

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Контроль та поліпшення показників енергоефективності
Товариства з обмеженою відповідальністю "Авіс", місто Вінниця»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕМ-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(цифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Глухенький Н.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ

Терешкевич Л.Б.

(прізвище та ініціали)

*Маміт
Борисович*

« 11 » 12 2023 р.

Опонент:

к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС Тенітя Р.В.

(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2023 р.

пущено до захисту

звідувач кафедри ЕСЕЕМ

н.н., проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

« 8 » листопада 2023 р.

Вінниця – 2023

Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр
Спеціальність– 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма – Енергетичний менеджмент

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

„19” вересня 2023 р

ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу
Глухенькому Нікіті Євгеновичу

1.Тема роботи: Контроль та поліпшення показників енергоефективності Товариства з обмеженою відповідальністю "Авіс", місто Вінниця.

керівник роботи: Терешкевич Леонід Борисович, к.т.н., професор,
затверджені наказом по ВНТУ від « 18 » вересня 2023 року, №247

2. Строк подання студентом роботи « 5 » грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: відомості про електроприймачі та електричні навантаження, планування підприємства, про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства. Результати досліджень ефективності використання енергоресурсів на підприємстві.

Наукові публікації з питань компенсації реактивної потужності на промислових підприємствах.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація.

Вступ.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про підприємство

1.2 Вихідні дані для виконання роботи та основні науково-технічні завдання, що потребують вирішення

1.3 Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ ТА РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

2.1 Аналіз режимів споживання паливно-енергетичних ресурсів і складання паливно-енергетичних балансів підприємства

2.2 Розрахунок питомих норм споживання паливно-енергетичних ресурсів

2.3 Техніко-економічний аналіз деяких заходів з підвищення економії ПЕР на об'єкті

2.4 Енергоаудиторські висновки до розділу 2

РОЗДІЛ 3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК В МЕРЕЖАХ ТОВ– «АВІС»

3.1 Використання БСК в системах електропостачання.

3.2 Аналіз існуючих математичних моделей та способів автоматичного керування потужністю КУ

3.3 Математична модель, що контролює реактивну потужність введення







3.4. Математичні моделі, що контролюють вплив КУ на рівень напруги у вузлі мережі

- 4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи
- 4.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання
- 4.3 Розрахунок поточних витрат
- 4.4 Розрахунок собівартості електроенергії
- 4.5 Висновки до розділу
- 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ
- ВИСНОВКИ
- Література

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
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		
Нормоконтроль	Войтюк Ю.П., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання « 1 » жовтня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Відомості про підприємство та характеристики електроприймачів.	10.10.2023	
2	Оптимізація системи електропостачання ТОВ – підприємства «Авіс»	25.10.2023	
3	Оптимізація електричних режимів в розробленій системі електропостачання	15.11.2023	
4	Економічна частина роботи	20.11.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.11.2023	
6	Написання пояснювальної записки	05.12.2023	

Студент
Керівник магістерської роботи




Глухенький Н.Є.

Терешкевич Л.Б.

ВОЙТЮК Ю.П.

Нормоконтроль

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Контроль та поліпшення показників енергоефективності
Товариства з обмеженою відповідальністю "Авіс", місто Вінниця»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕМ-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Глухенький Н.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ

Терешкевич Л.Б.

(прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2023 р.

Опонент:

_____.

(прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2023 р.

Вінниця – 2023

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 – Енергетичний менеджмент

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

„___” _____ 2023 р

ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу
Глухенькому Нікіті Євгеновичу

1. Тема роботи: Контроль та поліпшення показників енергоефективності Товариства з обмеженою відповідальністю "Авіс", місто Вінниця.

керівник роботи: Терешкевич Леонід Борисович, к.т.н., професор,
затверджені наказом по ВНТУ від « 18 » вересня 2023 року, №247

2. Строк подання студентом роботи « 5 » грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: відомості про електроприймачі та електричні навантаження, планування підприємства, про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства. Результати досліджень ефективності використання енергоресурсів на підприємстві.

Наукові публікації з питань компенсації реактивної потужності на промислових підприємствах.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація.

Вступ.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про підприємство

1.2 Вихідні дані для виконання роботи та основні науково-технічні завдання, що потребують вирішення

1.3 Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ ТА РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

2.1 Аналіз режимів споживання паливно-енергетичних ресурсів і складання паливно-енергетичних балансів підприємства

2.2 Розрахунок питомих норм споживання паливно-енергетичних ресурсів

2.3 Техніко-економічний аналіз деяких заходів з підвищення економії ПЕР на об'єкті

2.4 Енергоаудиторські висновки до розділу 2

РОЗДІЛ 3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК В МЕРЕЖАХ ТОВ– «АВІС»

3.1 Використання БСК в системах електропостачання.

3.2 Аналіз існуючих математичних моделей та способів автоматичного керування потужністю КУ

3.3 Математична модель, що контролює реактивну потужність введення

3.4. Математичні моделі, що контролюють вплив КУ на рівень напруги у вузлі мережі

3.5 Висновки до розділу 3

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи

4.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання

4.3 Розрахунок поточних витрат

4.4 Розрахунок собівартості електроенергії

4.5 Висновки до розділу

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

ВИСНОВКИ

Література

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
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		
Нормоконтроль	Войтюк Ю.П., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання « 10 » листопада 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Відомості про підприємство та характеристики електроприймачів.	10.10.2023	
2	Оптимізація системи електропостачання ТОВ – підприємства «Авіс»	25.10.2023	
3	Оптимізація електричних режимів в розробленій системі електропостачання	15.11.2023	
4	Економічна частина роботи	20.11.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.11.2023	
6	Написання пояснювальної записки	5.12.2023	

Студент _____

Керівник магістерської роботи _____

Рецензент _____

Глухенький Н.Є..

Терешкевич Л.Б.

АНОТАЦІЯ

Глухенький Нікіта Євгенович. Контроль та поліпшення показників енергоефективності Товариства з обмеженою відповідальністю "Авіс", місто Вінниця. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Енергетичний менеджмент». – Вінниця, ВНТУ, 2023 – 125 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 69 назв; рис.: 15; табл. 31.

В магістерській дипломній роботі проведено техніко-економічний аналіз та розрахунок режимів споживання ПЕР за результатами проведених розрахунків запропонована система компенсації реактивної потужності, також проведений аналіз при встановленні інфрачервоного опалення, перевірка системи освітлення, зроблені енергоаудиторські висновки.

Також врахованні економічні затрати на модернізацію освітлення , встановлення інфрачервоних ламп для обігріву , та затрати на встановлення компенсаторів реактивної потужності.

В дипломній роботі використовуємо сучасні проектні методики, запропоновано енергозберігаючі заходи , переважно використано новітнє обладнання вітчизняного виробництва .

Ключові слова: Аналіз , система електропостачання, компенсація реактивної потужності, ПЕР.

ABSTRACT

Gluhenky Nikita Evgenovich. Control and improvement of energy efficiency indicators of limited liability company - "Avis", Vinnytsia. Master's qualification thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", educational program - "Energy management". – Vinnytsia, VNTU, 2023 – 125 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 69 titles; Fig.: 15; table 31.

In the master's thesis, a technical and economic analysis and calculation of the modes of consumption of PER was carried out based on the results of the calculations a reactive power compensation system was proposed, an analysis was also carried out when infrared heating was installed, an inspection of the lighting system was made, energy audit conclusions were made.

Economic costs for lighting modernization, installation of infrared lamps for heating, and costs for installation of reactive power compensators are also taken into account.

In the diploma work, we use modern design methods, energy-saving measures are proposed, mostly the latest equipment of domestic production is used.

Key words: Analysis, power supply system, compensation of reactive power, PER

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	6
1.1 Відомості про підприємство.....	6
1.2 Вихідні дані для виконання роботи та основні науково-технічні завдання, що потребують вирішення.....	12
1.3 Висновки до розділу 1.....	21
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ ТА РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ	22
2.1 Аналіз режимів споживання паливно-енергетичних ресурсів і складання паливно-енергетичних балансів підприємства.....	22
2.2 Розрахунок питомих норм споживання паливно-енергетичних ресурсів.....	25
2.3 Техніко-економічний аналіз деяких заходів з підвищення економії ПЕР на об'єкті	26
2.3.1 Визначення економії коштів внаслідок встановлення системи компенсації реактивної потужності.....	28
2.3.2 Аналіз ефективності системи інфрачервоного опалення приміщень підприємства	35
2.3.3 Перевірка ефективності системи освітлення ТОВ-ПІДПРИЄМСТВО 'АВІС'	38
2.4 Енергоаудиторські висновки до розділу 2.....	42
РОЗДІЛ 3 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК В МЕРЕЖАХ ТОВ-ПІДПРИЄМСТВА «АВІС».....	43
3.1 Використання БСК в системах електропостачання.....	43
3.1.1 БСК для компенсації реактивних навантажень та ефекти, що мають місце при цьому	44
3.1.2 Впливи БСК на напругу.....	56
3.1.3 Вплив БСК на несиметрію напруг	49
3.1.4 Вплив БСК на несинусоїдальність напруги	51
3.1.5 Вплив БСК на стійкість роботи двигунів	53
3.2 Аналіз існуючих математичних моделей та способів автоматичного керування потужністю КУ.....	54
3.3 Математична модель, що контролює реактивну потужність введення.....	57
3.4 Математичні моделі, що контролюють вплив КУ на рівень напруги у вузлі мережі	66
3.5 Висновки до розділу 3.....	69
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	71
4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи	
4.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання.....	75
4.3 Розрахунок поточних витрат.....	77
4.3.1 Розрахунок потреби в робочій силі	77
4.3.2 Розрахунок витрат по заробітній платі	80

4.3.3	Планування вартості матеріалів, що витрачається	83
4.3.4	Визначення амортизаційних відрахування відрахувань і інших витрат	84
4.4	Розрахунок собівартості електроенергії	85
4.4.1	Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію	85
4.4.2	Розрахунок собівартості електроенергії	89
4.5	Висновки до розділу 4.....	91
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....		92
ВИСНОВКИ.....		110
ЛІТЕРАТУРА.....		111
Додатки.....		115

ВСТУП

Актуальність теми. Для будь-якої системи, яка функціонує більше 20 років, об'єктивною реальністю є те вона фізично та морально застаріла. Так, наприклад, втрати холостого ходу трансформаторів потужністю 1000кВА, які випускається промисловістю, за рахунок впровадження нових технологій та матеріалів зменшилися від 1,5 кВт (2000 р.) до 1,2 кВт (2020 р.). Крім того, відбулись зміни в технології виробництва на самому підприємстві. Впроваджено нове технологічне обладнання, випускаються нові види продукції. Як наслідок, навантаження підприємства та його окремих виробничих підрозділів не відповідають характеристикам існуючих мереж та встановленого електрообладнання. Саме до таких виробництв відноситься підприємство «АВІС».

Тому робота, в якій за сучасними методиками проводиться аналіз ефективності використання паливо-енергетичних ресурсів, *актуальна* для підприємства «АВІС». Отримані результати у разі їх реалізації, дозволять зменшити вартість енерговитрат в собівартості продукції підприємства

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана на факультеті електроенергетики та електромеханіки ВНТУ у рамках наукових досліджень, які проводяться на кафедрі ЕСЕЕМ.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є зменшення долі енерговитрат в собівартості продукції ТОВ «АВІС» за рахунок впровадження розроблених даними в роботі заходів з енергозбереження

Поставлена мета досягається вирішенням таких технічних задач:

- аналізу ефективності використання кожного із енергоносіїв, що використовується на підприємстві;
- розробкою пропозицій що до підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на підприємстві АВІС

Об'єкт дослідження – система енергопостачання ТОВ «АВІС»

Предмет дослідження – ефективність використання енергоносіїв, що

використовується на підприємстві

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблено ряд технічних рішень, які підвищують ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів на ТОВ «АВІС» (таких як електроенергія, вода, газ), а керування потужністю конденсаторних батарей, використовуючи розроблену математичну модель, підвищить їх ефективність.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що реалізація отриманих результатів підвищить ефективність роботи електрообладнання, зменшить активні втрати та поліпшить якість електроенергії в системі електропостачання.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням сучасних математичних методів оптимізації.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення та результати магістерської кваліфікаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором одноособово.

Апробація результатів магістерської випускної роботи. Викладені в роботі результати доповідались на ІІ та на ІІІ Науково-технічних конференціях факультету електроенергетики та електромеханіки, ВНТУ, (2022 та 2023)

Публікації: по темі роботи:

1. *Леонід Борисович Терешкевич, Нікіта Євгенович Глухенький.* Енергозберігаючі рішення при розробці системи електропостачання // ІІ Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2022) Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2022/paper/view/15709/13170>.

2. *Леонід Борисович Терешкевич, Нікіта Євгенович Глухенький.* Алгоритм керування конденсаторними установками в системах

електропостачання. // ЛІІ Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2023) Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2023/paper/view/17618/14635>.

Обсяг і структура магістерської кваліфікаційної роботи. Робота складається із вступу, 5 розділів, списку використаних джерел і додатків, загальний обсяг роботи 125 сторінок, з яких основний зміст викладений на 74 сторінках друкованого тексту, містить 15 рисунків, 31 таблиць, список використаних джерел із 69 найменувань.

РОЗДІЛІ

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про підприємство та вихідні дані для виконання роботи та основні науково-технічні завдання, що потребують вирішення

Підприємство має планування, яке зображено на рисунку 1.1

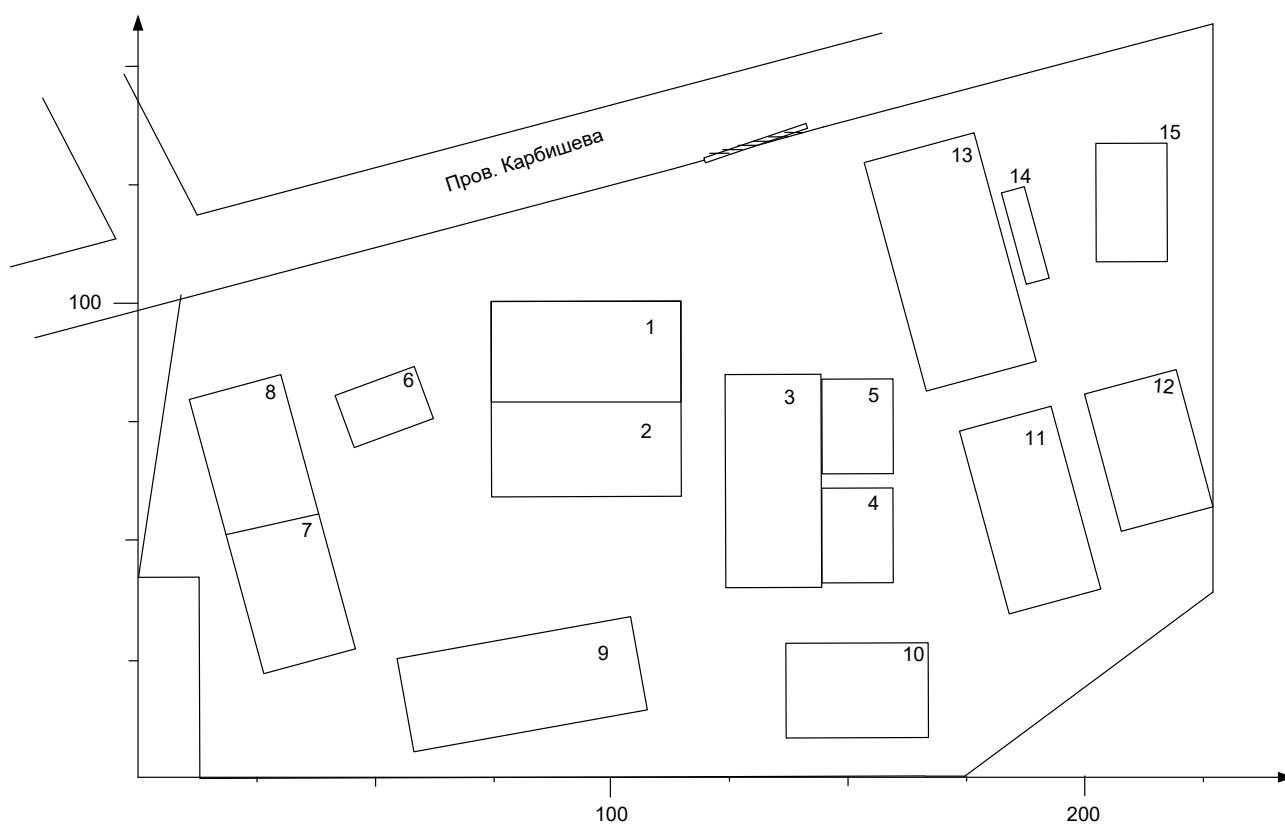


Рисунок 1.1 – Генплан підприємства

ТОВ АВІС живиться повітряною лінією електропередач довжиною 1000 м

Таблиця 1.1 – Відомості про електричні навантаження підприємства

№ на плані	Назва цеху	Р _н , кВт
1	Завод полімерного упакування	450
2	Цех (друкарня)	80
3	Завод безалкогольних напоїв	390
4	Очисні споруди	290
5	Очисні споруди	210
6	Котельня	80
7	Склад №1	110
8	Склад №2	90
9	Склад №3 (гот. Прод)	120
10	Склад №4 (гот. Прод)	100
11	Оліє-очисний завод	260
12	Цех фасування олії	160
13	Цех по виробництву майонезу	280
14	Холодильно-компресорна станція	80
15	Цех по виготовленню печива	101

Під час аналізу найбільш завантажених змін було виявлено, що середні півгодинні активна та реактивна потужності підприємства, відповідно $P_{\max} = 2581,87$ кВт, $Q_{\max} = 4312,36$ квар.

В табл. 1.2 наведено опис основних електроприймачів об'єктів електроспоживання підприємства.

Таблиця 1.2 – Електроприймачі підприємства

№	Найменування об'єкта	Найменування електроприймачів
1	Завод полімерного упакування	Освітлення, пакувальні машини
2	Цех (друкарня)	Друкарські верстати, освітлення
3	Завод безалкогольних напоїв	Електроприводи, освітлення
4,5	Очисні споруди	Освітлення, насоси
6	Котельня	техн. установки, насоси, вентилятори, електроприводи
6, 7	Адмінкорпуси	Побутова техніка, офісна техніка, освітлення, електроплити, вентилятори.
7,8,9, 10	Склад	Освітлення, холодильники
11	Оліє-очисний завод	Освітлення, компресори, вентилятори, насоси
12	Цех фасування олії	Освітлення, вентилятори
13	Цех по виробництву майонезу	електроприводи, освітлення, вентилятори, холодильники.
14	Холодильно-компресорна станція	Холодильники, компресори
15	Цех по виготовленню печива	Холодильники, компресори, печі

Система теплопостачання (опалення).

Система теплопостачання виробничих приміщень складається з газової котельні, яка виробляє теплову енергію для опалення. Тепло віддається в приміщення за допомогою чавунних радіаторів опалення, які працюють за принципом конвекції. Трубопроводи гарячого водопостачання виготовлені зі сталі та ізольовані, щоб забезпечити їх довговічність (25 років).

Система освітлення.

У невиробничих приміщеннях, використовують лампи розжарювання. Ці лампи створюють яскраве, тепле світло, але вони неефективні та мають короткий термін служби. У промислових і складських приміщеннях, де потрібне яскраве та рівномірне освітлення, використовуються люмінесцентні лампи. Ці лампи більш ефективні та довговічніші, ніж лампи розжарювання,

але вони створюють холодніше світло. Світлодіодні лампи є найефективнішими та довговічнішими лампами, які доступні на сьогоднішній день. Вони також створюють яскраве, тепле світло, подібне до світла ламп розжарювання.

Система водопостачання.

Вода для потреб підприємства надходить від міської водопровідної мережі. Обсяг споживання води контролюється за допомогою лічильника COSMOS WPD DN 100.

Система постачання стисненого повітря складається з двох компресорів потужністю 5 кВт і 7 кВт.

Система вентиляції, підігріву повітря та кондиціонування включає 25 вентиляційних установок і кондиціонерів потужністю від 1,5 кВт до 15 кВт.

1.Режим роботи підприємства

Підприємство працює в 1 зміну. Тривалість зміна з 8.00 до 17.00. Кількість робочих днів в рік – 250. Кількість вихідних і святкових – 115.

2.Номенклатура та об'єми виробництва продукції

Обсяги виробництва основної продукції наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Обсяги виробництва продукції

Найменування продукції	Вартість, кількість	Обсяги виробництва		
		2020 р.	2021 р.	2022 р.
Майонез	млн. грн.	100	118,5	125,75
	тонн	8000	9500	9000
Хрін	млн. грн.	48	60	54
	тонн	4000	5000	4500
Гірчиця	млн. грн.	48	60	54
	тонн	4000	5000	4500
Олія	млн. грн.	61	64	67
	тонн	10000	10500	11000

1.Фінансовий стан підприємства

Підприємство своєчасно виплачує зарплату працівникам і сплачує за енергоносії. Воно також прагне збільшити кількість клієнтів.

2.Кількість працівників.

