАТ «Маяк» в умовах дії електромагнітного імпульсу

Напруга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_{\Gamma} = E_{\text{в}} \cdot l_{\Gamma},$$

$$U_{\text{в}} = E_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}},$$

де  $E_{\text{в}}$  – величина електромагнітного імпульсу (кВ/м);

$l_{\Gamma}$  – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи (м),

$l_{\text{в}}$  – довжина вертикальної струмопровідної частини системи (м).

Розрахуємо  $U_{\Gamma}$  для трансформаторів та вимикачів:

$$U_{\Gamma\text{Тр-р}} = 11,78 \cdot 1,48 \cdot 10^3 = 17460 \text{ (кВ/м)},$$

$$U_{\Gamma\text{Вим}} = 11,78 \cdot 0,68 \cdot 10^3 = 8051 \text{ (кВ/м)}.$$

Допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N,$$

де  $N$  – вітсоток допуску,

$U_{\text{ж}}$  – напруга живлення;

$$U_{\text{доп}} = 10 + \frac{10}{100} \cdot (\pm 5) = 9,5 - 10,5 \text{ (кВ)}.$$

За критерієм стійкості роботи радіоелектронних систем, або окремих їх елементів в умовах дії електромагнітних випромінювань можна прийняти

коефіцієнт безпеки, який для нормальної роботи механізму повинен бути рівним:

$$K_{б3} \geq 40 \text{ (дБ)}.$$

Визначаємо коефіцієнти горизонтальної і вертикальної безпеки:

$$K_{б_{гi}} = 20 \cdot \lg(U_{\delta} / U_{гi}),$$

$$K_{б_{зi}} = 20 \cdot \lg(U_{\delta} / U_{зi}).$$

$$K_{б_{Гр-р}} = 20 \lg\left(\frac{9500}{17460}\right) = -9,3 \text{ (дБ)},$$

$$K_{б_{ГВим}} = 20 \lg\left(\frac{9500}{8051}\right) = 5,43 \text{ (дБ)}.$$

Так як для трансформатора і вимикача  $K_{б3} < 40$  дБ, то обладнання не буде працювати стійко.

Для збільшення стійкості слід застосувати екранування. Перехідне затухання екрану:

$$A = K_{Бном} - K_{Бмін}, \text{ (дБ)};$$

де  $K_{Бном}$  – номінальний коефіцієнт безпеки (40 дБ),

$K_{Бмін}$  – мінімальний коефіцієнт безпеки, отриманий при розрахунку;

$$A = 40 - 5,43 = 34,57 \text{ (дБ)}.$$

Товщина захисного екрану

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}},$$

де  $f$  – частота,

$$t = \frac{34,57}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,12 \text{ (см)}.$$

Розрахуємо  $U_{в}$  трансформатора 630 кВА:

$$U_{вГР} = 11,58 \cdot 0,251 = 2,91 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо коефіцієнти горизонтальної безпеки для трансформатора:

$$K_{б_{зГр-р}} = 20 \lg\left(\frac{9500}{2,91}\right) = 70,2 \text{ (дБ)}.$$

Так як  $K_{б3} < 40$  дБ, то обладнання буде працювати не стійко.

Розрахуємо  $U_B$  для вимикача 10 кВ:

$$U_B = 11,58 * 0,335 = 3,88 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для вимикача:

$$K_{\sigma} = 20 \lg \left( \frac{9500}{3,88} \right) = 67,7 \text{ (дБ)}.$$

Так як  $K_{\sigma} < 40$  дБ, то обладнання буде працювати не стійко.

Результати зведемо у таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 – Результати розрахунку

Елементи СЕП	$U_T$ ,кВ	$U_B$ ,кВ	$K_{\sigma B}$ ,дБ	$K_{\sigma T}$ ,дБ	Товщина захисного екрану, см
Трансформатори	17460	2,91	70,2	-9,3	0,12
Вимикачі	8051	3,88	67,7	5,43	0,11

Приймаємо, що вибір товщини захисного екрану для кабельних ліній не розглядається.

Отже, дана система електроспоживання буде працювати стійко до дії іонізуючих випромінювань. А до дії ЕМІ – не стійко, але при застосуванні захисного екрану для трансформаторів та вимикачів (0,12см), буде працювати стійко.

Таким чином наша система при застосуванні вище вказаних заходів буде працювати стійко в умовах НС. Провівши аналіз, щодо стійкості системи електропостачання з компенсувальними установками ПрАТ «Маяк» до дії ЕМІ, видно, що трансформатори та вимикачі найбільш уразливі, тому передбачила застосування захисного екрану (0,11см). Інші елементи (кабельні лінії) стійкі до дії ЕМІ, з коефіцієнтами безпеки 70,2 та 67,7 відповідно.