Середньоспискова чисельність працівників підприємства – 150 осіб.

3.Щорічне споживання паливно енергетичних ресурсів об'єктом та його структурними одиницями

ТОВ АВІС використовує воду, електроенергію та природний газ. Дані про споживання цих ресурсів наведені в таблицях 1.4 та 1.5.

Таблиця 1.4 – Загальне споживання енергоносіїв та їх вартість за даними на 2022 р.

Енергоносій	Річне споживання	Річні витрати, грн.
Активна електроенергія	4647366кВт·год.	18589464
Реактивна електроенергія	7762248квар·год.	3881124
Природний газ	76670 м ³	2254098
Вода	110000 м ³	1731400

Таблиця 1.5 – Дані про щомісячне споживання електроенергії та природного газу підприємством за 2022 р.

Місяць	Споживання активної електроенергії, кВт·год.	Споживання реактивної електроенергії, квар·год.	Споживання газу, м ³
Січень	464736,6	776224,8	7667
Лютий	464736,6	776224,8	23001
Березень	464736,6	776224,8	15334
Квітень	464736,6	776224,8	766,7
Травень	278841,96	465734,88	0
Червень	185894,64	310489,92	0
Липень	185894,64	310489,92	0
Серпень	278841,96	465734,88	0
Вересень	464736,6	776224,8	0

Жовтень	464736,6	776224,8	766,7
Листопад	464736,6	776224,8	21467,6
Грудень	464736,6	776224,8	7667
Разом	4647366	7762248	76670

1. Система тарифів на енергоносії, що їх використовує підприємство, та існуючі обмеження на споживання енергії ТОВ АВІС сплачує за природний газ за ціною 29400 грн./1000 м³. Тариф на водопостачання – 15,74грн./м³, на водовідведення – 7,99 грн./м³. Тариф на активну електроенергію складає 5,5грн./кВт·год. На підприємстві встановлено обладнання для обліку перетоків реактивної електроенергії між підприємством та енергопостачальною організацією. Розрахунки за реактивну електроенергію здійснюються відповідно до методики, затвердженої [2].

2. Для обліку електроенергії на підприємстві використовується система комерційного обліку, що складається з електронного багатофункціонального лічильника АСЕ 6000, приєднаного до шин центрального розподільного пристрою підприємства з напругою 10 кВ. Аналогічні лічильники встановлені на шинах високовольтних розподільних пристроїв двох заводських трансформаторних підстанцій. Ці лічильники також використовуються для комерційного обліку електроенергії. (АСКОЕ) [12].

Технічні характеристики лічильника АСЕ 6000:

Лічильник АСЕ 6000 дозволяє здійснювати багатотарифні вимірювання активної та реактивної енергії та потужності, а також вимірювання інших величин, таких як струм, напруга, частота та Cos φі. Лічильник має високу точність і стабільність вимірювань. Він оснащений багатофункціональним дисплеєм, а також можливістю дистанційного або локального зчитування даних. Лічильник має два комунікаційні порти та до 4 керуючих / імпульсних ввідів / виводів. Він захищений від несанкціонованого доступу та підтримує комунікаційний протокол DLMS / COSEM.

1. Інформація про енергетичні аудити підприємства, що були проведені раніше. Енергетичні аудити на підприємстві раніше не проводились.

1.2 Вихідні дані для виконання роботи та основні науково-технічні завдання, що потребують вирішення

Аналіз корисності інформації для проведення енергетичного аудиту [3].

1. На підприємстві виробляється 4 основних види продукції. Це дозволяє розрахувати норми використання ПЕР для кожного виду продукції. Порівняння цих норм з аналогічними нормами на інших підприємствах допоможе визначити, чи є можливість їх покращення після реалізації енергоощадних заходів.

2. На підприємстві застосовується один тариф на електроенергію. Дані про споживання електроенергії використовуються для оцінки ефективності зміни графіка навантаження підприємства та переходу на інші тарифи.

3. На підприємстві системи обліку та контролю енергоспоживання електроенергії представлені лише лічильниками активної та реактивної енергії, встановленими на ввіді центрального розподільного пристрою. Лічильники технічного обліку відсутні. Це свідчить про те, що на підприємстві є можливість впровадження додаткових засобів контролю та обліку енергоносіїв для контролю виконання норм використання ПЕР та виявлення об'єктів з неефективним використанням ПЕР. [2]

Впровадження додаткових засобів обліку енергоносіїв може призвести до необхідності впровадження системи енергетичного менеджменту на підприємстві. Наразі на підприємстві відсутня така система. Відсутність контролю за ефективністю використання обладнання вказує на те, що впровадження приладового контролю може призвести до економії ПЕР.

1. Аналіз систем з використанням ПЕР.

Найбільш енергоємними системами на підприємстві є електропостачання, опалення та освітлення.

Поділ систем на підсистеми (з зазначенням результатів аналізу) [1].

Система електропостачання

- Підсистема вироблення енергії: трансформатори. КРП дозволяє зменшити втрати електроенергії в трансформаторах.
- Підсистема розподілу, перетворення і передачі енергії: лінії електропередач. КРП дозволяє зменшити втрати електроенергії в лініях електропередач.
- Підсистема навантаження: електроприводи виробничих машин. КРП дозволяє зменшити споживання реактивної енергії електроприводами, визначити коефіцієнти завантаження електроприводів та оптимізувати їх навантаження.

Система опалення

- Підсистема вироблення енергії: котли. Для зменшення витрат енергії можна використовувати утилізацію тепла димових газів та частотні перетворювачі для живлення циркуляційних насосів.
- Підсистема розподілу, перетворення та передачі енергії: трубопроводи. Для зменшення втрат енергії можна використовувати термоізоляцію трубопроводів.
- Підсистема навантаження: радіатори. Для зменшення витрат енергії можна розглянути можливість заміни водяної системи опалення на інші системи, наприклад, інфрачервоні обігрівачі.

Система освітлення

- Підсистема вироблення енергії: трансформатори. Для зменшення втрат електроенергії можна використовувати КРП.
- Підсистема розподілу, перетворення та передачі енергії: лінії електропередач. Для зменшення втрат електроенергії можна рівномірно розподіляти світильники між фазами.

- Підсистема навантаження: світильники. Для зменшення витрат енергії можна розглянути можливість використання інших типів ламп, наприклад, світлодіодних.

Можливі заходи з енергозбереження [15].

На основі аналізу попередньої інформації підприємству рекомендовано провести дослідження ефективності впровадження таких заходів з енергозбереження:

1. Перевірка ефективності використання установок КРП.
2. Перевірка ефективності заміни ртутних ламп на натрієві в системі зовнішнього освітлення та ламп розжарювання на люмінесцентні в адміністративному корпусі.
3. Перевірка ефективності заміни системи водяного опалення в цехах з великими площами і невеликою кількістю персоналу на систему інфрачервоного опалення.
4. Перевірка ефективності встановлення частотних перетворювачів напруги для електропостачання двигунів циркуляційних насосів котельні, оскільки на момент перевірки встановлено, що продуктивність насосів регулюється за допомогою засувки.

Попередній аналіз запропонованих заходів з енергозбереження

1. Підприємство споживає реактивну енергію обсягом

$$W_p = 7762248 \text{квар} \cdot \text{год.}, \text{ за яку сплачує } C = 3881124 \text{грн.}$$

За даними експериментальних досліджень, максимальна півгодинна реактивна потужність підприємства становить 4312 квар. Для забезпечення максимальної КРП необхідно встановити компенсуючу установку такої ж потужності. [7] Орієнтовна вартість установки КРП, потужністю 4000 квар, враховуючи витрати на введення в експлуатацію, складає $B_{KV} = 2\,800\,000$ грн. В такому випадку, простий термін окупності компенсаційної установки складе [16].

$$T = \frac{B_{KV}}{C} = \frac{2\,800\,000}{3881124} = 0,72 \text{ року.}$$

Оскільки облік електроенергії здійснюється на високовольтному вводі підприємства, а КРП знижує не лише витрати на реактивну енергію, а й на втрати активної енергії в лініях і трансформаторах, то термін окупності установки КРП має бути ще коротшим. Таким чином, компенсація реактивної потужності на підприємстві є доцільною, і проведення більш точного техніко-економічного обґрунтування її застосування є необхідним. [30].

1. Експерти та техніко-економічні розрахунки свідчать про те, що люмінесцентні лампи є більш ефективними, ніж лампи розжарювання.

Тому для зниження витрат на освітлення необхідно провести техніко-економічне обґрунтування системи освітлення, зокрема перевірку ефективності заміни ламп розжарювання в адміністративному корпусі на люмінесцентні. Також доцільно розглянути можливість заміни ламп ДРЛ на натрієві, які є ще більш економічними [5].

2. У цехах з великими площами і невеликою кількістю працівників значна частина площі опалюється неефективно за допомогою водяного опалення.

Експерти рекомендують встановлювати в таких випадках системи локального опалення, наприклад, інфрачервоні обігрівачі. [8].

3. За даними статистики, використання частотних перетворювачів для регулювання швидкості електроприводів насосів систем опалення дозволяє економити електроенергію в середньому на 10-30% порівняно з використанням засувки.

Попередній звіт

Під час попередньої перевірки було виявлено, що ТОВ-ПІДПРИЄМСТВО 'АВІС' є успішним підприємством з надійними ринками збуту. Виробничі процеси підприємства потребують споживання електричної енергії, газу та води. Найбільшими споживачами є виробничі

механізми з асинхронними двигунами, котельня, холодильні та освітлювальні установки.

Асинхронні двигуни споживають значну кількість активної та реактивної електроенергії. Вартість 1 кВт·год. активної електроенергії становить 5,5 грн., а підприємство споживає близько 4,65 млн кВт·год. активної та 7,76 млн квар·год. реактивної електроенергії за рік. Загальні витрати на електроенергію становлять декілька мільйонів гривень. Тому доцільно перевірити ефективність встановлення засобів компенсації реактивної потужності.

Результати попередніх розрахунків показали, що впровадження системи КРП дозволить підприємству щороку економити понад 3,88 млн грн. Компенсаційні установки окупляться в термін до 1 року.

Система освітлення на підприємстві споживає значну кількість електроенергії. У багатьох виробничих приміщеннях використовуються лампи розжарювання, які є неефективними. Заміна цих ламп на газорозрядні дозволить підприємству заощадити електроенергію та підвищити продуктивність праці працівників. Останнє пояснюється тим, що газорозрядні лампи забезпечують кращу кольоропередачу та менше втомлюють зір. Також актуальною є заміна ртутних ламп на натрієві, які характеризуються більшою світловіддачею. [6].

Одним із способів енергозбереження на підприємствах із великими цехами та малою кількістю працівників є модернізація водяної системи опалення. Не утеплені стіни та значні площі цехів, які не використовуються, призводять до втрат теплової енергії. Тому пропонується замінити водяне опалення на інфрачервоне, яке більш ефективно обігріває конкретні площі, в яких працюють люди [8].

Системи теплопостачання використовують електроприводи насосів, які регулюють свою продуктивність за допомогою засувки. Замість цього можна використовувати частотні перетворювачі, які плавно та

економічно регулюють швидкість двигунів, що приводять насоси в дію. Статистичні розрахунки показують, що це може дозволити заощадити до 30% електроенергії.

Отже, на підприємстві доцільно провести енергоаудиторну перевірку, щоб оцінити ефективність заходів з енергозбереження, які вже впроваджені[4]. Під час перевірки також можуть бути запропоновані додаткові заходи, які можна реалізувати найближчим часом або запланувати на майбутнє.

План проведення енергетичного аудиту ТОВ-ПІДПРИЄМСТВО 'АВІС'

Напрямки подальшого енергетичного аудиту

Згідно з домовленістю з підприємством-замовником, обсяг робіт з енергоаудиту не перевищуватиме 70 люд*год.

Аудит буде проведений у два етапи: простий та попередній.

У рамках енергоаудиту будуть досліджені такі аспекти:

- використання активної та реактивної потужностей об'єктами підприємства;
- використання теплової енергії та газу для опалення приміщень;
- використання води у виробництві;
- використання електроенергії для живлення циркуляційних насосів, електричних опалювальних систем та освітлювальних установок виробничих приміщень та зовнішнього освітлення.

Методика проведення дослідження [16].

1. Збір даних для оцінки ефективності компенсації реактивної потужності.
2. Збір даних для оцінки ефективності встановлення інфрачервоних обігрівачів.
3. Збір даних для оцінки ефективності заміни ламп розжарювання та розрядних ламп на більш енергоефективні.
4. Вимірювання споживання ПЕР в кожному цеху для розрахунку балансів і визначення норм споживання.

5. Розрахунок оптимальних потужностей конденсаторних установок.

6. Перевірка ефективності функціонування модернізованої системи опалення.

7. Перевірка ефективності функціонування модернізованої системи освітлення.

Отримання додаткової інформації про використання ПЕР на підприємстві [17].

1. Інформація, необхідна для перевірки ефективності вибору системи компенсації реактивної потужності на підприємстві:

- Реальні середні потужності цехів (табл. 1.7), що отримані на основі аналізу їх роботи:

Таблиця 1.7 – Середні потужності та річний обсяг спожитих активної та реактивної енергій цехами підприємства

№	Найменування об'єкта	P_c , кВт	W_a , тис. кВт·год.	Q_c , квар	W_p , тис. квар·год.
1	Завод полімерного упакування	409,5	968549,4	307,125	645699,6
2	Цех (друкарня)	48	113529,6	35,52	74677,248
3	Завод безалкогольних напоїв	331,5	784063,8	245,31	515739,744
4	Очисні споруди	217,5	514431	376,275	791080,56
5	Очисні споруди	147	347684,4	257,25	540842,4
6	Котельня	48	113529,6	105,12	221004,288
7	Склад №1	74,8	176916,96	174,284	366414,682
8	Склад №2	58,5	138364,2	156,195	328384,368
9	Склад №3 (гот. Прод)	88,8	210029,76	186,48	392055,552
10	Склад №4 (гот. Прод)	30	70956	94,5	198676,8
11	Оліє-очисний завод	192,4	455064,48	671,476	1411711,14
12	Цех фасування олії	68,8	162725,76	256,624	539526,298
13	Цех по виробництву майонезу	156,8	370863,36	638,176	1341701,22
14	Холодильно-компресорна станція	30,4	71902,08	143,184	301030,042
15	Завод по виготовленню печива	55,51	131292,25	40,49	85126,176

В табл. 1.7 вказано такі величини:

W_a , W_p – обсяг спожитих за рік відповідно активної та реактивної електроенергії (для кожного об'єкта енерговикористання);

P_c , Q_c – середні, відповідно, активна та реактивна потужності об'єктів підприємства за рік, що визначаються за виразами:

$$P_c = \frac{W_a}{T_p}, \text{ кВт}; Q_c = \frac{W_p}{T_p}, \text{ квар},$$

де T_p – час роботи підприємства за рік (8760 год.).

- Середній тариф за електроенергію – 5,5 грн./(кВт·год.);
- Параметри трансформаторів для аналізу – на даний момент на підприємстві встановлено 3 цехові ТП потужністю 2×1600 кВА (двотрансформаторні), що живляться кабельними лініями від ЦРП 10 кВ;
- Параметри існуючих ліній електропередачі (табл. 1.8);

Таблиця 1.8 – Існуючі лінії електропередачі на підприємстві

Лінія	Провідник	Довжина, м
ПСТ-ГПП	АПвЭБВ-35	900
ГПП-ТП1	АПвЭБВ-10	30
ГПП-ТП2	АПвЭБВ-10	90
ГПП-ТП3	АПвЭБВ-10	160

1. Інформація, що необхідна для перевірки ефективності вибору системи опалення та водопостачання на підприємстві

- У таблиці 1.9 наведено дані про річне споживання теплової енергії та води структурними підрозділами підприємства. Дані отримані на основі показань лічильників, які встановлені на кожному об'єкті підприємства.
- З таблиці 1.9 випливає, що сума показів лічильників води (130 тис. м³) не дорівнює показу лічильника води на вході підприємства (135,3 тис. м³). Тому необхідним є здійснити перевірку точності роботи лічильників води підприємства, а також оглянути водопровідні мережі на предмет наявності неефективних витрат води.

Таблиця 1.9 – Відомості про річне споживання теплової енергії та води підприємством

№	Найменування цеху	Теплова енергія, Гкал	Вода, м ³
1	Завод полімерного упакування	30000	6600
2	Цех (друкарня)	20000	4400
3	Завод безалкогольних напоїв	50000	11000
4	Очисні споруди	50000	11000
5	Очисні споруди	50000	11000
6	Котельня	50000	11000
7	Склад №1	20000	4400
8	Склад №2	30000	6600
9	Склад №3 (гот. Прод)	20000	4400
10	Склад №4 (гот. Прод)	10000	2200
11	Оліє-очисний завод	50000	11000
12	Цех фасування олії	20000	4400
13	Цех по виробництву майонезу	50000	11000
14	Холодильно-компресорна станція	20000	4400
15	Завод по виготовленню печива	30000	6600
	Всього	500000	110000

1. Інформація, що необхідна для перевірки ефективності вибору системи освітлення на підприємстві [6].

Система зовнішнього освітлення на підприємстві складається з 30 ртутних ламп потужністю 250 Вт кожна. Середній річний час роботи системи освітлення складає $T_p = 2500$ год. Тариф на активну електроенергію $B_W = 4$ грн./(кВт·год.).

В компресійному цеху площею 232 м^2 , використовується 10 компактних люмінесцентних ламп MAXUS потужністю 27 Вт кожна, 1 ртутна газорозрядна лампа потужністю 250 Вт, 8 люмінесцентних ламп ТЛД потужністю 36 Вт кожна і 6 ламп розжарювання ЛОН потужністю 100 Вт кожна. Середній річний час роботи системи освітлення складає $T_p = 2000$ год.

1.3 Висновки до розділу 1

В технологічних процесах підприємства АВІС використовуються такі енергоносії:

- електрична енергія;
- і опалення;
- вода;

Оцінку ефективності використання кожного із зазначених показників та розробку пропозицій що до її підвищення можна здійснити, зробивши аналіз існуючого стану

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ ТА РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

2.1 Аналіз режимів споживання паливно-енергетичних ресурсів і складання паливно-енергетичних балансів підприємства [19].

Велике споживання газу на підприємстві свідчить про необхідність дослідження його споживання. На діаграмі рис. 2.1 показано, що споживання газу влітку та взимку приблизно однакове. Вартість газу, спожитого за один місяць за ціною 29,4 грн./м³, перевищує 1,7 млн. грн. Таким чином, з огляду на діаграму споживання газу, виникає необхідність перевірити ефективність системи опалення, яка використовує газ.

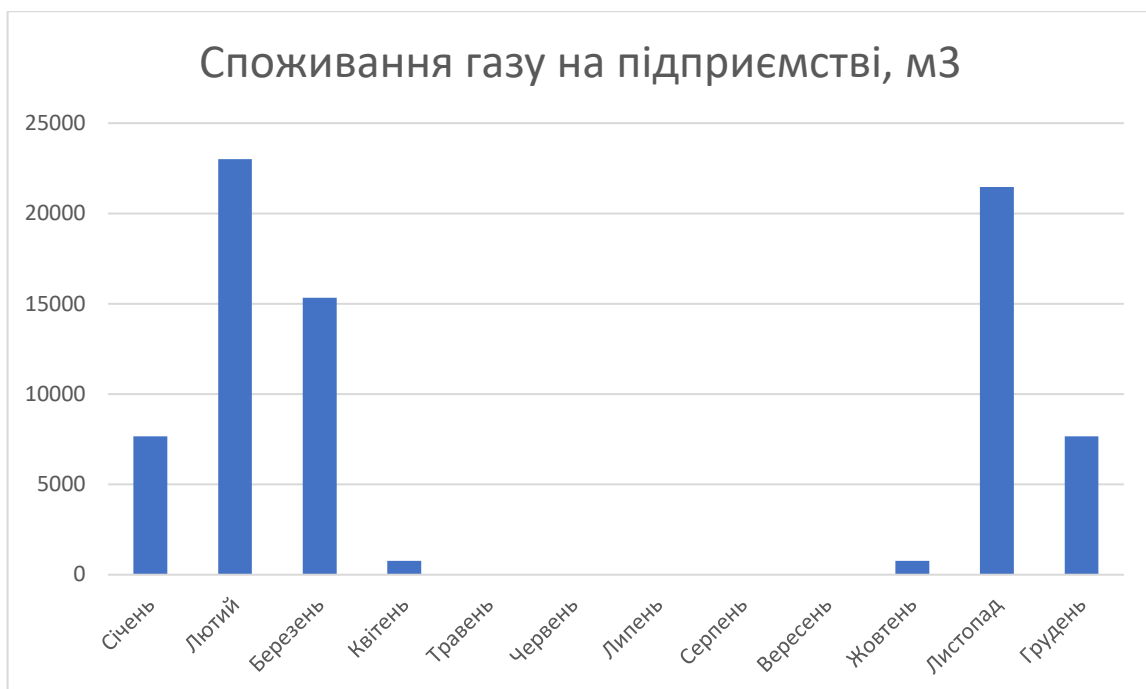


Рисунок 2.1 – Річне споживання газу підприємством за 2022 рік

На основі даних про споживання ПЕР на підприємстві за 2022 рік (див. табл. 1.7, 1.9) побудовано паливно-енергетичні баланси, що

демонструють розподіл паливно енергетичних ресурсів по цехах і показують величину втрат.