Отже дія ЕМІ та іонізуючого випромінювання негативно впливають на роботу СЕП, що призводить до виходу з ладу, або ж повного знищення елементів системи електропостачання з компенсувальними установками ПрАТ «Маяк», зокрема трансформатори та вимикачі.

В результаті оцінки стійкості СЕП з компенсувальними установками ПрАТ «Маяк» до дії іонізуючих випромінювань, були визначено, що елементи СЕП стійкі, тому проводити додаткові заходи не потрібно.

Також в даному розділі було проведене дослідження стійкості роботи системи електропостачання з компенсувальними установками ПрАТ «Маяк» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій. Досліджена стійкість роботи СЕП в умовах дії іонізуючих випромінювань, час роботи якої в заданих умовах становить 13 років, для трансформаторів та 11 років для вимикачів, при рівні радіації 4,92 Р/год. Досліджена стійкість роботи СЕП в умовах впливу електромагнітного імпульсу.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи щодо управління компенсувальними установками Приватного акціонерного підприємства «Вінницький завод «Маяк» на основі проведених розрахунків прийняті такі рішення.

З метою реалізації заходів зі зниження втрат електроенергії у розподільних електричних мережах підприємства шляхом ефективного використання КУ з застосуванням нових методів та розрахунків навантаження цехів і підприємства в цілому методом коефіцієнтів використання та попиту. Знайдено кількість, потужність та місце розташування цехових ТП, було вибрано дві двотрансформаторні ЦТП з трансформаторами ТМ – 1000/10. Також було обрано оптимальний переріз кабельних ліній живлення. Підприємство живиться двома кабельними лініями марки ААБ 3х50. З цією ж метою визначено також координати розміщення ЦРП за мінімумом приведених затрат в кабельних лініях.

Для автоматизації розрахунків були використані такі засоби як: процесор Excel, математичний САПР MathCad, текстовий процесор Word та графічний редактор Microsoft Visio.

Основним результатом роботи є підвищення ефективності існуючих конденсаторних установок, якого можна досягнути шляхом використання оперативних надлишків потужності існуючих КУ одних вузлів для компенсації реактивних навантажень інших вузлів. Як показав проведений розрахунок, це дозволяє знизити втрати в живильних мережах споживачів та зовнішніх електричних мережах.

Розрахована економічна частина роботи з визначенням величини капітальних вкладень, плати за електроенергію, кількості робітників а також собівартості електроенергії. Робота містить також розділ з охорони праці. Виконані розрахунки забезпечують надійне та якісне електропостачання ПрАТ «Вінницький завод «Маяк».



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - X .: Міненерговугілля України, 2014.
2. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. – 2-е вид. перероб. і доп. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 148 с.
3. Указания по расчету электрических нагрузок (РТМ 36.18.32.4-92)// Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок. 1992. № 7-8. С. 4 - 27. (ВНИПИ Тяжпромэлектропроект).
4. Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок, шифр М788-1069/ ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1990 г.
5. Демов, О. Д. Оптимізація процесу впровадження компенсувальних установок в розподільних електричних мережах енергопостачальних компаній : монографія / О. Д. Демов. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 98 с.
6. Вплив компенсувальних установок промислових споживачів на зниження втрат в електричних мережах енергопостачальних компаній / О. Д. Демов, Ю. В. Никитенко, В. А. Коноплицький // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2015. № 6.
7. Рогальский Б. С., Демов А. Д., Дмитраш А. В., Непейвода В. М. Система автоматического и диспетчерского управления конденсаторными установками в электрических сетях промышленных предприятий. // "Промышленная энергетика" – 1990. – №2.
8. А. С. СССР 1259237, кл. G051/170. Бюл. №35, 1986. Автоматический регулятор конденсаторных батарей. (авт. Рогальский Б.С., Непейвода В. М., Демов А. Д., Дмитраш А. В.)
9. А. С. СССР 1416961, кл. G051/170. Бюл. №30, 1988. Автоматический регулятор конденсаторных батарей. (авт. Рогальский Б.С., Дмитраш А. В., Непейвода В. М., Демов А. Д.)

10. А. С. СССР 1446612, кл. G051/170. Бюл. №47, 1986. Автоматический регулятор конденсаторных батарей. (авт. Рогальский Б.С., Демов А. Д., Дмитраш А. В.)

11. Демов О.Д., Хінді Айман Тахер Аналіз економічних показників установлення конденсаторних батарей в промислових електричних мережах з урахуванням ринкових умов. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2000, №2.