Як видно з діаграми балансу електроенергії на підприємстві рис. 2.2, найбільше електроенергії споживають 3-й, 2-й та 11-й цехи. Тому ці цехи варто більш детально вивчити, щоб знайти можливості для енергозбереження.

Також виникає необхідність більш детально дослідити систему водовикористання в цехах № 1, № 3, № 4 та №11, в яких пропонується підтримувати економне використання води за допомогою такого інструмента енергозбереження, як норми використання ПЕР.

Згідно з аналізом таблиці 1.9, необхідно перевірити, чи правильно визначені обсяги використання води кожним об'єктом підприємства. Також необхідно перевірити водопровідні мережі, щоб знайти місця неефективних витрат води.

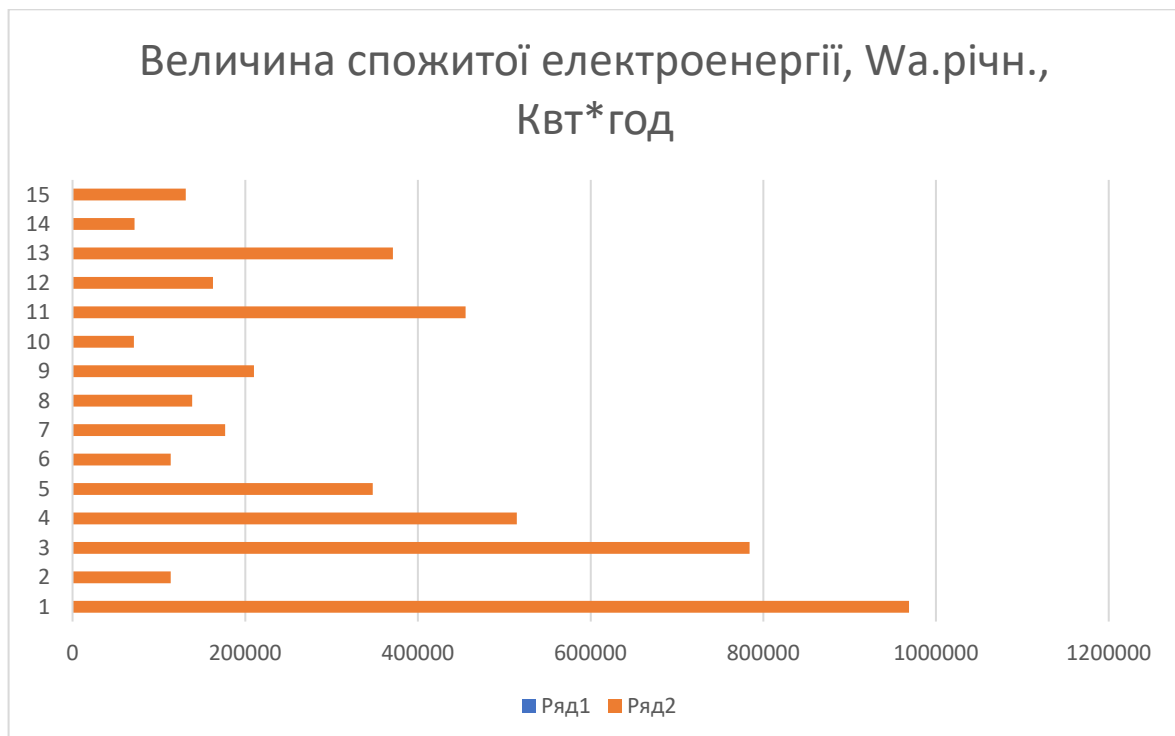


Рисунок 2.2 – Баланс використання електроенергії на підприємстві



Рисунок 2.3 – Баланс використання води на підприємстві

На рис. 2.4 показаний баланс використання теплової енергії на підприємстві.



Рисунок 2.4 – Баланс використання теплової енергії на підприємстві

З балансу використання теплової енергії видно, що найбільше її споживається у №(3,4,5,6,11,13). Пропонується перевірити ефективність застосування системи інфрачервоного опалення в №(3,4,5,6,11,13) [9].

2.2 Розрахунок питомих норм споживання паливно-енергетичних ресурсів

Під час енергоаудиту було зібрано інформацію про виробництво продукції та споживання ПЕР. На підприємстві виробляються майонез, гірчиця, хрін та олія. Оскільки на підприємстві випускається кілька видів продукції, то доцільно розрахувати середню норму використання електроенергії, газу та води на одиницю вартості продукції. Сумарна вартість за 2022 р. випущеної продукції склала $B_{\Sigma} = 3$ млн. грн. (див. табл. 1.3) Обсяги річного використання ПЕР (див. табл. 1.4):

електроенергія: $W = 4647366$ кВт·год.;

газ: $V = 76670$ м³;

вода: $V = 110000$ м³.

Загальновиробничі норми використання ПЕР розраховуються за формулою[5]:

$$H = \frac{ПЕР}{B_{\Sigma}}, \text{ од. ПЕР/грн.прод.} \quad (2.1)$$

де $ПЕР$ – обсяг спожитих паливно-енергетичних ресурсів;

B_{Σ} – вартість спожитих паливно-енергетичних ресурсів.

Загальновиробнича заводська норма використання електроенергії за 2022 р.:

$$H = \frac{4647366}{33000000} = 0,14 \text{ (кВт·год./грн. прод.)}$$

Загальновиробнича заводська норма використання газу за 2022р.:

$$H = \frac{76670}{33000000} = 0,002 \text{ (м}^3\text{/ггр. прод.)}.$$

Загальновиробнича заводська норма використання води за 2022 р.:

$$H = \frac{110000}{33000000} = 0,003 \text{ (м}^3\text{/ггр. прод.)}.$$

2.3 Техніко-економічний аналіз деяких заходів з підвищення економії ПЕР на об'єкті

Перевірка того, чи ефективно працюють засоби компенсації реактивної потужності (КРП), є важливою задачею [30], оскільки на багатьох підприємствах є велика частка реактивних навантажень, таких як електроприводи та системи освітлення.

Щоб перевірити систему електропостачання підприємства, необхідно створити електричну схему заміщення на основі однолінійної схеми.

На рис. 2.5 показано однолінійну схему системи електропостачання ТОВ-ПІДПРИЄМСТВО 'АВІС', яка містить: точку приєднання підприємства до підстанції енергосистеми напругою 10 кВ, ЦРП, три двотрансформаторні цехові підстанції, а також середньорічні активні ($P_{нс1} - P_{нс4}$) і реактивні навантаження цехів ($Q_{к1} - Q_{к4}$), які приєднані до цих трансформаторів. На схемі також показано запропоновані місця встановлення конденсаторних батарей ($Q_{к1} - Q_{к4}$).

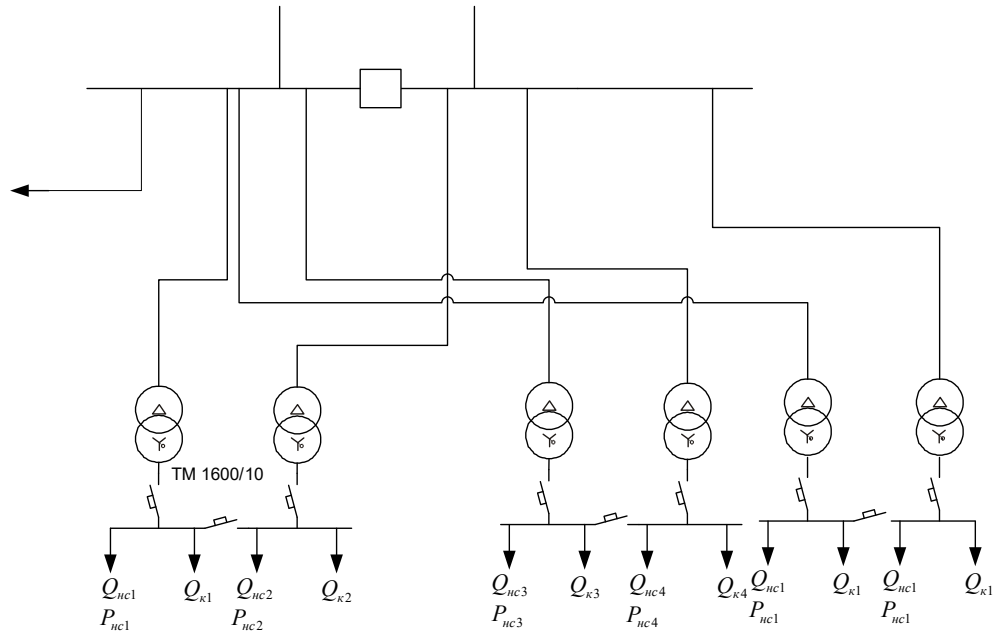


Рисунок 2.5 – Однолінійна схема системи електропостачання підприємства

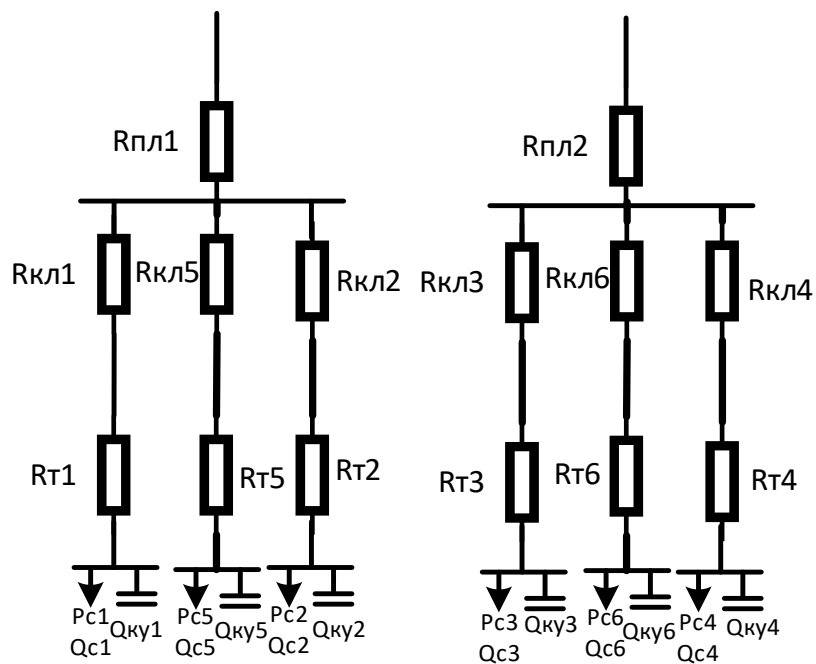


Рисунок 2.6 – Схема заміщення електричної мережі

Алгоритм аудиторської перевірки наведений нижче [4].

1. Критерій ефективності використання компенсації реактивної потужності на підприємстві:

$$T = \frac{K}{E}, [\text{роки}] \quad (2.2)$$

де T – термін окупності системи КРП, років;

K – капіталовкладення в систему КРП, грн.;

E – економія коштів внаслідок встановлення системи КРП, грн.

2.3.1 Визначення економії коштів внаслідок встановлення системи КРП [30].

Економія коштів від установки компенсаторів реактивної потужності визначається як різниця між витратами на електроенергію до і після їх встановлення.

КРП ($V^{\text{до}}$) і після їх встановлення ($V^{\text{після}}$):

$$E = V^{\text{до}} - V^{\text{після}}, [\text{грн}] \quad (2.3)$$

Витрати до та після застосування конденсаторних установок містять такі складові:

$$V^{\text{до}} = V_{\text{втр}}^{\text{до}} + V_{\text{Wp}}^{\text{до}}, [\text{грн}] \quad (2.4)$$

$$V^{\text{після}} = V_{\text{втр}}^{\text{після}} + V_{\text{Wp}}^{\text{після}} + V_{\text{втр}}^{\text{БК}}, [\text{грн}] \quad (2.5)$$

де $V_{\text{втр}}^{\text{до}} = \sum_{i=1}^n \Delta W_i^{\text{до}} \cdot C_{\text{Wa}}$, $V_{\text{втр}}^{\text{після}} = \sum_{i=1}^n \Delta W_i^{\text{після}} \cdot C_{\text{Wa}}$ – вартість втрат активної енергії в

n елементах системи електропостачання (СЕР) (лініях і трансформаторах);

$\Delta W_i^{\text{до}}$, $\Delta W_i^{\text{після}}$ – втрати активної енергії в i -му елементі СЕР;

C_{Wa} – тариф на електроенергію, грн./($\text{kВт}\cdot\text{год.}$);

$V_{\text{втр}}^{\text{БК}} = \sum_{j=1}^m \Delta W_j^{\text{БК}} \cdot C_{Wa}$ – вартість втрат активної енергії в батареях статичних

конденсаторів компенсаційних установок;

$V_{\text{Wp}}^{\text{до}}$, $V_{\text{Wp}}^{\text{після}}$ – вартість перетоків реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та споживачем, що, згідно з [7], визначається за виразом:

$$V_{\text{Wp}} = V_1 + V_2 - V_3, [\text{грн}] \quad (2.6)$$

В свою чергу складові виразу (5) визначаються таким чином:

$$V_1 = (W_p^{\text{сп}} + K \cdot W_p^{\text{ген}}) \cdot D \cdot C_{Wa}, [\text{грн}] \quad (2.7)$$

де $W_p^{\text{сп}}$ – споживана реактивна енергія в точці обліку, квар·год.;

$W_p^{\text{ген}}$ – генерована реактивна енергія в точці обліку, квар·год.;

$K = 3$ – нормативний коефіцієнт врахування збитків енергопостачальної організації від генерації реактивної електроенергії;

D – економічний еквівалент реактивної потужності, що характеризує вплив реактивного перетоку в точці обліку на втрати активної потужності в розрахунковому режимі, $\text{kВт}/\text{квар}$;

$$V_2 = V_1 \cdot C_{\text{БАЗ}} \cdot (K_j - 1), [\text{грн}] \quad (2.8)$$

де V_2 – надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами компенсації реактивної потужності, яка нараховується, якщо коефіцієнт реактивної потужності споживача в середньому за розрахунковий період

$\operatorname{tg}\phi > 0,25$ – для промислових споживачів і $\operatorname{tg}\phi > 0,75$ – для непромислових споживачів;

$C_{\text{БАЗ}} = 1,3$ – нормативне базове значення коефіцієнта стимулювання капітальних вкладень в засоби КРП в електричних мережах споживача;

K_{ϕ} – коефіцієнт, що визначається за виразами:

– для промислових споживачів:

$$K_{\phi} = (\operatorname{tg}\phi - 0,25)^2 + 1 \quad (2.9)$$

– для непромислових споживачів:

$$K_{\phi} = (\operatorname{tg}\phi - 0,75)^2 + 1 \quad (2.10)$$

Значення коефіцієнта реактивної потужності споживача в середньому за розрахунковий період визначається як відношення споживаних, відповідно, активної та реактивної електроенергії [24]:

$$\operatorname{tg}\phi = W_p^{\text{сп}} / W_a^{\text{сп}}. \quad (2.11)$$

Складова B_3 є зниженням плати за споживання та генерування реактивної електроенергії за умови достатнього оснащення електричної мережі споживача засобами КРП і узгодження з енергопостачальною організацією.

Для визначення складових виразу (3.4) потрібно розрахувати енергетичні втрати в елементах системи електропередачі.

Втрати електроенергії в електричній мережі розраховуються за допомогою коефіцієнта форми графіка навантаження за струмом[2]. Цей коефіцієнт враховує нерівномірність графіка навантаження, що є однією з основних причин втрат електроенергії.:

$$\Delta W = 3k_{\text{фл}}^2 I_c^2 RT \cdot 10^{-3}, [\text{кВт/год}] \quad (2.12)$$

де $k_{\text{фл}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot t_i / \sum_{i=1}^n t_i}}{\sum_{i=1}^n I_i \cdot t_i / \sum_{i=1}^n t_i}$ – коефіцієнт форми графіка навантаження за струмом,

тут I_i – середній струм навантаження в i -му періоді вимірювання, який може вимірюватись або розраховується за виразом:

$$I_c = \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}}{\sqrt{3} \cdot U}, [\text{А}] \quad (2.13)$$

Тут P_c, Q_c – відповідно, середні активна та реактивна потужності навантаження, що живиться через елемент системи електропередачі (лінію чи трансформатор) за розрахунковий період T ;

U – напруга елемента лінії електропередачі, кВ.

I_c – середній струм, який може визначатись за виразом (3.12) або

$$I_c = \frac{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot T}, [\text{А}] \quad (2.14)$$

Річні втрати електроенергії в трансформаторах визначаються за виразом [8–10]

$$\Delta W_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{хх}} T_{\text{тр}} + \beta^2 \Delta P_{\text{кз}} T_{\text{н}}, \quad (2.15)$$

де $\Delta P_{\text{хх}}$ – втрати холостого ходу трансформатора, кВт;

$\Delta P_{\text{кз}}$ – втрати короткого замикання трансформатора, кВт;

$T_{тр}$ – час, протягом якого трансформатор приєднано до мережі, год.;

T_n – час, протягом якого трансформатор працює під навантаженням, год.;

β – коефіцієнт завантаження трансформатора, квадрат якого за умов змінного навантаження визначається за виразом:

$$\beta^2 = \frac{k_{фа}^2 P_c^2 + k_{фр}^2 Q_c^2}{S_n^2}, \quad (2.16)$$

де $k_{фа}$ – коефіцієнт форми графіка активної потужності;

$k_{фр}$ – коефіцієнт форми графіка реактивної потужності;

P_c – середнє значення активної потужності за розрахунковий період;

Q_c – середнє значення реактивної потужності.

Величини P_c та Q_c визначаються для кожної лінії як суми середніх потужностей цехів (табл. 3.1), що живляться від конкретного трансформатора.

Таблиця 2.1 – Визначення середніх потужностей P_c і Q_c

Номер трансформатора	Номери цехів	P_c	Q_c
1	6-8	181,3	435,59
2	9,10	118,8	281
3	1	409,5	307,125
4	2,3	379,5	281
5	11,13	349,2	1310
6	12,14,15	154,71	440

Розрахунок реалізовано з використанням таблиць Excel (рис. 2.2 – 2.4).

Для розрахунку втрат електроенергії були використані коефіцієнти форми графіків струму, активної та реактивної потужності, які були отримані на основі статистичного аналізу даних.

Для отримання більш точних результатів розрахунку необхідно вибирати інтервали вимірювання, за які значення середніх потужностей є якомога ближчими до діючих потужностей.

Середні потужності, отримані за інтервал вимірювання в 1 годину, є рівними значенню спожитої електроенергії. Ці потужності можна легко отримати з використанням лічильників активної та реактивної енергії. Значення I_i , як було вказано раніше, може визначатись на основі відомостей про значення величин P_{ci} , Q_{ci} на i -му інтервалі за формулами (2.7) або (2.8).

На рисунку 2.7 наведено розрахунок зниження вартості втрат електроенергії в трансформаторах за умови повної компенсації реактивної потужності ($Q_c = 0$) за допомогою електронних таблиць Excel, а також формули, що використовувались.

Рисунок 2.8 показує, як зменшується вартість втрат електроенергії в кабельних лініях, якщо реактивна потужність повністю компенсується ($Q_c = 0$), на рисунку також наведено формули, які використовувалися для розрахунку [2].

	dP _{хх} , кВт	dP _{кз} , кВт	S _н , кВА	P _с , кВт	Q _с , квар	T, год	кфа	кфр	C, грн/кВт*год.	Ввтр.до, грн	Ввтр.після, грн	Економія, грн
Тр-р № 1	2,45	11	1600	181	436	8760	1,3	1,28	4	141016,7	94211,7	46805
Тр-р № 2	2,45	11	1600	119	281	8760	1,31	1,29	4	109278,4	89494,6	19784
Тр-р № 3	2,45	11	1600	410	307	8760	1,28	1,27	4	150120,4	127214,1	22906
Тр-р № 4	2,45	11	1600	380	281	8760	1,33	1,3	4	144296,6	124204,9	20092
Тр-р № 5	2,45	11	1600	349	1310	8760	1,33	1,3	4	551634,7	118324,5	433310
Тр-р № 6	2,45	11	1600	155	440	8760	1,33	1,3	4	141408,5	92222,7	49186
Всього по трансформаторах												592082,9

Рисунок 2.7 – Визначення вартості зниження втрат електроенергії в трансформаторах підприємства

	кфІдо	кфІпі сля	Рс, кВт	Qс, квар	Т, год	U, кВ	l, км	RO, Ом/км	С, грн/ кВт*год	Ввтр.до , грн	Ввтр.піс ля, грн	Економія, грн
Кл1	1,29	1,28	181,3	435,6	8760	10	0,03	0,05	4	204,4	29,7	174,7
Кл2	1,28	1,27	118,8	281	8760	10	0,03	0,05	4	84,2	12,6	71,6
Кл3	1,28	1,27	409,5	307,1	8760	10	0,09	0,16	4	2132,2	1343,4	788,8
Кл4	1,28	1,27	379,5	281	8760	10	0,09	0,16	4	1814,6	1153,8	660,8
Кл5	1,28	1,27	349,2	1310	8760	10	0,160	0,28	4	47273,4	3087,4	44186,0
Кл6	1,28	1,27	154,71	440	8760	10	0,160	0,28	4	5594,9	606,0	4988,9
Всього по КЛ												50870,8

Рисунок 2.8 – Визначення вартості зниження втрат електроенергії в кабельних лініях підприємства

При розрахунку зниження втрат електроенергії в кабельних лініях слід звернути увагу, що коефіцієнт $k_{\phi I}$, який визначається на основі даних про P_{ci} , Q_{ci} може дещо відрізнятись до і після компенсації. Це пояснюється тим, що після компенсації реактивної потужності величини Q_{ci} будуть меншими, ніж до компенсації.

Рисунок 2.9 показує, скільки коштів підприємство сплачує за спожиту реактивну енергію. Якщо реактивна потужність повністю компенсується, то ця сума дорівнюватиме економії, яку підприємство отримує в результаті зниження споживання реактивної енергії [30].

Wасп, кВт*год	Wрсп, квар*год	tgφ	D, кВт/квар	С, грн/ кВт*год.	Сбаз	В1, грн	В2, грн	ВWр, грн
4647366	7762248	0,75	0,15	4	1,3	4657349	1513638,4	6170987

Рисунок 2.9 – Визначення величини зниження оплати за електроенергію підприємством внаслідок КРП

2.3.2 Аналіз ефективності системи інфрачервоного опалення приміщень підприємства

На підприємстві в цехах використовується водяне опалення. Коли виробничі площі не повністю завантажені, частина тепла витрачається даремно, оскільки опалення здійснюється всього корпусу, а не лише місць, де працюють люди.

Замість існуючої системи водяного опалення пропонується встановити в цехах системи інфрачервоного опалення, які повинні відповідати вимогам, викладеним у [9]. Ці системи мають ряд переваг у порівнянні з традиційними системами водяного опалення [8]:

- обігрівають саме людей і предмети;
- забезпечують екологічно чистий, корисний та економічний обігрів;
- прогрівають саме потрібні ділянки в приміщенні;
- чудово підходять для використання, де необхідний тимчасовий обігрів;
- зігрівають людей навіть при умові відкритих приміщеннях та при вітряній погоді;
- обігрівають складнодоступні ділянки; забезпечують надшвидку передачу тепла (до 30 секунд);
- вітер і протяги не впливають на обігрів;
- тепло можна подавати направлено;
- прості в експлуатації;
- не мають неприємних та шкідливих запахів;
- працюють безшумно;
- не сушать повітря;
- не викликають головного болю;
- не знижують рівень кисню в приміщенні;
- у порівнянні з іншими системами обігріву безпечні щодо можливості

отруєння і займання;

- перешкоджають появі мікроорганізмів і бактерій;
- забезпечують економію паливно-енергетичних ресурсів;
- дозволяють організацію чергового опалення в неробочий час і вихідні дні;

За даними підприємства на потреби опалення та вентиляції в цехах протягом 2022 р. було витрачено $V_2 = 394,5$ тис. м³ природного газу.

У цеху пропонується встановити 10 промислових інфрачервоних обігрівачів потужністю 4 кВт кожний. Ці обігрівачі виробництва фірми EKOSTAR вартістю $B_n = 10000$ грн. кожний. У черговому режимі потужність обігрівача може бути знижена до 1 кВт.

З урахуванням того, що черговий режим потребує на 30% менше електроенергії, ніж основний режим, споживання електроенергії в опалювальний період складе:

$$W = n \cdot (P_1 \cdot t_1 \cdot 100 + P_2 \cdot t_2 \cdot 100 + P_2 \cdot 24 \cdot 50), [\text{кВт/год}] \quad (2.17)$$

де n – кількість обігрівачів;

P_1, P_2 – потужності нагрівача в основному та черговому режимах;

$t_1, t_2, 24$ – час роботи опалювальної системи відповідно в основному, черговому режимі в робочі дні і черговому режимі у вихідні дні, годин;

100, 0 – кількість робочих і вихідних днів в опалювальному періоді;

$$W = 10 \cdot (4 \cdot 20 \cdot 100 + 4 \cdot 4 \cdot 100 + 4 \cdot 24 \cdot 50) = 144000, (\text{кВт}\cdot\text{год}).$$

Річна економія витрат, грн.

$$E = V_2 \cdot \Pi_r - W \cdot \Pi_w, [\text{грн}] \quad (2.18)$$

де Π_r, Π_w – тарифи на газ та електроенергію, відповідно грн./тис. м³ та

грн./кВт·год.).

$$E = 394,5 \cdot 2200 - 144000 \cdot 4 = 291900 \text{ (грн.)}$$

Вартість устаткування:

$$B_y = n \cdot B_n = 10 \cdot 5000 = 50000 \text{ (грн.)} \quad (2.19)$$

Витрати на введення в експлуатацію (вартість проекту, транспортування, монтажу) приймаємо в розмірі $B_{пр.м.} = 40000$ грн. Загальні витрати:

$$K = B_y + B_{пр.м.} = 50000 + 40000 = 90000 \text{ (грн.)}$$

Оцінка простої окупності:

$$T = \frac{K}{E_{випр}} = \frac{90000}{291900} = 0,3 \text{ (року)}$$

Використання інфрачервоних обігрівачів може бути ефективним способом обігріву, оскільки вони мають невеликий термін окупності. Це означає, що підприємство зможе повернути вартість обладнання протягом короткого періоду часу. Крім того, використання інфрачервоних обігрівачів може дати економію коштів підприємства в розмірі близько 300 тис. гривень щороку. [9].

2.3.3 Перевірка ефективності системи освітлення ТОВ-ПІДПРИЄМСТВО «АВІС»

Системи освітлення – це системи, які використовують електроенергію для створення світла. Енергозбереження в системах освітлення можна досягти шляхом оптимізації розрахунку системи, використання більш ефективних джерел світла, використання систем керування освітленням, а також організаційних заходів.

Аудит необхідно провести, оскільки на підприємстві значна частка енергоспоживання припадає на освітлення.

Нижче наведено покрокову інструкцію щодо побудови математичної моделі, яка дозволяє оцінити ефективність заходу з енергозбереження. [6].

Пропонується показник ефективності – значення приведеної річної економії коштів, що визначається за виразом:

$$E_p = \frac{B^{Л1} - B^{Л2}}{T_{роз}} \rightarrow \max, \quad (2.20)$$

Де $B^{Л1}$, $B^{Л2}$ – витрати, що пов'язані з використанням відповідно працюючої і альтернативної ламп за розрахунковий період, грн.;

$T_{роз}$ – розрахунковий період, за який розраховуються витрати в системі освітлення, років:

$$T_{роз} = \frac{T_{\max}}{T_p}, [\text{років}], \quad (2.21)$$

Де T_{\max} – найбільший термін служби порівнюваних ламп, год.;

T_p – річний час роботи системи освітлення, год./рік.

Витрати на діючу систему освітлення за розрахунковий період:

$$B^{Л1} = \left(\text{Окр} > \left\{ \frac{T_{\text{макс}} - T_{\text{зал}}}{T_{\text{л}}} \right\} K_{\text{л}} + P_{\text{лн}} \cdot T_{\text{макс}} \cdot B_{\text{w}} \right) \cdot n, [\text{грн}] \quad (2.22)$$

де $\text{Окр} >$ – символ, що означає округлення результату у фігурних дужках до більшого цілого;

$T_{\text{л}}$ – номінальний термін служби ламп, система освітлення з використанням яких аналізується, год.;

$T_{\text{зал}}$ – залишковий термін роботи діючої лампи до її заміни, год.;

$K_{\text{л}}$ – вартість лампи, грн.;

$P_{\text{лн}}$ – номінальна потужність лампи, кВт.;

B_{w} – тариф на електроенергію, грн./кВт·год.;

n – кількість ламп даного типу в системі освітлення.

Витрати на альтернативну систему освітлення за розрахунковий період:

$$B^{Л2} = \left(\frac{T_{\text{макс}}}{T_{\text{л}}} K_{\text{л}} + P_{\text{лн}} \cdot T_{\text{макс}} \cdot B_{\text{w}} \right) \cdot n - K_{\text{ЛКВ}}, [\text{грн}] \quad (2.23)$$

де $K_{\text{ЛКВ}}$ – ліквідна вартість ламп діючої системи освітлення.

На підприємстві ТОВ-ПІДПРИЄМСТВО 'АВІС' система зовнішнього освітлення складається з 14 люмінесцентних ламп, кожна з яких має потужність 36 Вт. Середня тривалість роботи системи освітлення протягом року становить $T_p = 1000$ год. Тариф на активну електроенергію на підприємстві становить $B_w = 5,5$ грн./(кВт·год.).

Запропоновано замінити менш ефективні ртутні лампи на більш ефективні натрієві. Світлова віддача натрієвих ламп майже вдвічі вища, ніж

у ртутних, тому при заміні ртутної лампи на натрієву потужність лампи можна зменшити майже вдвічі. Наприклад, для заміни люмінесцентних ламп потужністю 36 Вт необхідно встановити ЛЕД потужністю 18 Вт. Характеристики обох видів ламп наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльні характеристики дугових ртутних ламп (ДРЛ) і натрієвих ламп

Лампа	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Термін служби, год.	Цокол ь	Ціна, грн.
ЛЛ	36	2000	20000	G13	175
ЛЕД	18	1800	30000	G13	99

Серед двох типів ламп, які досліджуються, найбільший строк служби є у ЛЕД лампи. Тому $T_{макс} = 30000$ год.

ЛЛ вже працювали 4 000 год., тому залишковий термін роботи до їх заміни приймаємо $T_{зал} = 20000 - 4000 = 16000$ (год).

Витрати на систему освітлення з лампами ДРЛ за розрахунковий період, згідно з (20),

$$B_{ЛЛ} = \left(Окр > \left\{ \frac{30000-16000}{20000} \right\} \cdot 175 + 0.036 \cdot 30000 \cdot 4 \right) \cdot 14 = 62930 \text{ (грн.)},$$

а з ЛЕД лампами, згідно з (21) :

$$B_{ЛЕД} = \left(\frac{30000}{30000} \cdot 99 + 0.018 \cdot 30000 \cdot 4 \right) \cdot 14 = 31626 \text{ (грн.)}.$$

Розрахунковий період визначення витрат в системі освітлення:

$$T_{роз} = \frac{30000}{1000} = 30 \text{ (років)}.$$

Витрати, розраховані за виразами (20), (21), є приблизними, оскільки вони ґрунтуються на припущенні, що всі лампи прослужать 30 років. Реальні терміни служби ламп можуть відрізнятися, тому фактичні витрати можуть відрізнятися.

За виразом (18) визначимо приведену до одного року економію коштів внаслідок заміни в системі освітлення ЛЛ на ЛЕД

$$E_p = \frac{62930 - 31626}{30} = 1043.46 \text{ (грн.)}.$$

Простий термін окупності модернізованої системи освітлення

$$T = \frac{K_{НЛ} \cdot n}{E_p} = \frac{99 \cdot 14}{1043.46} = 1,32 \text{ (року)}.$$

Тому, оскільки річна економія коштів в наслідок модернізації системи освітлення дорівнює більше 1 тис. грн., а термін окупності капіталовкладень складає 1,32 року, модернізація системи освітлення шляхом заміни ЛЛ на ЛЕД є ефективною.

Аналогічно був проведений аналіз заміни ламп розжарення на люмінесцентні.

2.4 Висновки до розділу 2

Для підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на підприємстві АВІС необхідно:

- встановлення засобів компенсації реактивної потужності.
- заміна ртутних ламп на натрієві, а також ламп розжарення на люмінесцентні .
- модернізація водяної системи опалення цехів підприємства на інфрачервоні обігрівачі.

РОЗДІЛЗ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК В МЕРЕЖАХ ТОВ-ПІДПРИЄМСТВА «АВІС»

3.1 Використання БСК в системах електропостачання

БСК, або батареї статичних конденсаторів, - це тип електроємності, який використовується для покращення якості електропостачання. Вони можуть використовуватися для зменшення втрат енергії, підвищення надійності та стабілізації напруги [24].

БСК можуть використовуватися в різних точках системи електропостачання, включаючи:

- Розподільні мережі: БСК можуть використовуватися для зменшення втрат енергії в розподільних мережах. Вони роблять це, поглинаючи реактивну потужність, яка генерується лініями електропередачі та обладнанням споживачів.
- Трансформатори: БСК можуть використовуватися для підвищення ефективності трансформаторів. Вони роблять це, зменшуючи струм холостого ходу трансформатора.
- Вимірювальні щити: БСК можуть використовуватися для підвищення точності вимірювань у вимірювальних щитах. Вони роблять це, компенсуючи реактивну потужність, яка генерується вимірювальним обладнанням.

БСК пропонують низку переваг для систем електропостачання, включаючи [25]:

- Зменшення втрат енергії: БСК можуть зменшити втрати енергії в розподільних мережах, трансформаторах та вимірювальних щитах. Це може призвести до економії витрат на електроенергію.
- Підвищення надійності: БСК можуть підвищити надійність систем електропостачання, зменшуючи втрати енергії та запобігаючи перевантаженням.
- Стабілізація напруги: БСК можуть стабілізувати напругу в системах електропостачання, зменшуючи коливання напруги. Це може покращити роботу електрообладнання та захистити його від пошкоджень.

БСК є ефективним способом покращення якості електропостачання. Вони можуть використовуватися в різних точках системи електропостачання, щоб зменшити втрати енергії, підвищити надійність та стабілізувати напругу.

3.1.1 БСК для компенсації реактивних навантажень та ефекти, що мають місце при цьому.

Зменшення втрат енергії

Реактивні навантаження споживають реактивну потужність, яка не перетворюється в активну потужність, а лише створює магнітні поля. Це призводить до додаткових втрат енергії в електромережах.

БСК виробляють реактивну потужність, яка компенсує реактивну потужність, споживану реактивними навантаженнями. Це зменшує струм холостого ходу трансформаторів та ліній електропередачі, що призводить до зменшення втрат енергії [30].

Підвищення надійності

Реактивні навантаження можуть призвести до перевантаження трансформаторів та ліній електропередачі. Це може призвести до знеструмлення.

БСК зменшують перевантаження трансформаторів та ліній електропередачі, компенсуючи реактивну потужність, споживану реактивними навантаженнями. Це підвищує надійність електромереж, запобігаючи знеструмленням.

Стабілізація напруги

Реактивні навантаження можуть призводити до коливань напруги в електромережах. Це може пошкодити електрообладнання.

БСК стабілізують напругу в електромережах, компенсуючи реактивну потужність, споживану реактивними навантаженнями. Це покращує роботу електрообладнання та захищає його від пошкоджень [25].

Додаткові ефекти

Крім того, БСК можуть призвести до таких додаткових ефектів:

- Зменшення вібрації: БСК зменшують вібрацію електрообладнання, що може призвести до його подовження терміну служби.
- Зменшення шуму: БСК зменшують шум, що створюється електрообладнанням.

Ефекти, що мають місце при компенсації реактивних навантажень БСК

При компенсації реактивних навантажень БСК мають місце такі ефекти:

- Зменшення струму холостого ходу: БСК компенсують реактивну потужність, споживану реактивними навантаженнями. Це зменшує струм холостого ходу трансформаторів та ліній електропередачі.
- Зменшення втрат енергії: Зменшення струму холостого ходу призводить до зменшення втрат енергії в електромережах.
- Підвищення коефіцієнта потужності: Компенсація реактивних навантажень підвищує коефіцієнт потужності, що зменшує витрати на оплату електроенергії.
- Підвищення надійності: Компенсація реактивних навантажень підвищує надійність електромереж, запобігаючи перевантаженням трансформаторів та ліній електропередачі.
- Стабілізація напруги: Компенсація реактивних навантажень стабілізує напругу в електромережах, покращуючи роботу електрообладнання та захищаючи його від пошкоджень.

3.1.2 Вплив БСК на відхилення напруги

Напруга в електричних мережах залежить від величини струму і опору провідників. Реактивна потужність, що компенсується конденсаторними установками (КУ), зменшує реактивний струм, що створюється електродвигунами та іншими індуктивними навантаженнями. Це призводить до зменшення реактивної складової опору провідників, що підвищує напругу в мережі [25].

Залежність напруги від реактивної потужності:

$$U = I * (R + jX) \quad (3.1)$$

де:

- U - напруга, В;
- I - струм, А;
- R - активний опір провідників, Ом;
- X - реактивний опір провідників, Ом.

Якщо реактивний опір провідників дорівнює нулю, то напруга в мережі буде дорівнювати величині реального струму, що протікає по провідниках, помноженого на активний опір провідників.

При компенсації реактивної потужності реактивний опір провідників зменшується. Це призводить до зменшення реактивної складової опору провідників, що підвищує напругу в мережі.

Приклад

Припустимо, що в мережі з активним опором провідників 1 Ом і реактивним опором провідників 2 Ом протікає струм 1 А. Тоді напруга в мережі складе:

$$U = 1 \text{ А} * (1 \text{ Ом} + j2 \text{ Ом}) = 1 \text{ В} * (1 + j2) = 1 + j2 \text{ В} \quad (3.2)$$

Амплітудне значення напруги в цьому випадку складе:

$$U_{\text{амп}} = \sqrt{1^2 + 2^2} = \sqrt{5} \text{ В} \quad (3.3)$$

Фазовий кут напруги в цьому випадку складе:

$$\phi = \arctan(2/1) = \arctan(2) = 63,43^\circ \quad (3.4)$$

При компенсації реактивної потужності реактивний опір провідників зменшиться до 0 Ом. Тоді напруга в мережі складе:

$$U = 1 \text{ А} * (1 \text{ Ом} + j0 \text{ Ом}) = 1 \text{ В} * (1 + j0) = 1 \text{ В} \quad (3.5)$$

Амплітудне значення напруги в цьому випадку складе:

$$U_{\text{амп}} = \sqrt{1^2 + 0^2} = 1 \text{ В} \quad (3.6)$$

Фазовий кут напруги в цьому випадку складе:

$$\phi = \arctan(0/1) = 0^\circ \quad (3.7)$$

Як видно з прикладу, компенсація реактивної потужності призводить до підвищення амплітудного значення напруги в мережі. Фазовий кут напруги також змінюється, але цей вплив менш істотний.

Додаткові фактори, що впливають на вплив КУ на напругу

На вплив КУ на напругу впливають наступні фактори:

- Величина реактивної потужності, що компенсується КУ. Чим більше реактивної потужності компенсується, тим більше зростає напруга в мережі.
- Векторна координація КУ. При правильному виборі векторної координації КУ зростання напруги в мережі буде максимальним.

- Нелінійність навантажень. Нелінійні навантаження, такі як електродвигуни, випрямлячі та інші пристрої, створюють додаткові втрати в мережі, що може призвести до зниження впливу КУ на напругу.

3.1.3 Вплив БСК на несиметрію напруг

Конденсаторні установки (КУ) можуть впливати на несиметрію в електромережах. Пов'язано це з тим, що вони мають різний вплив на напругу в різних фазах мережі [25].

Принцип дії

Конденсатори створюють ємнісний струм, який протікає по фазам мережі. Цей струм має протилежну фазу до індуктивного струму, що створюється електродвигунами та іншими індуктивними навантаженнями.

Якщо в мережі є несиметричність, то в фазах з більшою навантаженням протікає більший індуктивний струм. Це призводить до збільшення несиметрії. КУ компенсують реактивну потужність в фазах з більшою навантаженням. Це призводить до зменшення індуктивного струму в цих фазах. В результаті несиметрія зменшується.

Види несиметрії

Несиметрія в електричних мережах може бути двох видів:

- Напруга. Несиметрія напруги виникає внаслідок неоднакової напруги в різних фазах мережі.

- Струм. Несиметрія струму виникає внаслідок неоднакового струму в різних фазах мережі.

КУ можуть впливати на обидва види несиметрії.

Вплив на несиметрію напруги

КУ можуть впливати на несиметрію напруги в двох напрямках:

- Позитивний вплив. При компенсації реактивної потужності в фазах з більшою навантаженням напруга в цих фазах підвищується. Це призводить до зменшення несиметрії напруги.
- Негативний вплив. При неправильному виборі векторної координації КУ напруга в фазах з меншою навантаженням може знизитися. Це може призвести до збільшення несиметрії напруги.

Вплив на несиметрію струму

КУ можуть впливати на несиметрію струму в двох напрямках:

- Позитивний вплив. При компенсації реактивної потужності в фазах з більшою навантаженням індуктивний струм в цих фазах зменшується. Це призводить до зменшення несиметрії струму.
- Негативний вплив. При неправильному виборі векторної координації КУ індуктивний струм в фазах з меншою навантаженням може збільшитися. Це може призвести до збільшення несиметрії струму.