12. Рогальський Б.С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління. I частина. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2002.–119 с.

13. Ильяшов В.П. Автоматическое регулирование мощности КУ.- М: Энергия, 1977. -126с.

14. Красник В.В. Автоматические устройства по компенсации реактивных нагрузок в электрических сетях предприятий. - М: Энергоатомиздат, 1983.-112с.

15. Баркан Л.Д. Автоматическое управление режимом батарей конденсаторов. - М.: Энергия, 1978.- 112с.

16. Устройство автоматическое типа АРКОН-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - Рига: Рижский опытный завод "Энергоавтоматика", 1977. - 46с.

17. Сурвило И.К. Об использовании регулятора АРКОН-1 //Промышленная энергетика. 1981.-№11.-С.40-44.

18. Железко Ю.С., Попов И.А., Бессмертнов В.Б. Новый серийный регулятор мощности конденсаторных установок /Промышленная энергетика. – 1985. - №4. - С.44-47.

19. А.с. 434534 (СССР), МКИ H0213/12. Регулирование возбуждения синхронного двигателя/М.А. Юськив/Опубл. в Бюл. №7. -1974.

20. А.с. 954993 (СССР), МКИ O02P1/70. Регулятор мощности синхронного двигателя/В.В. Архипенко, Б.Н. Порохнявый//Изобретения в СССР и за рубежом. - 1982. - №3.

21. А.с. 1355969 (СССР), МКИ О05Р1/70. Способы автоматического регулирования реактивной нагрузки группой синхронных двигателей /Порохнявий Б.Н. // Изобретения стран мира. -1988.-№3.

22. Юськив М.А. Использование синхронных двигателей для компенсации реактивной мощности / Промышленная энергетика.-1981.- №4 - С.56-57.

23. Рогальский Б.С. Рациональный способ компенсации реактивной мощности в электрических сетях предприятий промышленности нерудных строительных материалов/Инф.листок №23. УкрНИ-ИНТИ, 1973.-Вып.23.-4с.

24. Рогальский Б.С., Штогрин Е.А. Рациональный способ компенсации реактивной мощности, потребляемой буровыми станками. /Инф. листок 120-83, серия 22.6 Лв. ЦНТИ. УкрНИИНТИ Госплана УССР, 1983.-2с.

25. Регулятор коэффициента мощности РКМ – 1. //Промислова електроенергетика та електротехніка. Випуск четвертий. – 1998. – С.47 – 48

26. Регулятор коефіцієнта потужності РКП – 12 – 2/600. //Промислова електроенергетика та електротехніка. Випуск четвертий. – 1998. – с.37

27. Демов О. Д., Півнюк Ю. Ю. Оптимізація впровадження та використання компенсуючих установок у розподільних електричних мережах споживачів / О. Д. Демов, Ю. Ю. Півнюк. — Вінниця : ВНТУ, 2018. — 89 с.

28. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / Вершинина С. И., Гамазин С. И., Голонов Ю. М., Киреева Э. А., Кирпа А. И., Конюхова Е. А., Сидоренко Э. Т. , Стульников Г. В., Федоров А. А. / Под. ред. А. А. Федорова, Г. В. Сербиновского. Кн. 2. – М.: Энергия, 1972. – 528 с.

29. Демов О. Д. Оптимізація процесу впровадження компенсуючих установок в розподільних електричних мережах енергопостачальних компаній : монографія / О. Д. Демов. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 98 с.

30. Зайченко Ю. П. Исследование операций. – К. :Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 552 с.

31.

[http://www.voe.com.ua/consumers/legal\\_entities/fees?year=2019@month=1](http://www.voe.com.ua/consumers/legal_entities/fees?year=2019@month=1)

ПАТ «Вінницяобленерго». Тарифи на електроенергію з 1 січня 2019 року.

32. Демов О.Д., Бірюков О.О., Мельничук Л.М. Розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 92с.

33. Єдина тарифна сітка розрядів і коефіцієнтів з оплати праці працівників установ та організацій окремих галузей бюджетної сфери. Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/ST000596.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ST000596.html)

34. ГОСТ 12.0.003 – 74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.

35. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

36. ГОСТ 12.1.008-83 - « Шум. Общие требования безопасности».

37. СН 32.23-85 "Санитарные нормы допустимого шума на рабочих местах".

38. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей /Уклад. О.В. Кобилянський , О.П. Терещенко – В .: ВНТУ, 2003.- 46 с.

39. XLVII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2018) [Електронний ресурс] - Режим доступу [https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu\\_2018\\_netpub.pdf](https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2018_netpub.pdf)