Додаткові фактори, що впливають на вплив КУ на несиметрію

На вплив КУ на несиметрію впливають наступні фактори:

- Величина реактивної потужності, що компенсується КУ. Чим більше реактивної потужності компенсується, тим більше зменшується несиметрія.
- Векторна координація КУ. При правильному виборі векторної координації КУ зменшення несиметрії буде максимальним.
- Нелінійність навантажень. Нелінійні навантаження, такі як електродвигуни, випрямлячі та інші пристрої, створюють додаткові втрати в мережі, що може призвести до зниження впливу КУ на несиметрію.

3.1.4 Вплив БСК на несинусоїдальність напруги

Конденсаторні установки (КУ) можуть впливати на несинусоїдність в електричних мережах. Це пов'язано з тим, що вони створюють нелінійні струми, які можуть призвести до спотворення синусоїдальної форми напруги.

Принцип дії

Конденсатори створюють ємнісний струм, який має нелінійну залежність від напруги. Цей струм має гармоніки, які не присутні в індуктивному струмі. Якщо в мережі є несинусоїдність, то КУ можуть посилити її. Це пов'язано з тим, що ємнісний струм має більш високу гармонічну складову, ніж індуктивний струм.

Види несинусоїдності

Несинусоїдність в електричних мережах може бути двох видів:

- Гармонічна несинусоїдність. Гармонічна несинусоїдність виникає внаслідок наявності гармонік в струмі або напрузі.
- Фазові спотворення. Фазові спотворення виникають внаслідок неоднаковості фазових кутів гармонік в струмі або напрузі.

КУ можуть впливати на обидва види несинусоїдності.

Вплив на гармонічну несинусоїдність

КУ можуть впливати на гармонічну несинусоїдність в двох напрямках:

- Позитивний вплив. При компенсації реактивної потужності в фазах з більшою навантаженням індуктивний струм в цих фазах зменшується. Це призводить до зменшення гармонійної несинусоїдності.
- Негативний вплив. При неправильному виборі векторної координації КУ гармонійна несинусоїдність може посилитися. Це пов'язано з тим, що ємнісний струм має більш високу гармонічну складову, ніж індуктивний струм.

Вплив на фазові спотворення

КУ можуть впливати на фазові спотворення в двох напрямках:

- Позитивний вплив. При компенсації реактивної потужності в фазах з більшою навантаженням індуктивний струм в цих фазах зменшується. Це призводить до зменшення фазових спотворення.
- Негативний вплив. При неправильному виборі векторної координації КУ фазові спотворення можуть посилитися. Це пов'язано з тим, що ємнісний струм має більш високу гармонічну складову, ніж індуктивний струм.

Додаткові фактори, що впливають на вплив КУ на несинусоїдність

На вплив КУ на несинусоїдність впливають наступні фактори:

- Величина реактивної потужності, що компенсується КУ. Чим більше реактивної потужності компенсується, тим більше зменшується несинусоїдність.
- Векторна координація КУ. При правильному виборі векторної координації КУ зменшення несинусоїдності буде максимальним.
- Нелінійність навантажень. Нелінійні навантаження, такі як електродвигуни, випрямлячі та інші пристрої, створюють додаткові гармоніки в струмі, що може призвести до посилення впливу КУ на несинусоїдність.

Посилення несинусоїдності при використанні КУ

Якщо КУ використовуються в мережі з високим рівнем несинусоїдності, то вони можуть посилити її. Це пов'язано з тим, що ємнісний струм має більш високу гармонічну складову, ніж індуктивний струм.

3.1.5 Вплив БСК на стійкість роботи двигунів

Вплив БСК на стійкість роботи двигунів є позитивним. БСК компенсують реактивну потужність, споживану двигунами. Це зменшує струм холостого ходу двигунів, що призводить до таких позитивних ефектів [23]:

- Зменшення втрат енергії: Зменшення струму холостого ходу призводить до зменшення втрат енергії в електромережах.
- Підвищення коефіцієнта потужності: Компенсація реактивних навантажень підвищує коефіцієнт потужності, що зменшує витрати на оплату електроенергії.

- Підвищення надійності: Компенсація реактивних навантажень підвищує надійність електромереж, запобігаючи перевантаженням трансформаторів та ліній електропередачі.

Крім того, компенсація реактивних навантажень БСК може призвести до таких додаткових ефектів, які позитивно впливають на стійкість роботи двигунів:

- Зменшення вібрації: БСК зменшують вібрацію двигунів, що може призвести до їх подовження терміну служби.
- Зменшення шуму: БСК зменшують шум, що створюється двигунами.

Конкретні приклади впливу БСК на стійкість роботи двигунів:

- В промисловості: Компенсація реактивних навантажень БСК може призвести до зменшення вібрації та шуму електродвигунів, що може призвести до їх подовження терміну служби.
- У житлових будинках: Компенсація реактивних навантажень БСК може призвести до зменшення коливань напруги в електромережах, що може захистити електродвигуни від пошкоджень.

3.2 Аналіз існуючих математичних моделей та способів автоматичного керування потужністю КУ

Автоматичне керування потужністю конденсаторних установок (КУ) є важливим завданням для забезпечення якості електропостачання. Воно дозволяє підтримувати необхідний рівень компенсації реактивної потужності в мережі, що забезпечує [26]:

- Зменшення активних втрат в мережі;

- Підвищення напруги в мережі;
- Зменшення несиметрії в мережі;
- Зменшення несинусоїдності в мережі;
- Поліпшення стійкості мережі.

Математичні моделі

Для розробки алгоритмів автоматичного керування потужністю КУ необхідно мати математичну модель, яка описує роботу мережі з КУ. Такі моделі можуть бути лінійні або нелінійні.

Лінійні моделі

Лінійні моделі є більш простими у розробці та реалізації, ніж нелінійні. Вони ґрунтуються на припущенні, що в мережі присутні тільки лінійні навантаження та пристрої.

Лінійні моделі можуть бути використані для розробки простих алгоритмів автоматичного керування, таких як:

- Керування за заданим значенням реактивної потужності;
- Керування за заданим значенням напруги.

Нелінійні моделі

Нелінійні моделі є більш точними, ніж лінійні, але їх розробка та реалізація є більш складною. Вони ґрунтуються на припущенні, що в мережі присутні нелінійні навантаження та пристрої, такі як електродвигуни, випрямлячі та інші.

Нелінійні моделі можуть бути використані для розробки більш складних алгоритмів автоматичного керування, таких як:

- Керування за заданим значенням якості електропостачання;
- Керування за заданим значенням економічного ефекту.

Способи автоматичного керування

Способи автоматичного керування потужністю КУ можна розділити на два основних типи [26]:

- Централізоване керування. При централізованому керуванні всі КУ в мережі керуються з одного центрального пункту.
- Децентралізоване керування. При децентралізованому керуванні кожна КУ керується самостійно.

Централізоване керування

Централізоване керування є більш ефективним, ніж децентралізоване. Воно дозволяє підтримувати необхідний рівень компенсації реактивної потужності в мережі з більшою точністю. Алгоритми централізованого керування можуть бути розроблені на основі лінійної або нелінійної моделі мережі.

Децентралізоване керування

Децентралізоване керування є більш простим у реалізації, ніж централізоване. Воно не вимагає наявності центрального пункту управління. Алгоритми децентралізованого керування можуть бути розроблені на основі лінійної або нелінійної моделі кожної КУ.

Вибір типу керування

Вибір типу керування залежить від таких факторів, як:

- Розмір мережі. При великому розмірі мережі доцільніше використовувати централізоване керування.
- Складність мережі. При складній мережі доцільніше використовувати нелінійну модель.
- Вимоги до якості електропостачання. При високих вимогах до якості електропостачання доцільніше використовувати централізоване керування з нелінійною моделлю.

Загальні тенденції розвитку

Тенденції розвитку автоматичного керування потужністю КУ включають в себе:

- Використання нелінійних моделей. Нелінійні моделі дозволяють забезпечити більш точне керування і покращити якість електропостачання.
- Використання інтелектуальних алгоритмів. Інтелектуальні алгоритми дозволяють адаптувати керування до змінних умов мережі.
- Використання розподілених систем керування. Розподілені системи керування дозволяють підвищити надійність і ефективність керування

3.3 Математична модель, що контролює реактивну потужність введення

Управління компенсуючим пристроєм БСК здійснюється в дискретний час. Це означає, що рішення про управління приймається на основі параметрів стану системи в певний момент часу, а потім реалізується протягом наступного інтервалу часу. Крок дискретизації - це інтервал часу, протягом якого параметри стану вважаються незмінними. Для більшості підприємств

крок дискретизації становить 1 годину. Для підприємств із суттєвою динамічністю електричних режимів крок дискретизації може бути меншим. Оскільки управління КП має певні особливості, для розв'язання задачі оптимального управління використовують спеціальний підхід. Цей підхід полягає в тому, що задачу оптимального управління розбивають на послідовність задач математичного програмування.

Для того, щоб врахувати дискретність управління БСК (обумовлену дискретністю потужностей ступенів БСК) математична модель, побудова якої передбачається методологією математичного програмування, має бути дискретною.

Для оцінки ефективності управління компенсуючим пристроєм БСК пропонується використовувати критерій мінімальної реактивної потужності на вводі підприємства [27]. Цей критерій дозволяє забезпечити найбільш ефективне використання наявних потужностей БСК та зниження витрат підприємства на реактивну енергію. Для пошуку рішень управління компенсуючим пристроєм БСК в режимі мінімальних навантажень системи пропонується використовувати дискретні математичні моделі, які відповідають критерію ефективності та технічним обмеженням і особливостям конструктивного виконання КП (3.8) та (3.9)

$$\begin{cases} Q' - \Delta Q_n \cdot X \rightarrow \min \\ X + \bar{X} = n \\ Q' - \Delta Q_n \cdot X \geq Q_{don} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\begin{cases} Q' - \Delta Q_n \cdot X \rightarrow \min \\ X + \bar{X} = n \\ U' + \Delta U_n \cdot X \leq U_{\max. don.} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

де Q' - природне (в припущенні, що всі БСК відключені) споживання реактивної потужності по даному приєднанню;

ΔQ_n - матриця номінальних потужностей ступенів БСК розмірністю $l \times m$, де m – кількість секцій БСК;

$Q_{\text{доп}}$ - допустима реактивна потужність споживання чи генерації;

X - вектор управління, що складається з нулів (“0”-означає, що відповідну секцію БСК доцільно виключити) та одиниць (“1”- відповідну секцію БСК – включити), його розмірність $m \times l$;

n - одинична стовпцева матриця, розмірністю $m \times l$;

U' - напруга на шинах ТП в припущенні, що всі конденсаторні батареї виключені;

$U_{\text{max. доп}}$ - максимально допустимий рівень напруги;

ΔU_n - матриця добавок напруги, що мають місце внаслідок включення відповідних секцій БСК (номінальної потужності), розмірністю $l \times m$;

\bar{X} - вектор, кожна компонента якого \bar{x}_i пов'язана з відповідною компонентою вектора $X - x_i$ так, що коли $x_i = 1$, то $\bar{x}_i = 0$ і навпаки;

\vee - знак логічної операції „АБО”.

Математичні моделі (3.8) та (3.9) є дискретними, оскільки компенсуючі пристрої БСК можуть працювати лише в дискретному режимі, включаючи або відключаючи ступені з дискретними параметрами. Ці моделі дозволяють знайти оптимальні вектори управління, які визначають, які ступені БСК слід включати, щоб забезпечити мінімальне споживання реактивної потужності приєднанням. Мінімальне значення реактивної потужності, яке може бути компенсовано БСК, обмежується величиною $Q_{\text{доп}}$. Це обмеження

контролюється відповідною умовою моделі (3.13). Необхідність цього обмеження може бути викликана, наприклад, тим, що зворотні потоки реактивної потужності можуть призвести до порушення роботи електричних мереж, або тим, що підприємство може бути зобов'язано регулювати реактивну потужність в енергорайоні. Допустиме значення напруги в вузлі приєднання БСК забезпечується технічним обмеженням математичної моделі (3.14). Це обмеження відповідає вимогам ГОСТ 13109-97, які встановлюють допустимі відхилення напруги на споживачах.

Має сенс розробити набір математичних моделей для всіх можливих випадків управління компенсуючим пристроєм БСК. Вибір конкретної моделі залежить від алгоритму, який використовується для визначення вектора управління в дискретний момент часу.

При локальному управлінні БСК на рівні вузла навантаження в режимі мінімальних навантажень системи можливе порушення обмежень моделей (3.8) та (3.9). Тому при визначенні оптимального вектора управління обов'язково необхідно одночасно контролювати обмеження по потужності вводу та напрузі у вузлі.

І математична модель для такого управління за номінальними параметрами БСК запишеться в наступному вигляді:

$$\begin{cases} Q' - \Delta Q \cdot X \rightarrow \min \\ X + \bar{X} = n \\ Q' - \Delta Q \cdot X \geq Q_{\text{дон}} \\ U' + \Delta U \cdot X \leq U_{\text{max.дон.}} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

Дослідження показали, що метод динамічного програмування є найбільш ефективним для розв'язання задач управління компенсуючим пристроєм БСК [27]. Цей метод використовується для розв'язання багатоетапних задач, але може мати складності, якщо є технічні обмеження. Для даної задачі етапом

Крок 3. Якщо множина D_k пуста, то обчислення припиняються, інакше дається оцінка наступного стану системи в припущенні, що по чергово включаються ступені БСК, що є компонентами множини D_k . Для остаточного включення вибирається ступінь, що забезпечує максимальний ефект, фіксується відповідний стан системи та здійснюється перехід до кроку 2.

На рис.3.2 представлена блок-схема такого алгоритму.

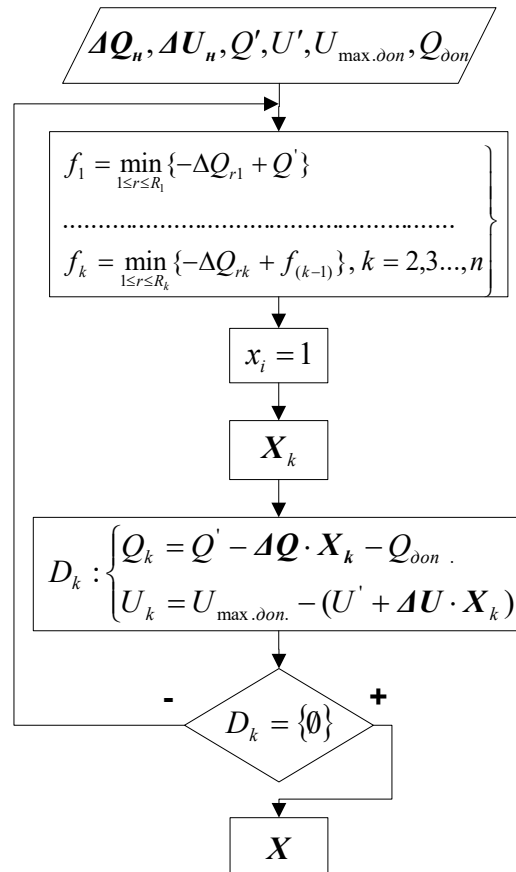


Рис.3.2 Блок-схема алгоритму знаходження вектора управління БСК за номінальними потужностями.

Розв'язки, що знаходяться за математичними моделями (3.13), (3.14) не враховують можливих післядій (зміну рівнів напруги, характеристик стійкості вузлів навантаження, зміна електроспоживання навантаженням за статичними характеристиками). Так як вважається, що в деяких випадках такими післядіями можна знехтувати .

Тестовий приклад розрахунку вектора управління за номінальними параметрами БСК [23].

Для ілюстрації функціонування алгоритмів і з метою порівняння ефективності управління за різними математичними моделями на кожному з етапів ускладнення умов оптимальності розв'язку будемо розв'язувати наступний тестовий приклад:

Приклад 3.1.

Для схеми, представленої на рис. 3.3, необхідно включити відповідні секції БСК таким чином, щоб забезпечити мінімальні втрати активної потужності в лінії, при цьому напруга на збірних шинах не повинна перевищувати допустиме значення $U_{\text{мах.доп}} = 405 \text{ В}$.

Реактивна потужність вводу повинна бути не меншою, ніж $Q_{\text{доп}} = 0 \text{ кВАр}$. Для вирішення задачі необхідні параметри схеми та режиму, які наведені на рис.

3.2. До них відносяться $U_{\text{факт}}$, S – фактична напруга та потужність навантаження, а також $\Delta Q_{\text{н}}$ – матриця номінальних потужностей секцій БСК.

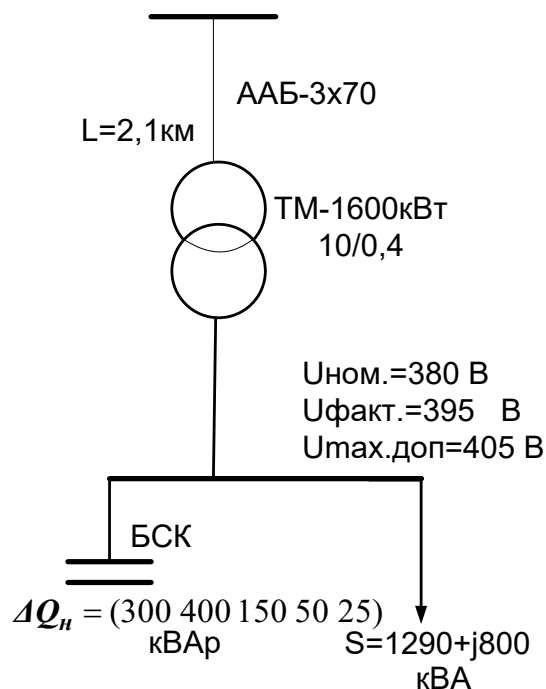


Рис. 3.3 Розрахункова схема і вихідні дані тестової задачі.

Розв'яжемо цю задачу за математичною моделлю (3.15) згідно алгоритму її аналізу (алгоритм 1):

Розв'язування. Математична модель для умов цього прикладу формалізується в наступному вигляді:

$$\begin{cases} 800 - (300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 25) \cdot X \rightarrow \min \\ X + \bar{X} = n \\ 800 - (300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 25) \cdot X \geq 0 \\ 395 + (5,45 \ 7,26 \ 2,72 \ 0,91 \ 0,45) \cdot X \leq U_{\max.\text{дон.}} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{cases} \quad (3.12)$$

де $X^t = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5)$;

$\bar{X}^t = (\bar{x}_1 \ \bar{x}_2 \ \bar{x}_3 \ \bar{x}_4 \ \bar{x}_5)$;

$n^t = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)$;

$$\Delta U = \Delta Q_n \cdot \frac{x_\Sigma}{U_n} = (300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 25) \cdot \frac{0,0069 \cdot 10^{-3}}{380} = (5,45 \ 7,26 \ 2,72 \ 0,91 \ 0,45) \text{ В} ;$$

$$x_\Sigma = x_m + x_l = 0,0066 + 0,0003 = 0,0069 \text{ Ом} ;$$

x_m – реактивний опір трансформатора;

x_l – реактивний опір кабельної лінії.

Етап 1:

Відповідно до (3.10) виконаємо оцінку станів системи:

$$f_1 = \min ((800 - 300) (800 - 400) (800 - 150) (800 - 50) (800 - 25)) = 400 \text{ кВАр} \quad (3.13)$$

отже найбільш ефективним на 1-му етапі є включення 2-ї ступені, $x_2=1$,

$X^t=(0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$.

Сформуємо D_I :

$$Q_1 = f_1 = 400 \text{ кВАр} \quad (3.14)$$

де Q_1 - некомпенсована вхідна реактивна потужність (або максимальна потужність ступені БСК, включення якої на 2-му етапі не призведе до порушення обмежень моделі (3.16));

$$U_1 = 405 - \left[395 + (5,45 \ 7,26 \ 2,72 \ 0,91 \ 0,45) \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right] = 405 - (395 + 7,26) = 2,74 \text{ В} \quad (3.15)$$

де U_1 - максимально-допустима добавка напруги від включення ступені БСК на 2-му етапі.

Вимогам (3.16) та (3.17) відповідає наступна множина допустимих до включення ступенів D_1 :

$$D_1 = (150 \ 50 \ 25) \quad (3.16)$$

Так як множина D_1 не пуста, то переходимо до наступного етапу.

Етап 2:

$$f_2 = \min ((400 - 150) (400 - 50) (400 - 25)) = 250 \text{ кВАр} \quad (3.17)$$

$$x_1=1, \ X_2^t=(0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0).$$

$$D_2 : \begin{cases} Q_2 = f_2 = 100 \text{ кВАр} \\ U_2 = 405 - (395 + (7,26 + 2,72)) = 0,02 \text{ В} \end{cases} \quad (3.18)$$

$D_2 = \{\emptyset\}$ - розрахунок завершено.

Отримані результати зведемо до табл. 3.1

Таблиця 3.1 Результати розрахунку оптимального вектора управління БСК

Оптимальний вектор управління	Сумарна потужність секцій БСК, кВАр		Реактивна потужність вводу, кВАр		Напруга на збірних шинах, В		Висновок
	Номинальна	Реальна	Що відповідає ном.потужнос-тям секцій	Що відповідає реальним потужностям БСК	Що відповідає ном.потужнос-тям секцій БСК	Що відповідає реальним потужностям БСК	
(0 1 1 0 0)	550	----	250	-----	404,98	-----	Керування допустиме

3.4. Математичні моделі, що контролюють вплив КУ на рівень напруги у вузлі мережі

Застосування конденсаторних установок для КРП має ряд техніко-економічних переваг порівняно з іншими компенсуючими пристроями [27]. Ці переваги полягають у наступному :можливість використання як для низької, так для середньої і високої напруги;

- простота експлуатації;
- простота монтажу.
- малі втрати активної потужності (0,0025-0,005 кВт/кВАр);
- низька питома вартість (за 1 кВАр);

Незважаючи на ряд переваг, статичні конденсатори мають і недоліки. Одним з них є зміна продуктивності конденсатора при напрузі та частоті, відмінних від номінальних [23]:

$$Q_k = Q_n \cdot \left(\frac{U_\phi}{U_n} \right)^2 \cdot \left(\frac{f_\phi}{f_n} \right) \quad (3.19)$$

де Q_k - фактична потужність, що генерується БСК;

U_ϕ та f_ϕ - фактичні напруга та частота в місці приєднання БСК;

Q_n , U_n та f_n - відповідно номінальні значення потужності БСК, напруги, та частоти.

Оскільки частота мережі змінюється в незначних межах ($\pm 0,2$ Гц), її впливом можна знехтувати, і рівняння (3.1) прийме вигляд:

$$Q_k = Q_n \cdot \left(\frac{U_\phi}{U_n} \right)^2 \quad (3.20)$$

Коли напруга мережі знижується, реактивна потужність, яка генерується БСК, також знижується. Це призводить до додаткового зниження напруги.

Коли напруга мережі підвищується, реактивна потужність, яка генерується БСК, також підвищується. Це призводить до додаткового підвищення напруги [24]. Це явище називається від'ємним регулюючим ефектом БСК. Дослідження умов доцільності врахування залежності $Q_{\text{БСК}}(U)$.

Відхилення напруги в розподільчих мережах відбувається постійно протягом доби, і обумовлене такими причинами:

- добові, сезонні і технологічні зміни струму навантаження;
- зміна потужності генераторів і компенсуючі пристрої;
- зміни схеми і параметрів електричної мережі.

Аналіз рівняння (3.20) свідчить, що вже при відхиленнях напруги в межах $\pm 5\%$, що регламентовано ГОСТ 13109-97 потужність ступенів БСК зміниться на $\pm 10\%$. Що може призвести до суттєвих проблем з точністю у розв'язанні, і, як наслідок, до обрання недопустимих рішень або до зниження ефективності управління. В дійсності, відхилення напруги у вузлі установки БСК може бути і більшим, що пов'язане з втратами напруги від вузла живлення до приймача електроенергії.

З рівняння (3.20) та відомого рівняння втрат напруги в мережі можна вивести співвідношення, що дозволять визначити умови, за яких доцільно при управлінні БСК враховувати залежність $Q_k(U)$ [22].

Визначимо відносний рівень напруги k_u , якщо не врахувати $Q_k(U)$ в розрахунках виникне абсолютна похибка по потужності ξ_Q , кВАр, та параметри, що визначають цю похибку:

$$\xi_Q = Q_k - Q_n = Q_n \cdot (k_u^2 - 1) \quad (3.21)$$

З (3.21) виразимо k_u :

$$k_u = \sqrt{1 + \frac{\xi_Q}{Q_n}} \quad (3.22)$$

де $k_u = \frac{U_\phi}{U_n}$ - відносний рівень напруги у вузлі, в.о.

За співвідношенням (3.22), задавшись похибкою ξ_Q і варіюючи Q_n в пакеті MathCAD було отримано графічну інтерпретацію $k_u(Q_n)$, рис.3.4.

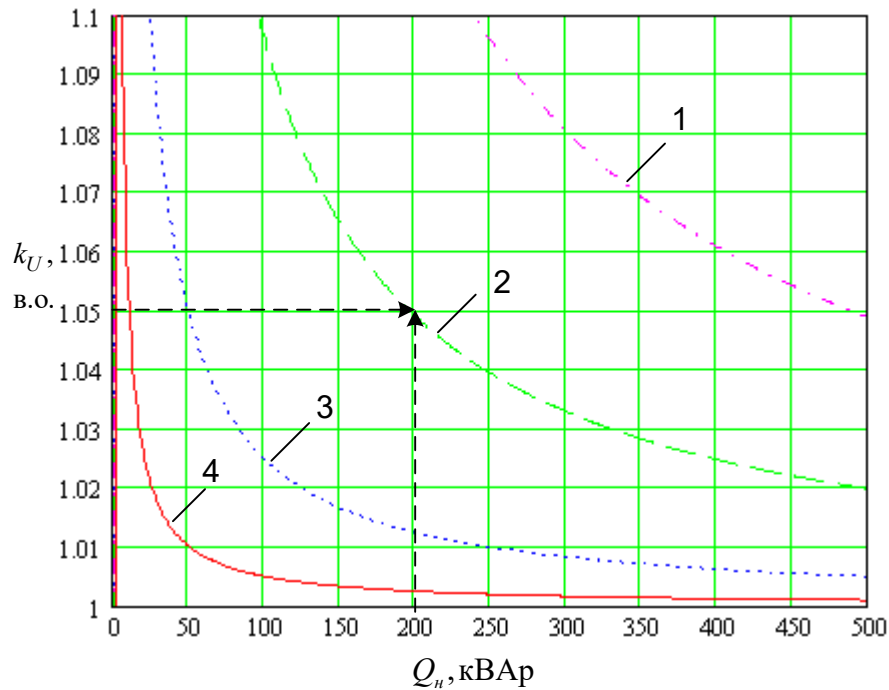


Рис.3.4 Функціональні залежності $k_u(Q_n)$

1 – при $\xi_Q = 50$ кВАр; 2 – при $\xi_Q = 20$ кВАр;
 3 – при $\xi_Q = 5$ кВАр; 4 – при $\xi_Q = 1$ кВАр

З графіків, рис.3.4, видно, що, наприклад, при напрузі $1,05 U_n$ та номінальній потужності БСК 200 кВАр її потужність насправді становить $200+20=220$ кВАр. В такому випадку відомі системи управління БСК в процесі роботи не враховують факт збільшення потужності на 20 кВАр.

3.5 Висновки до розділу 3

1. Батареї статичних конденсаторів, що рекомендовані для зменшення активних втрат на підприємстві, здійснюють такі вплив на електричні режими в системі електропостачання підприємства

- розвантажують мережі від реактивної потужності;
- поліпшення якості електропостачання за рахунок впливу на напругу
- вплив на несиметрію

– вплив на синусоїдність

2. Серед зазначених впливів можна указати на такі, що потребують контролю при компенсації реактивних навантажень, інакше будуть мати місце технічно недопустимі результати

3. Прийняти рішення в компенсації реактивних навантажень у випадках, коли відхилення напруги перевищує допустимі за стандартом значення, можна користуючись розробленою математичною моделлю

4. Для того, щоб уникнути негативних впливів використання КБ, необхідно здійснювати контроль кінцевого рішення щодо їхнього застосування.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи

Суть техніко-економічного обґрунтування роботи полягає у проведенні попередніх техніко економічних розрахунків, які підтверджуються доцільність капіталовкладень в даний енергетичний об'єкт [6].

Доцільність реалізації проекту обґрунтовується:

- задоволення потреб суспільства продукцією підприємства;
- створення нових робочих місць та працевлаштуванням населення;
- надання необхідних послуг;
- прибутковістю;
- окупністю капіталовкладень, і т.д.

Вихідні дані для розрахунку:

- виручка від реалізації продукції $V = 301$ (млн. грн./рік);
- середньооблікова чисельність персоналу $Ч = 150$;
- середньорічний фонд заробітної плати одного працівника разом з нарахуванням на соціальні потреби $З_{Пл}$, грн./рік;
- питома заробітна плата в собівартості продукції $d = 12\%$;
- первісна або балансова вартість основних фондів $\Phi = 1000$ млн грн;
- нормований коефіцієнт ефективності капіталовкладень: $E_H = 0,1$;
- нормований термін окупності, років: $T_{ок} = 10$.

- середньомісячна зарплата одного працівника $Z = 6700$ грн./міс.

Середньорічний фонд заробітної плати одного працівника:

$$Z_{\text{ПІ}} = Z \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 6700 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 0,0804 \text{ (млн грн/рік)}, \quad (4.1)$$

Повна собівартість продукції:

$$C = \frac{1,38 \cdot Z \cdot Z_{\text{ПІ}}}{d} = \frac{1,38 \cdot 150 \cdot 0,0804}{0,12} = 138,69 \text{ (млн грн/рік)}, \quad (4.2)$$

Балансовий прибуток:

$$\Pi = B - C = 301 - 138,69 = 162,31 \text{ (млн грн/рік)}, \quad (4.3)$$

Визначаємо термін окупності даного підприємства:

$$T_{op} = \frac{\Phi}{\Pi} = \frac{1000}{162,31} = 6,16 \text{ (років)}, \quad (4.4)$$

$$T_{op} = 6,16 < T_{ок} = 10 \text{ (років)}.$$

Даний термін не перевищує нормативний, отже розрахунок системи електропостачання є прибутковим.

Відповідно до схеми електричної мережі підприємства, показаної на рис. 4.1 та вихідних даних у табл. 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
ГПП	ТМ-6300	2	5026,184
ТП 1	ТМ-1600/10	2	832,08
ТП 2	ТМ-1600/10	2	1230,73
ТП 3	ТМ-1600/10	2	1945,09

Таблиця 4.2 – Відомості про кабельні лінії

Лінія	Провідник	Довжина, м
ПСТ-ГПП	АПвБв-35	900+900
ГПП-ТП1	АПвБв-10	30+30
ГПП-ТП2	АПвБв-10	90+90
ГПП-ТП3	АПвБв-10	160+160

Рекомендації до виконання:

1. Оплату за спожиту електроенергію розраховують по тарифам:
5,5 грн/кВт·год
2. Прийняти норму амортизації – 6%,
3. Нарахування:
 - в пенсійний фонд – 33,3%,
 - у фонд зайнятості – 1,5%,
 - на соціальне страхування – 1,5%.

4.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання

Розрахунок капіталовкладень в лінії електропередач виконуємо за вартістю кабелів та вартістю їх прокладання [6].

Капітальні вкладення для ліній електропередач:

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

де $K_{пит}$ – питома вартість на 1 км лінії, тис. грн./км;

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

L – довжина лінії електропередачі, км.

n – кількість кабелів в траншеї, шт.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок капіталовкладень для ліній електропередач

Назва лінії	Марка кабелю	Кількість	Довжина, км	$K_{пит}$, тис.грн	$K_{прок}$, тис.грн	$K_{л}$, тис.грн
ГПП-ТП1	АПВБВ-35	2	1,8	187,30	18	706,68
ПС-ГПП	АПВБВ-10	6	0,56	137,67	14	470,4112
Разом						1177,091

Капітальні вкладення для електричних підстанцій [6]:

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

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

$K_{\text{пост}}$ – постійні витрати, що практично не залежать від потужності підстанції і пов’язані з устроєм території, зі створенням майстерень, лабораторій і диспетчерських пунктів, з будівництвом житла тощо, тис. грн. Постійні витрати прийняти у розмірі 20 % від повної вартості всіх підстанцій.

Результати розрахунків заносимо в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок капіталовкладень для електричних підстанцій

№	Тип т-ра	Кількість	Код, тис.грн	$K_{\text{пост}}$, тис.грн	$K_{\text{пс}}$, тис.грн
ГПП	ТМ6300/10	2	3500	700	4200
ТП 1	ТМ- 1600/10	2	750	150	900
ТП 2	ТМ- 1600/10	2	750	150	900
ТП 3	ТМ- 1600/10	2	750	150	900
Разом:					6900

Розрахуємо сумарну вартість вимикачів та роз’єднувачів. Відповідно до схеми, зображеної на рис. 4.1, кількість вимикачів 35 кВ – 2 шт., кількість вимикачів 10 кВ – 8 шт. Вартість вимикача 35 кВ рівною 75 тис. грн. Вартість вимикача 10 кВ рівною 50 тис. грн.

Сумарна вартість вимикачів:

$$K_B = 8 \cdot 50 + 2 \cdot 75 = 550 \text{ (тис. грн.)} \quad (4.7)$$

Вартість підстанцій з вимикачами та роз’єднувачами:

$$K_{nc} = 550 + 6900 = 7450 \text{ (тис. грн.)}. \quad (4.8)$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства.

$$K = 1177,091 + 7450 = 8627,091 \text{ (тис. грн.)}. \quad (4.9)$$

4.3 Розрахунок поточних витрат

4.3.1 Розрахунок потреби в робочій силі

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

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

де Π – кількість ремонтів даного виду за рік, на одиницю обладнання;

$t_{\text{норм}}$ – норма трудомісткості поточного ремонту або огляду, люд.-год. [4];

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

Проводимо розрахунки трудомісткості ремонту електрообладнання та заносимо їх результати до табл.4.6.

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

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

де 12 – кількість місяців у році;

$t_{\text{пр}}$ – планова (таблична) трудомісткість поточного ремонту одиниці устаткування люд.-год [4];

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

h – кількість обладнання в групі.

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

Таблиця 4.5 – Трудомісткість поточного ремонту та огляду

Обладнання	К-ть	Поточний ремонт			Огляд		
		К-сть на одиницю облад. рем/рік	Норма трудомісткості люд.год.	Заг. трудмісткість люд.год.	К-сть на одиницю облад. огл/рік	Норма трудомісткості люд.год.	Заг. трудмісткість люд.год.
Вимикачів 10 кВ	8	1	12	96	12	2	1843,2
Вимикач 35кВ	2	1	16	32	12	2	153,6
ТМ-6300/10	2	0,33	300	198	12	20	9504
ТМ-1600/10	6	1	16	96	12	1	691,2
Кабельна лінія АПвЭБВ-35	1,8	1	14,4	25,92	12	3,6	16,796

Кабельна лінія АПвЭБВ-10	0,56	1	156,6	87,696	12	37,8	185,634
Разом				535,62			12394,431

Таблиця 4.6 – Трудомісткість технічного обслуговування і загальна трудомісткість

Обладнання	К-ть	Технічне обслуговування				Загальна	
		Змінність роботи	Коеф. складності	К-ть місяців	Загал. трудомісткість люд.год.	трудомісткість обслуговування люд.год.	
Вимикачів 10 кВ	8	2	0,1	12	350,2	2193,4	
Вимикачів 35 кВ	2	2	0,1	12	24,5	178,1	
ТМ-6300/10	2	2	0,1	12	2851	12355	
ТМ-1600/10	6	2	0,1	12	2200,4	2891,6	
Кабельна лінія АПвЭБВ-35	1,8	2	0,1	12	15,9	32,69616	
Кабельна лінія АПвЭБВ-10	0,56	2	0,1	12	185,6	371,2349	
Разом					5627,6	18022,03	

Відповідно знаходимо кількість експлуатаційних робітників, чол.:

$$H_{обс} = \frac{18022,03}{1900 \cdot 1,05} = 9,033, \quad (4.12)$$

та персоналу для ремонтних робіт, чол.:

$$H_{мр} = \frac{535,62}{1900 \cdot 1,1} = 0,256. \quad (4.13)$$

Приймаємо за нормами ПУЕ [1] $H_{тр} = 2$ чол., $H_{обс} = 10$ чол.

4.3.2 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:

$$\Phi_e = H_{обс} \cdot \beta_n \cdot t_{ге} \cdot \Phi_d, \quad (4.14)$$

Годинну тарифну ставку рекомендується розраховувати за формулою:

$$t_{ге} = ((K3 + K4) / 2) \cdot C_1, \quad (4.15)$$

де $K3$, $K4$ – тарифні коефіцієнти III та IV розрядів, відповідно, [22];

C_1 – годинна тарифна ставка, що відповідає I розряду, визначається за формулою:

$$C_i = \frac{z_{\min} \cdot k_{г.і}}{\Phi_H}, \quad (4.16)$$

$$C_1 = 6700 \cdot 1 / 176 = 38,06 \text{ (грн./год.)}$$

Тоді годинна тарифна ставка 3,5 розряду становитиме:

$$t_{ге} = ((1,18 + 1,27) / 2) \cdot 38,06 = 46,62 \text{ (грн./год.)}, \quad (4.17)$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = 10 \cdot 0,9 \cdot 46,62 \cdot 1900 = 797202 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.18)$$

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

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

$$t_{\text{гр}} = ((K4+K5)/2) \cdot C_1, \quad (4.20)$$

де K4, K5 – тарифні коефіцієнти IV та V розрядів, відповідно, [22].

Розраховуємо годинну тарифну ставку 4,5 розряду:

$$t_{\text{гр}} = ((1,27+1,36)/2) \cdot = 46,62 = 61,30 \text{ (грн./год.)},$$

$$\Phi_p = 535,62 \cdot 61,30 = 32833,5 \text{ (грн./рік)}.$$

Фонд основної заробітної плати, грн./рік:

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

де Φ – тарифний фонд Φ_e експлуатаційних робітників або фонд прямої заробітної плати Φ_p ремонтного персоналу, грн./рік;

0,01 - частка доплат за роботу у святкові дні;

0,05 - частка доплат за роботу в нічний час;

α – частка преміальних доплат для відповідної категорії робітників.

Величина основної заробітної плати для експлуатаційних робітників:

$$\Phi_{oe} = 797202 \cdot (1+0,05+0,01+0,2) = 1004474,52 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.22)$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = 32833,5 \cdot (1+0,05+0,01+0,25) = 43011,95 \text{ (грн./рік)}. \quad (4.23)$$

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

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

$$\Phi_{оed} = 1004474,52 \cdot 1,15 = 1155145,69 \text{ (грн./рік)},$$

$$\Phi_{\text{орд}} = 43011,95 \cdot 1,15 = 49463,74 \text{ (грн./рік)}.$$

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

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

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

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

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

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

Розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{\text{зпе}} = 1155145,69 \cdot \left(1 + \frac{33+1,5+1,5}{100} \right) = 1570998,13 \text{ (грн./рік)},$$

і ремонтному персоналу:

$$C_{\text{зпр}} = 49463,74 \cdot \left(1 + \frac{33+1,5+1,5}{100} \right) = 67270,68 \text{ (грн./рік)}.$$

Таблиця 4.7 – Зведені витрати по ЗП

Показник		Заробітна плата
Ф _е	Заробітна плата експлуатаційного персоналу	797202 грн
Ф _р	Заробітна плата ремонтного персоналу	32833,5 грн
Ф _{о_е}	Величина основної ЗП експлуатаційного персоналу	1004474,52 грн
Ф _{о_р}	Величина основної ЗП ремонтного персоналу	43011,95 грн
Ф _{о_{ед}}	Основний фонд ЗП експлуатаційного персоналу	1155145,69 грн
Ф _{о_{рд}}	Основний фонд ЗП ремонтного персоналу	49463,74 грн
С _{зп_е}	Витрати ЗП експлуатаційного персоналу	1570998,13
С _{зп_р}	Витрати по ЗП ремонтного персоналу	67270,68

4.3.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються

Необхідні для розрахунку дані заносимо до табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Розрахунок вартості матеріалів, включених у норму витрат

Вартість матеріалу	Грн
ТМ-6300/10	45860
ТМ-1600/10	64790
Кабельна лінія АПвЭБВ-35	3000
Кабельна лінія АПвЭБВ-10	4000

Вартість матеріалу на технічну операцію:

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

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

T_i – трудомісткість обслуговування i -го виду трансформаторів,

L – сумарна довжина кабелів,

$C_{Л0}$ – питома вартість матеріалів на обслуговування кабелів.

Отже, вартість матеріалів на ремонт: $C_{мпр} = 154121,5$ (грн/рік);

і вартість матеріалів на технічне обслуговування: $C_{мто} = 1001789,75$ (грн/рік).

Отже, можна розрахувати:

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

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

$$C_{обс} = 628534,86912 + 1001789,75 = 1630324,6191 \text{ (грн/рік);}$$

та витрати на їх поточний ремонт, грн/рік:

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

$$C_{пр} = 43017,3933 + 154121,5 = 197138,8933 \text{ (грн/рік).}$$

4.3.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат

Знаходимо амортизаційні відрахування за формулою:

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

де a – норма амортизації, %

K – капіталовкладення, грн.

$$C_a = 0,06 \cdot 8627091 = 517625,46 \text{ (грн/рік).}$$

Окремою складовою в кошторисі річних поточних витрат є інші витрати:

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

де β_{ip} - коефіцієнт відрахувань на інші витрати.

$$C_{ip} = 0,25 \cdot (1630324,6191 + 197138,8933 + 517625,46) = 586272,24 \text{ (грн/рік)}.$$

Після визначення всіх елементів витрат підприємства, необхідних для передавання і розподілення електроенергії, зведемо їх в таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 – Кошторис річних поточних витрат

Стаття витрат	Величина витрат, грн	Структура, % до підсумку
Витрати по експлуатації енергоустаткування і мереж	1630324,6191	55,61
Витрати на поточний ремонт	197138,8933	6,7
Витрати на амортизацію	517625,46	17,65
Інші витрати	586272,24	20
Разом	2931361,212	100

4.4. Розрахунок собівартості електроенергії

4.4.1 Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію

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

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

де P_p – розрахункова потужність і-го цеху, кВт;

T_{mi} – річна тривалість використання максимуму активного навантаження і-ого цеху, год.;

K_{Π} – коефіцієнт попиту.

Для прикладу визначимо річні витрати активної електроенергії для цеху:

$$E_{a1} = 80 \cdot 2500 = 200000 \text{ кВт год./ рік .}$$

Аналогічно визначаємо річні витрати активної електроенергії для інших цехів. Результати розрахунків заносимо в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Річні витрати активної електроенергії по цехах

Назва цеху	К-сть змін	Тм, год.	cos φ	Рр, кВт	Еа, кВт·год./рік
Завод полімерного упакування	1	2500	0,65	450	1125000
Цех (друкарня)	1	2500	0,8	80	200000
Завод безалкогольних напоїв	1	2500	0,6	390	975000
Очисні споруди	1	2500	0,7	290	725000
Очисні споруди	1	2500	0,675	210	525000
Котельня	1	2500	0,67	80	200000
Склад №1	1	2500	0,65	110	275000

Склад №2	1	2500	0,66	90	225000
Склад №3 (гот. Прод)	1	2500	0,655	120	300000
Склад №4 (гот. Прод)	1	2500	0,65	100	250000
Оліє-очисний завод	1	2500	0,64	260	650000
Цех фасування олії	1	2500	0,64	160	400000
Цех по виробництву майонезу	1	2500	0,65	280	700000
Холодильно-компресорна станція	1	2500	0,65	80	200000
Завод по виготовленню печива	1	2500	0,63	101	252500
Разом					7002500

Необхідно також визначити річні витрати реактивної електроенергії.

Втрати електроенергії в лініях розраховуємо так:

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

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

τ – час максимальних втрат, год./рік.

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

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

де r_0 – питомий опір однієї фази кабелю, Ом / км [22].

Для лінії ЦРП –ТП1. Струм лінії живлення, А:

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{м}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}}. \quad (4.34)$$

Виконуємо розрахунок втрат електроенергії в інших лініях і результати заносимо до табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Втрати електроенергії в лініях

Лінія	Марка кабелю	К-сть ліній	Довжина, км	I_M , А	R, Ом	τ , год./рік	ΔE_L , кВт·год.
ПСТ-ГПП	АПвБВ-35	2	0,9	390	0,225	4591,78176	2417,573097
ГПП-ТП1	АПвБВ-10	2	0,03	330	0,0093	4591,78176	84,55306933
ГПП-ТП2	АПвБВ-10	2	0,09	330	0,0279	4591,78176	253,659208
ГПП-ТП3	АПвБВ-10	2	0,16	330	0,0496	4591,78176	450,9497031
Разом							3206,735077

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

$$\Delta E_T = n \cdot \Delta P_{xx} \cdot T_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{kz} \cdot \left(\frac{S_\phi}{S_H} \right)^2 \cdot \tau, \quad (4.35)$$

де n - кількість трансформаторів;

ΔP_{kz} і ΔP_{xx} – 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_ϕ - фактична потужність, яка передається через трансформатори, кВА;

S_H - номінальна потужність одного трансформатора, кВА.

Проводимо розрахунок і результати зводимо у табл. 4.12.

Таблиця 4.12 – Втрати енергії в трансформаторах

№	Тип	шт	ΔP_{xx} , кВт	ΔP_k , кВт	S_p , кВА	S_n , кВА	ΔE_T , кВт·год./рік
ГПП	ТМ- 6300/10	2	7,6	28	5026,184	6300	1487214,338
ТП1	ТМ- 1600/10	2	2,8	18	832,08	1600	229604,1552
ТП2	ТМ- 1600/10	2	2,8	18	1230,73	1600	339607,6362
ТП3	ТМ- 1600/10	2	2,8	18	1945,09	1600	536728,1346
Разом							2593154,264

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

$$E = E_a + \Delta E_{л} + \Delta E_T; \quad (4.36)$$

$$E = 7002500 + 3206,735077 + 2593154,264 = 9598860,99$$

(кВт·год./рік).

Оплата за спожиту електроенергію:

$$\Pi = 5,5 \cdot 9598860,99 = 52793735,44 \text{ (грн.)}; \quad (4.37)$$

4.4.2 Розрахунок собівартості електроенергії

Собівартість корисної, споживаної підприємством кіловат-години електроенергії, коп./кВтг:

$$S = \frac{C_{\text{сум}} \cdot 100}{E_a}, \quad (4.38)$$

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

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

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

$$C_{\text{сум}} = \Pi + C_{\text{п}}, \quad (4.39)$$

де Π – оплата за спожиту електроенергію;

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

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

$$C_{\text{п}} = C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a + C_{\text{ір}}, \quad (4.40)$$

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

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

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

$$C_{\text{п}} = 1630324,6191 + 197138,8933 + 517625,46 + 586272,24 = 2931361,2124 \quad (\text{грн/рік}).$$

Отже, сумарні витрати:

$$C_{\text{сум}} = 52793735,44 + 2931361,2124 = 55725096,65 \quad (\text{грн/рік}).$$

Отже, собівартість електроенергії:

$$S = \frac{557250,9665 \cdot 100}{9598860,99} = 5,8 \quad (\text{грн./кВт} \cdot \text{год}).$$

Для наочності результати розрахунків зводимо в табл. 4.12.

Таблиця 4.12 –Результати розрахунків

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
Кількість корисно спожитої електроенергії	E_a	7002500	кВт·год
Річне споживання електроенергії із втратами	E	9598860,99	кВт·год
Плата за електроенергію	Π	52793735,44	грн
Витрати на передачу і розподіл електроенергії	C_{Π}	2931361,2124	грн
Сумарні витрати підприємства	$C_{\text{сум}}$	55725096,65	грн
Собівартість електроенергії	S	580,05	коп/кВт·год

4.5 Висновки до розділу 4

В цьому розділі магістерської кваліфікаційної роботи був проведений розрахунок основних техніко-економічних показників спроектованої системи електропостачання підприємства та розраховано собівартість електричної енергії, яка склала 580,05 коп/кВт·год.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Магістерська дипломна робота направлена на розробку заходів з контролю та поліпшення показників енергоефективності Товариства з обмеженою відповідальністю «АВІС», місто Вінниця. Під час монтажу та подальшої експлуатації елементів системи електропостачання потрібно передбачати заходи із запобігання негативному впливу на працівників таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів [1, 2].

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

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

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

5.1 Технічні рішення з безпечної організації будівельно-монтажних робіт на об'єкті

5.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць під час робіт на комутаційних апаратах і комплектному розподільчому устаткуванні

В КРУ з обладнанням на візках, що викочуються, забороняється без зняття напруги з шин та їх заземлення проникати у відсіки комірок, не відокремлених суцільними металевими перегородками від шин або від безпосередньо з'єданого з КРУ обладнання.

Під час роботи у відсіку комірки КРУ візок з обладнанням необхідно викотити і шторку відсіку, в якому струмопровідні частини залишилися під напругою, замкнути на замок і вивісити плакат «Стій! Напруга». У відсіку вивісити плакат «Працювати тут!». В КРУ, оснащених заземлювальними ножами, на приєднаннях, схема яких виключає можливість подавання напруги з іншого боку, відсутність напруги перед вмиканням цих ножів допускається перевіряти прослідковуванням схеми в натурі.

Під час робіт зовні КРУ на підключеному до нього устаткуванні або на ПЛ чи КЛ, що відходять, візок з вимикачем необхідно викотити з комірки; верхню шторку або дверцята замкнути на замок і вивісити плакати «Не вмикати! Працюють люди» або «Не вмикати! Робота на лінії».

В комірках КРУ під час робіт допускається:

- за наявності блокування між заземлювальними ножами і візком з вимикачем встановлювати візок в контрольне положення після вмикання цих ножів;

- за відсутності блокування між заземлювальними ножами і візком вимикача, а також заземлювальних ножів в комірках, встановлювати візок в проміжне між контрольним і викоченим положенням за умови замикання його на замок в цьому положенні. Візок може бути встановлений в проміжне положення незалежно від наявності заземлення на приєднанні.

Встановлювати в контрольне положення візок з вимикачем для його випробування і роботи в колах керування і захисту дозволяються в тих випадках, коли роботи зовні КРУ на ПЛ і КЛ, що відходять, або на підключеному до них устаткуванні, враховуючи механізми, з'єдані з

електродвигунами, не проводять або на цьому приєднанні встановлене заземлення в комірці КРУ.

5.1.2 Електробезпека

Для живлення технологічного обладнання та системи освітлення на будівництві об'єкту використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у будівлі є струмопровідною.

Улаштування та експлуатація електроустановок повинні здійснюватися відповідно до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (наказ від 25.07.2006 № 258 Мінпаливенерго України), Правил улаштування електроустановок (наказ від 28.08.2006 № 305 Мінпаливенерго України), НПАОП 0.00-1.29, НПАОП 40.1-1.01, НПАОП 40.1-1.07, НПАОП 40.1-1.21, НПАОП 40.1-1.32. Електробезпека на будівельному майданчику повинна забезпечуватися відповідно до вимог ГОСТ 12.1.013.

Улаштування і технічне обслуговування тимчасових і постійних електричних мереж на виробничій території повинен здійснювати персонал, що має відповідну кваліфікаційну групу з електробезпеки.

Розведення тимчасових електромереж напругою до 1000 В, що використовуються для електрозабезпечення об'єктів будівництва, необхідно виконати ізольованими проводами чи кабелями на опорах або конструкціях, розрахованих на відповідну механічну міцність під час прокладання по них проводів і кабелів на висоті над рівнем землі та настилу не менше ніж, м: 2,5 – над робочими місцями; 3,5 – над проходами; 6,0 – над проїздами.

Світильники загального освітлення напругою 127 В і 220 В необхідно встановлювати на висоті не менше ніж 2,5 м від рівня землі, підлоги, настилу.

За висоти підвішування менше ніж 2,5 м необхідно згідно з ПУЕ (наказ Мінпаливенерго України від 28.08.06 № 305) використовувати напругу не вище ніж 25 В. Живлення світильників напругою до 25 В повинно здійснюватися від знижувальних трансформаторів, машинних перетворювачів, акумуляторних батарей. Застосовувати для зазначених цілей автотрансформатори, дроселі та реостати забороняється. Корпуси знижувальних трансформаторів і їх вторинні обмотки слід заземлити. Переносні світильники мають бути тільки промислового виготовлення. Інші світильники застосовувати в якості переносних забороняється.

Вимикачі, автомати та інші комутаційні електричні апарати, що застосовуються на відкритому повітрі або у вологих цехах, повинні бути у пожежо- вибухозахищеному виконанні. Усі електропускові пристрої слід розміщувати так, щоб унеможлиблювався пуск машин, механізмів і устаткування сторонніми особами. Забороняється вмикання декількох струмоприймачів одним пусковим пристроєм. Розподільні щити і рубильники необхідно закривати на замок.

Металеві будівельні риштування, металеві огорожі місць, де виконуються роботи, полиці та лотки для прокладання кабелів і проводів, рейкові колії вантажопідіймальних кранів і транспортних засобів з електричним приводом, корпуси устаткування, машин і механізмів з електроприводом необхідно заземлювати відповідно до Правил улаштування електроустановок одразу після їх встановлення на місце до початку виконання будь-яких робіт.

Струмопровідні частини електроустановок повинні бути ізольовані, огорожені чи розміщені в місцях, недоступних для випадкового дотику до них. Захист електричних мереж і електроустановок від несанкціонованого втручання на виробничій території необхідно забезпечити за допомогою автоматичних вимикачів відповідно до НПАОП 40.1-1.32.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні встановлюють оптимальну та допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення (таблиця 4.1).

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони та зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

3. Для забезпечення нормованих значень руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

Таблиця 5.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	до 75%	не більше 0,3

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими

забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил при свердлінні отворів і різанні металевих виробів їх ГДК наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони в кабіні проектувальника установки

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

Для забезпечення параметрів мікроклімату та складу повітря робочої зони відповідно до проектом передбачено-періодичне провітрювання приміщень та використання засобів індивідуального захисту.

5.2.3 Виробниче освітлення

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення у виробничих приміщеннях. Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «б».

Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 5. 3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харакка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	б	середній малий	темний середній	500	200	1,5	0,9

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

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

5.2.4 Виробничий шум

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

Основним джерелом шуму є механічний інструмент: дріль, перфоратори, зварювальний апарат. Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях в виробничих приміщеннях і на території підприємств представлені в таблиці 4.4.

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

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

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом

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

Для зниження шуму потрібно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.
- організувати перерви в роботі (15 хвилин), після кожної години роботи з пристроями що є джерелом шуму;

5.2.5 Виробничі вібрації

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються насосні агрегати, вентилятори, дрелі, болгарки, перфоратори, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	ДБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
За	Z_0, Y_0, X_0	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружним демпферуєчим низом.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [1]. Робота електромонтажника потребує значних фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кГ/м) – до 290; зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кГ/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) – 13000; при загальному навантаженні (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – до 44000; маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кГ – до 30 кГ; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 40000; при регіональному навантаженні(участь рук та

плечового суглоба) – до 20000; статичне навантаження (кг/с): двома руками (чоловіки) – до 70000; за участю м'язів тулуба та ніг – до 100 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаємного розташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни; перебування у вимушеній позі до 10%, в позі «стоячи» – до 60% часу зміни; нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 51-100 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 8, вертикалі – 4 км.

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи – рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією; сприймання інформації та їх оцінка – сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів; розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, контроль, перевірка завдання; характер виконуваної роботи – робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності

Сенсорні навантаження: зосередження (%за зміну) – більше 75; щільність сигналів (звукові за 1 год) – більше 300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; ступінь ризику для власного життя – вірогідний; ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи конденсаторних установок в умовах впливу загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Система керування (КУ) може використовуватися в будь-який час, як у мирний, так і в особливий період. На її роботу можуть негативно впливати надзвичайні ситуації (НС) різного типу. До таких НС відносяться стихійні лиха (повені, шторми, блискавки, урагани, зливи, ожеледиця), іонізуюче випромінювання, електромагнітне випромінювання (ЕМІ) та інші. Тому для забезпечення надійної роботи системи КУ необхідно забезпечити її захист від усіх можливих НС.

Радіація може викликати в апаратурі системи КУ як зворотні, так і незворотні процеси. Зворотні процеси можуть призвести до порушення роботи елементів схеми, а незворотні - до пошкодження вузлів. Іонізуюче випромінювання може змінити всі електричні та експлуатаційні характеристики елементної бази системи.

Вплив ЕМІ на обладнання залежить від амплітуди наведеного імпульсу напруги чи струму та електричної міцності обладнання. ЕМІ може викликати пробиття ізоляції, випалення елементів електросхем, коротке замикання в пристроях. Найчастіше пошкоджуються вхідні кола електронних блоків. Ці пошкодження можуть призвести до виходу з ладу вузлів і елементів системи КУ. Крім того, потік електронів, проходячи через елементи, створює вільні носії

електричних зарядів. Переміщення цих носіїв може призвести до виникнення помилкового імпульсу, який спричинить помилкове спрацювання системи.

Отже, у цій частині розділу необхідно провести аналіз безпеки роботи системи КУ в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу, а також розробити заходи щодо підвищення цієї безпеки.

Електронна апаратура містить елементи, виготовлені з таких матеріалів: метали, неорганічні діелектрики, провідники та різноманітні сполуки (діелектрики, смоли тощо). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань, оскільки в них уже є вільні носії заряду.

Експлуатація системи КУ в умовах іонізуючого випромінювання може призвести до її пошкодження або навіть виходу з ладу. Автоматизована система КУ складається з багатьох компонентів, основними з яких є транзистори, резистори, конденсатори та мікросхеми. Зважаючи на характеристики цих компонентів, розроблено таблицю 5.6 максимально допустимих

потужностей доз гамма-випромінювання, які не спричинять пошкодження системи.

5.3.1 Дослідження безпеки роботи системи конденсаторних установок в умовах впливу іонізуючого випромінювання

Таблиця 5.6 – Максимально допустимі потужні дози гамма випромінювання для елементів системи КУ

№	Блоки системи КУ	Елементи блоків системи керування	$P_{зв, i}, P/год$	$P_{зв, P/год}$
1	Блок регулятора реактивної потужності	Мікросхема АВВ-CapControl	10^5	10^5
		Транзистор IRF540	10^6	
		Резистор M100R-2W	10^7	
2	Блок конденсаторний контактор	Транзистор IRF520	10^6	
		Тиристор IRG4PH40	10^5	
3	Блок конденсатора	Конденсатор МКК400-D-50-21	10^8	

Вивчаючи дані таблиці 5.6, ми можемо визначити, які елементи системи керування є найбільш вразливими до впливу іонізуючого випромінювання. Такі елементи починають проявляти ознаки пошкодження при інтенсивності випромінювання 10^5 P/год.

Граничне значення рівня радіації, при якому система керування барабанної сушарки буде працювати, визначається по формулі:

$$P_{гр} = K \cdot P_{зв} \cdot K_{посл}, \quad (5.1)$$

де $P_{зв}$ – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін у найуразливішому елементі схеми;

K – коефіцієнт надійності ($K=0,94$);

$K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення виробничого приміщення ($K_{посл} = 1$).

$$P_{гр} = 0,94 * 4,71 * 1 = 4,42 \text{ (Р/год)}$$

Отже, система керування, що розробляється, буде безпечно працювати при рівні радіації, який не перевищує 4,42 Р/год.

Визначимо допустимий час роботи блоки системи КУ $t_{д}$ в заданих умовах за формулою

$$t_{д} = \left(\frac{D_{зр} \cdot k_{осл} + 2 \cdot P_{1\max} \cdot \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_{1\max}} \right)^2,$$

$$td = \left(\frac{10^5 * 1 + 2 * 4.42 * \sqrt{1}}{2 * 4.42} \right)^2 = 1.27 * 10^8 \text{ (год)}.$$

Отже, блок системи КУ тривалий час буде безпечно працювати за дій іонізуючого випромінювання.

5.3.2 Дослідження безпеки роботи системи конденсаторних установок в умовах дії електромагнітного імпульсу

1. Горизонтальна складова напруженості електромагнітного поля:

$$E_{Г} = 10^{-3} E_{В},$$

$$E_{Г} = 10^{-3} \cdot 10,27 \text{ кВ} = 10,27 \text{ В}.$$

2. Максимальні довжини струмопровідних частин радіоелектронної апаратури :

$$l_{Г} = 0,20 \text{ м}; l_{В} = 0,15 \text{ м}.$$

3. Напруги, наведені в вертикальних та горизонтальних струмопровідних частинах КУ:

$$U_B = E_\Gamma \cdot l_B, U_\Gamma = E_B \cdot l_\Gamma.$$

$$U_B = E_\Gamma \cdot l_B = 10,27 \cdot 0,15 = 1,54 \text{ В}, U_\Gamma = E_B \cdot l_\Gamma = 10270 \cdot 0,20 = 2054 \text{ В}.$$

4. Допустиму напругу живлення генератора електричних коливань визначимо за формулою:

$$U_d = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}} N}{100} = 12 + \frac{12 * 30}{100} = 15,6 \text{ (В)}$$

де $U_{\text{ж}} = 12$ – напруга живлення РЕА, (В); $N = 30$ – допустиме відхилення у відсотках.

5. Визначаємо коефіцієнти безпеки:

$$K_{\text{БВ}} = 20 \lg \frac{U_d}{U_B} = 20 \lg \frac{12,6}{1,54} = 20,11 \text{ дБ},$$

$$K_{\text{БГ}} = 20 \lg \frac{U_d}{U_\Gamma} = 20 \lg \frac{12,6}{2054} = -42,38 \text{ дБ}.$$

6. Оскільки коефіцієнти безпеки $K_{БВІ} < 40$ дБ і $K_{БГІ} < 40$ дБ, то КУ будуть нестійким в роботі в умовах дії ЕМІ. Результати розрахунку заносимо до таблиці.

7. Оскільки коефіцієнти безпеки $K_{БВІ} < 40$ дБ і $K_{БГІ} < 40$ дБ, то КУ будуть нестійким в роботі в умовах дії ЕМІ. Результати розрахунку заносимо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Результати дослідження стійкості роботи КУ в умовах дії електромагнітного імпульсу

Блоки	$U_{Д}, (В)$	$E_{В}, (В/м)$	$E_{Г}, (В/м)$	$U_{В}, (В)$	$U_{Г}, (В)$	$K_{БВ.і}, (дБ)$	$K_{БГ.і}, (дБ)$
КУ	15,6	10270	10,27	1,54	2054	20.11	-42,38

7. Розробка заходів захисту конденсаторних установок від небезпечних чинників надзвичайних ситуацій

8. Розрахунок необхідної товщини захисного екрана зі сталі:

$$A = 5,2 * t_{min} * \sqrt{f} \text{ дБ},$$

Де t – товщина стінки екрана, см $f = 15$ кГц.

$$A_{min} = 40 - K_{б.min} = 40 - (-42.38) = 82.38 \text{ дБ, тоді}$$

$$t_{min} = \frac{A_{min}}{\sqrt{f} * 5.2} = \frac{82.38}{\sqrt{15000} * 5.2} = 0.129 \text{ см.}$$

Окрім того, для захисту конденсаторних установок від радіоактивного та електромагнітного випромінювань та інших чинників можна вжити таких заходів:

- використання в апаратурі радіаційно-стійких елементів і матеріалів;
- застосування для приміщень різних загальних екранів або активного захисту від дії радіації;
- використання схем, малочутливих до зміни електричних параметрів;
- зменшення чутливості перемикальних схем до зміни вхідних сигналів і напруг джерел живлення;
- зниження напруги живлення на аноді і збільшення негативного зміщення сіток газорозрядних приладів;

- застосування пристроїв, що вимикають радіотехнічні схеми на час дії радіації;
- збільшення відстані між елементами, які знаходяться під навантаженням та ін.

5.3.3 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи системи конденсаторних установок в умовах надзвичайних ситуацій

Система КУ може бути пошкоджена внаслідок надзвичайних ситуацій, таких як повені, буревії та обледеніння. Для запобігання цьому необхідно регулярно проводити профілактичні ремонтні роботи, щоб підвищити надійність електронних блоків і сенсорів. Крім того, слід дотримуватися правил техніки безпеки та використовувати програмну та апаратну надлишковість, щоб зменшити ймовірність збоїв.

Для боротьби з впливом іонізуючого опромінення використовують алюмінієві сплави, леговані елементами з високим атомним номером (лантаноїдами і рідкоземельними елементами), сплави на основі тугоплавких і рідкоземельних елементів і багат шарові матеріали. Також для боротьби з впливом іонізуючого випромінювання можна використати метод, що полягає в захисному покритті радіоелектронної апаратури, які піддаються впливу іонізуючого випромінювання захисне покриття виконане у вигляді наноструктури, яка включає сукупність атомів рідкоземельних елементів, введених в структуру армованої атомно-молекулярної металічної матриці, або утворює її захисний шар.

За попередніми розрахунками, система КУ може бути нестійкою до впливу електромагнітних перешкод або іонізуючого випромінювання. У цьому випадку

необхідно вжити заходів для підвищення безпеки її роботи, зокрема екранувати всю систему або окремі її блоки, які найбільш чутливі до впливу ЕМІ.

Було встановлено, що система КУ в умовах дії іонізуючих випромінювань буде безпечно працювати при рівні радіації, який не перевищує 4,42 Р/год. А в умовах дії електромагнітного імпульсу система КУ буде надійно працювати, якщо вертикальна складова напруженості електричного поля не буде перевищувати його граничне значення $E_{\text{вср}}=10270$ (В/м).

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі «Контроль та поліпшення показників енергоефективності Товариства з обмеженою відповідальністю "Авіс", місто Вінниця.». Було проаналізовано використання ПЕР на підприємстві та розроблені рекомендації щодо підвищення ефективності їх використання.

Також більш детально було розглянуто метод компенсації реактивної потужності, підвищення його ефективності на підприємстві. Були розглянуті як позитивні впливи (зменшення втрат енергії, підвищення коефіцієнта потужності, підвищення надійності, стабілізація напруги, зменшення вібрації та шуму), так і негативні при відсутності контрольних рішень і їх наслідків.

Тому було проведено аналіз існуючих математичних моделей та способів автоматичного керування потужністю КУ, оскільки це є важливим завданням для забезпечення якості електропостачання. Розглянуті математичні моделі контролюють вплив КУ на рівень напруги у вузлі мережі, було розглянуто явище від'ємно регулюючого ефекту БСК, та проведено дослідження умов доцільності врахування залежності $Q_{\text{БСК}}(U)$.

Також було відображено економічну частину магістерської роботи, в цьому розділі магістерської кваліфікаційної роботи був проведений розрахунок основних техніко-економічних показників спроектованої системи електропостачання підприємства та розраховано собівартість електричної енергії

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурбело М. Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М. Й. Бурбело. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 148 с.
2. Терешкевич Л.Б., Облік, контроль і регулювання електроспоживання, навчальний посібник / Л.Б. Терешкевич Вінниця, ВДТУ, 2015.
3. Енергетичний аудит : Навчальний посібник / [Соловей О. І., Розен В. П., Лега Ю. Г. та ін.]. – Черкаси : ЧДТУ, 2005. – 299 с.
4. Прокопенко В. В. [Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями : навчальний посібник / Прокопенко В. В., Закладний О. М., Кульбачний П. В. – К. : Освіта України, 2009. – 438 с.](#)
5. Демов О. Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах : навчальний посібник / О. Д. Демов. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 95 с.
6. Програма курсу: блок "Енергозбереження в промисловості" [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.is.svitonline.com/sukhodolya/students/galyz1.htm> (дата звернення 12.12.2012). — Назва з екрана.
7. Методика розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0619-97> (дата звернення 12.12.2012). — Назва з екрана.
8. Методичні рекомендації «Санітарно-гігієнічні вимоги щодо використання систем променевого опалення в виробничих приміщеннях» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://document.ua/pro-zatverdzhennja-metodichnih-rekomendacii-sanitarno-gigien-doc17891.html> (дата звернення 12.12.2012). — Назва з екрана.
9. Інфрачервоні обігрівачі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.desa.net.ua/infrachervoni-obigrivachi.html> (дата звернення 12.12.2012). — Назва з екрана.
10. Бондарчук А.С., Гоголюк О.П., Шулле Ю.А. Порівняльний аналіз реальної динаміки електричного навантаження житлового мікрорайону міста з визначеної за моделюванням та нормативами / А. С. Бондарчук, О. П. Гоголюк, Ю. А. Шулле // The scientific method (Warszawa, Poland), 2018.
11. Шулле Ю. А. Аналіз графіків електричних навантажень промислових підприємств методом нормованого розмаху (r/s-аналіз) / Ю. А. Шулле // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2015.
12. Шулле Ю. А. Використання АСКОЕ для підвищення ефективності енерговикористання на промислових підприємствах / Ю. А. Шулле, І. С. Рогозянський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, 2016.
13. Лежнюк П. Д., Шулле Ю. А. Оперативне прогнозування електричних навантажень систем електроспоживання з використанням їх фрактальних властивостей: монографія / П. Д. Лежнюк, Ю. А. Шулле. Вінниця: ВНТУ, 2015.

14. Лежнюк П.Д., Бондарчук А.С., Шулле Ю.А. Фрактальний аналіз динаміки електричного навантаження цивільних об'єктів / П. Д. Лежнюк, А. С. Бондарчук, Ю. А. Шулле // Sciences of Europe (Praha, Czech Republic), 2018.

15. ДСТУ ISO 50001:2014 Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://see.org.ua/files/books/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20ISO%2050001%202015.pdf>.

16. Планування та контроль ефективності енерговикористання : конспект лекцій для студ. спец.141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної і заоч. форм навч. / уклад. І.О. Бандура. Луцьк : Луцький НТУ, 2018.

17. Находов В.Ф. Удосконалення діючої системи нормалізації енергоспоживання на основі контролю і планування витрат електричної енергії/ В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, О.В. Тишко // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро : інформ. зб. – 2010. – № 3. – С. 51–58.

18. Находов В.Ф. Побудова оптимальних розрахункових моделей електробалансів виробничо-господарських об'єктів / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро : інформ. зб. 2010. № 6. С. 47–51.

19. Находов В.Ф. Контроль та аналіз виконання встановлених «стандартів» в системах статистичного контролю ефективності використання електричної енергії / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро : інформ. зб. 2011. № 2. С. 16–23.

20. В.М. Горін. Енергоефективність підприємств. К.: Ліра-К, 2019. 320 с.

21. В. В. Ковальчук. Енергоефективність електромереж. К.: НТУУ "КПІ", 2021. 304 с.

22. М. І. Гринюк. Енергоефективність підприємств: сучасні тенденції та перспективи розвитку. Енергетика. 2022. № 1. С. 15-20.

23. О. О. Крупський, В. В. Ковальчук. Вплив параметрів конденсаторних установок на надійність електромереж. Електротехніка та електромеханіка. 2023. № 4. С. 25-30.

24. В. Ковальчук, В. М. Крупський. Конденсаторні установки в системах електропостачання. К.: НТУУ "КПІ", 2018. 224 с.

25. В. В. Ковальчук, В. М. Крупський. Аналіз впливу конденсаторних установок на режими роботи електромереж. Енергетика. 2022. № 2. С. 30-35.

26. О. О. Крупський. Автоматичне керування конденсаторними установками. Електротехніка та електромеханіка. 2023. № 1. С. 25-30

27. О. О. Крупський. Методи підвищення ефективності конденсаторних установок. Електротехніка та електромеханіка. 2023. № 3. С. 25-30.

28. В.М. Горін. Економіка електроенергетики. К.: Ліра-К, 2018. 320 с.

29. В. В. Ковальчук. Економіка електромереж. К.: НТУУ "КПІ", 20

30.О.О. Крупський, В. В. Ковальчук. Економічні аспекти компенсації реактивної потужності в системах електропостачання. Енергетика. 2023. № 4. С. 30-35.

31. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.

32. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

33. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

34. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

35. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

36. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

37. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

38. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

39. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та

інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

40. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

41. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

ДОДАТКИ

Додаток А

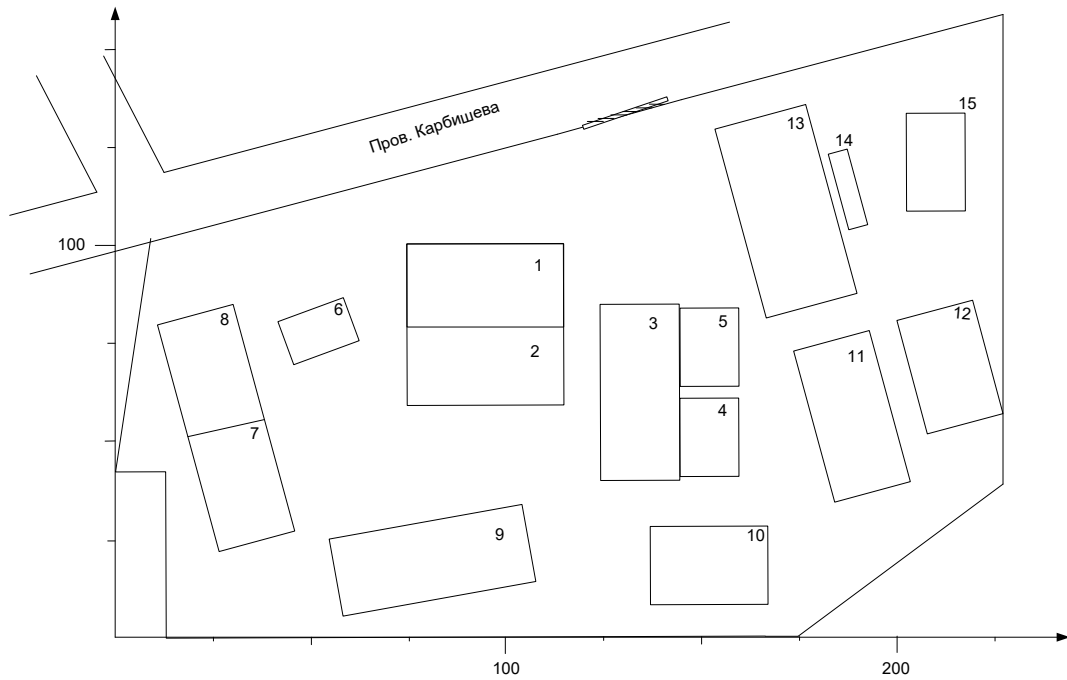
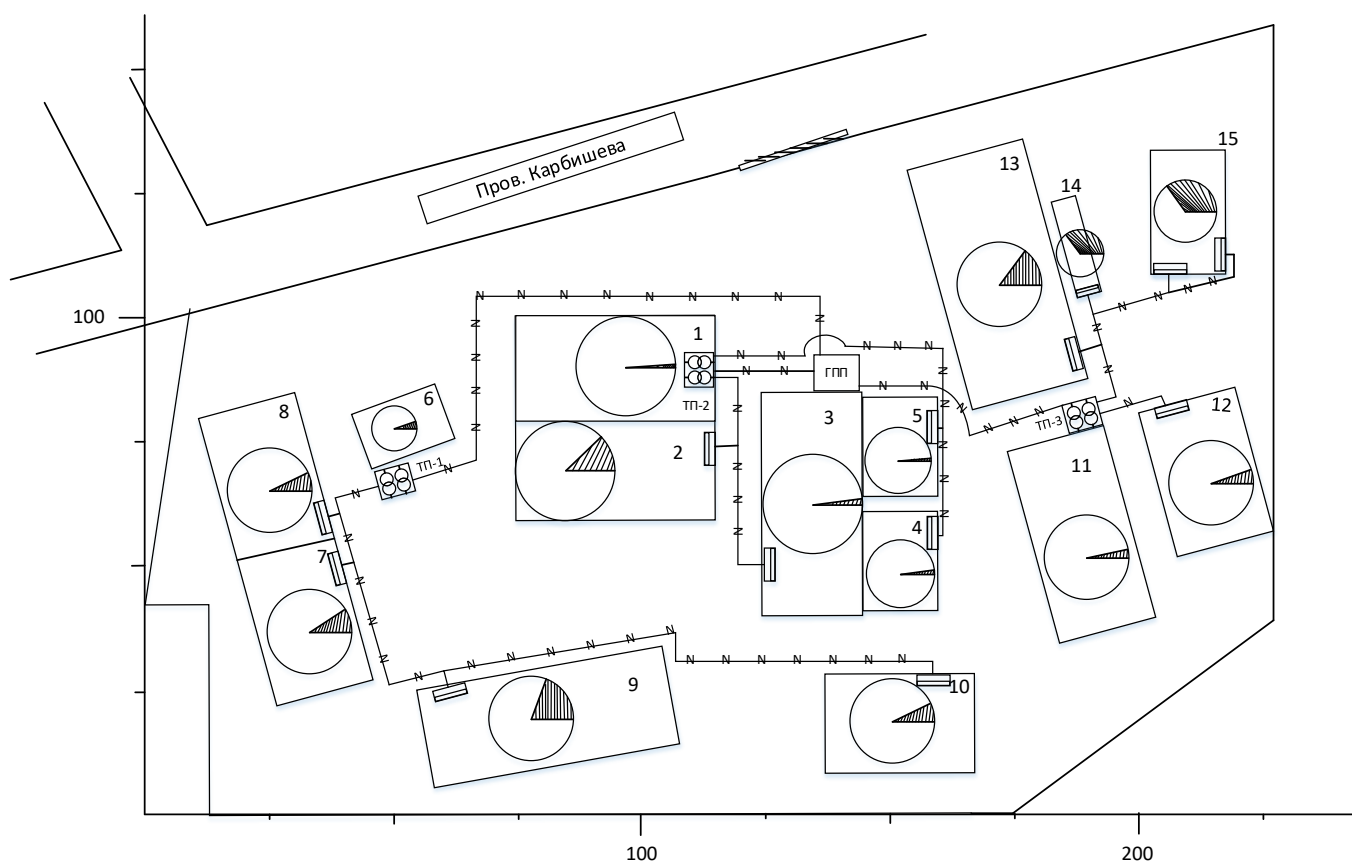


Рисунок А.1 – Генплан “Авіс”

Таблиця А.1- Відомості про електричні навантаження підприємства

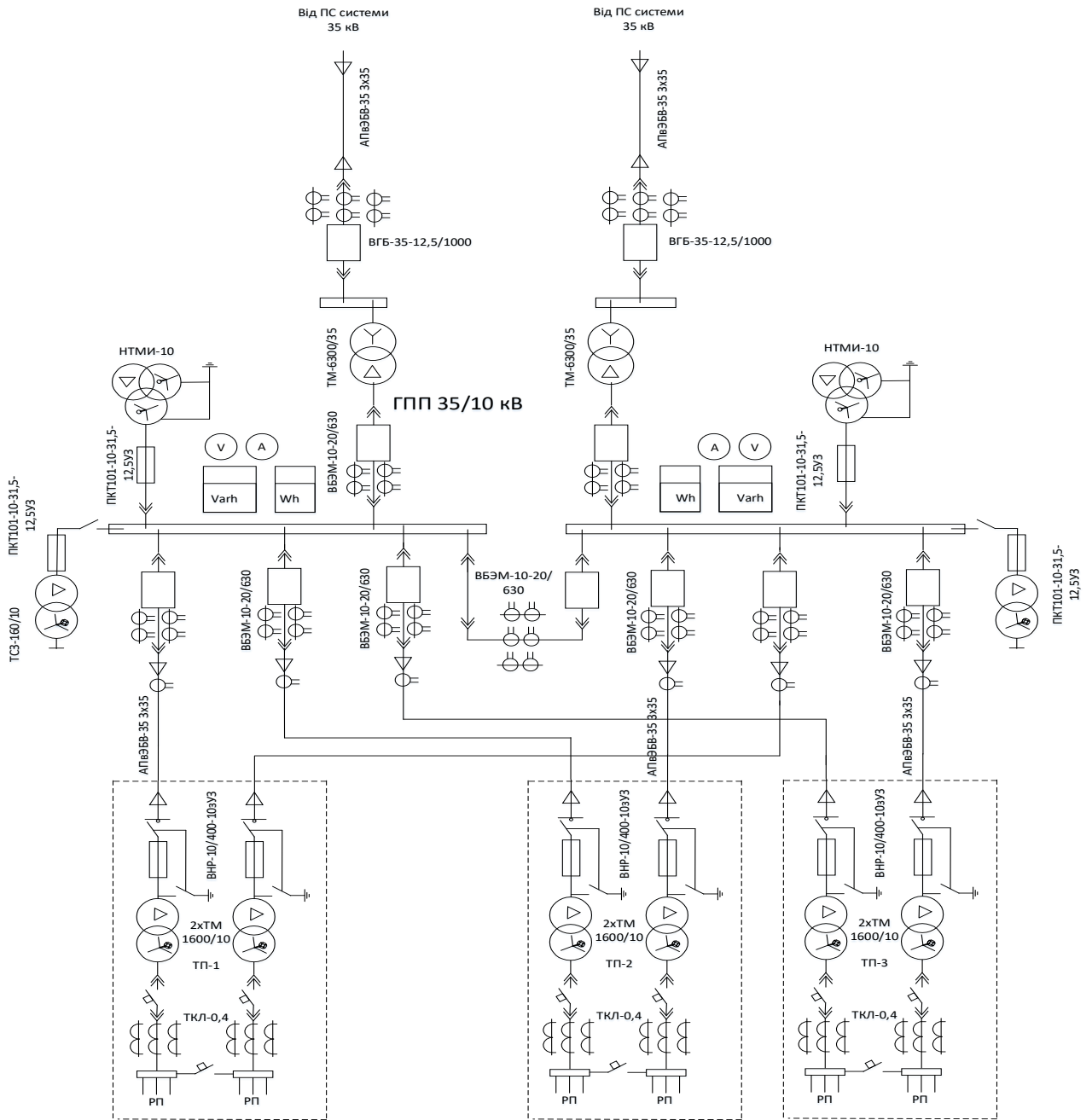
№ на плані	Назва цеху	Р _н , кВт
1	Завод полімерного упакування	450
2	Цех (друкарня)	80
3	Завод безалкогольних напоїв	390
4	Очисні споруди	290
5	Очисні споруди	210
6	Котельня	80
7	Склад №1	110
8	Склад №2	90
9	Склад №3 (гот. Прод)	120
10	Склад №4 (гот. Прод)	100
11	Оліє-очисний завод	260
12	Цех фасування олії	160
13	Цех по виробництву майонезу	280
14	Холодильно-компресорна станція	80
15	Цех по виготовленню печива	101



Таблиця умовних позначень

Позначення	Найменування
	Трансформаторна підстанція
	Розподільчий пристрій
	Кабельні лінії 10 кВ
	Кабельні лінії 0,4 кВ

Однолінійна схема електропостачання



Додаток Б

СУТТЄВІ ВИМОГИ

Технічного регламенту з електромагнітної сумісності електрообладнання

1. Загальні вимоги

Обладнання повинне бути спроектоване та виготовлене з урахуванням сучасного стану розвитку техніки таким чином, щоб:

1) рівень створюваних обладнанням електромагнітних завад не перевищував рівень, за якого радіо-, телекомунікаційне або інше обладнання не може функціонувати за призначенням;

2) обладнання мало такий рівень завадостійкості до електромагнітних завад, очікуваних під час його використання за призначенням, який дає змогу цьому обладнанню функціонувати без неприпустимого погіршення якості його використання за призначенням.

2. Особливі вимоги до стаціонарних установок

Монтаж та використання компонентів за призначенням.

Стаціонарна установка повинна бути змонтована із застосуванням належних інженерних практик та з урахуванням інформації про використання за призначенням її компонентів з метою забезпечення відповідності суттєвим вимогам.

