

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**

Електротехніки та енергоефективності

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз можливості підвищення ефективності споживання  
електричної енергії обладнанням цеху №2  
ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1419 д  
спеціальності 141 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми 141.00.11 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Р.Е. Якубов

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Світанько М.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент провідний фахівець Маришкін В.С.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра електротехніки та енергоефективності \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень \_\_\_\_\_  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма 141.00.11 Електроенергетика, електротехніка \_\_\_\_\_  
та електромеханіка \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри В.І. Коваленко \_\_\_\_\_  
« 16 » \_\_\_\_\_ 12 2020 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

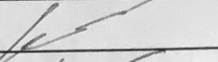

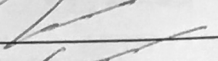



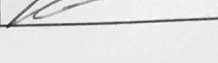
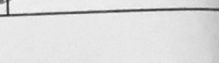
Якубов Руслан Емільович

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи Аналіз можливості підвищення ефективності електричної енергії обладнанням цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат»  
керівник роботи Світанько Микола Вікторович, к.т.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом ЗНУ від « 14 » вересня 2020 року № 1305-с
- 2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2020 р.
- 3 Вихідні дані до роботи Потужність силових трансформаторів підстанції цеху №2 1000 кВА; тариф за 1 кВт·год. електроенергії – 3,1276 грн без ПДВ; час роботи трансформаторів на рік – 8760 годин.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Загальна характеристика електричного обладнання цеху №2. 2) Моделі виявлення та зменшення втрат електроенергії на підстанції. 3) Техніко-економічне обґрунтування заходів з підвищення ефективності роботи електричного обладнання цеху №2. 4) Охорона праці та техногенна безпека.
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
1) Тема: Аналіз можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії обладнанням цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат». Плакат. 2) Аналіз електроспоживачів цеху №2. Плакат. 3) Об'єм випуску продукції та споживаної електроенергії за рік. Плакат. 4) Алгоритм

прогнозування. Плакат. 5) Кореляційний аналіз. Плакат.  
 електропостачання сольового хлоратора. Плакат. 7) Вихідні дані.  
 8) Захід з підвищення ефективності споживання електроенергії обладнання  
 цеху. Плакат. 9) Економічні показники впровадження заходу. Плакат.  
 10) Аналіз роботи підстанції цеху. Плакат. 11) Висновки. Плакат.

#### 6 Консультанти розділів роботи

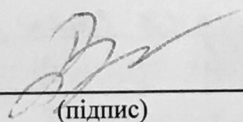
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Світанько М.В., к.т.н., доцент		
Розділ 2	Світанько М.В., к.т.н., доцент		
Розділ 3	Світанько М.В., к.т.н., доцент		
Розділ 4	Світанько М.В., к.т.н., доцент		

7 Дата видачі завдання 01.09.2020 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика електричного обладнання цеху №2	30.09.2020	
2	Моделі виявлення та зменшення втрат електроенергії на підстанції	30.10.2020	
3	Техніко-економічне обґрунтування заходів з підвищення ефективності роботи електричного обладнання цеху №2	19.11.2020	
4	Охорона праці та техногенна безпека	30.11.2020	

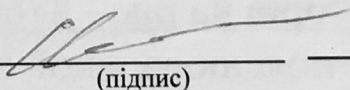
Студент

  
(підпис)

Р.Е. Якубов

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту)

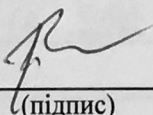
  
(підпис)

М.В. Світанько

(ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер

  
(підпис)

С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Якубов Р. Е. Аналіз можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії обладнанням цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат».

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», науковий керівник Світанько М.В. Запорізький національний університет, Інженерний науково-начальний інститут, кафедра електротехніки та енергоефективності. Запоріжжя, 2020.

Дипломна робота на тему «Аналіз можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії обладнанням цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» включає 78 сторінок, 13 таблиць, 16 рисунків, 34 використаних джерел.

В роботі досліджено можливість підвищення ефективності споживання електроенергії обладнанням цеху та прогнозування її обсягів в залежності від об'ємів виготовленої продукції, оцінка достовірності прогнозу.

Ключові слова: ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ПІДСТАНЦІЯ, ЕЛЕКТРОДВИГУН, РЕГРЕСІЯ, АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ

## ANNOTATION

Yakubov R. E. Analysis of the possibility of improvement of the electrical power consumption efficiency of plant No.2 equipment of LLC "Zaporozhye Titanium & Magnesium Combine".

Qualifying work of master's degree on the receipt of higher education after speciality a 141 «Electric power, electrical engineering and electromechanics», scientific leader Svitanko M. V. Zaporozhia national university, Engineering scientifically initial institute, department of electrical engineering and energy efficiency. Zaporozhia, 2020.

Thesis on the topic «Analysis of the possibility of improvement of the electrical power consumption efficiency of plant No.2 equipment of LLC

«Zaporozhye Titanium & Magnesium Combine» includes 78 pages, 13 tables, 16 figures, 34 sources.

The work is investigated the possibility of increasing the efficiency of electricity consumption by shop equipment and forecasting its volumes depending on the volume of manufactured products, assessment of the reliability of the forecast.

Keywords: ELECTRICAL EQUIPMENT, SUBSTATION, ELECTRIC MOTOR, REGRESSION, ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION, REACTIVE POWER

### АННОТАЦИЯ

Якубов Р. Е. Анализ возможности повышения эффективности потребления электрической энергии оборудованием цеха №2 ООО «Запорожский титано-магниевого комбинат».

Квалификационная работа магистра на получение высшего образования по специальности 141 «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика», научный руководитель Свитанько Н. В. Запорожский национальный университет, Инженерный научно-учебный институт, кафедра электротехники и энергоэффективности. Запорожье, 2020.

Дипломная работа на тему «Анализ возможности повышения эффективности потребления электрической энергии оборудованием цеха №2 ООО «Запорожский титано-магниевого комбина» включает 78 страниц, 13 таблиц, 16 рисунков, 34 использованных источников.

В работе исследована возможность повышения эффективности потребления электроэнергии оборудованием цеха и прогнозирования её объемов в зависимости от объемов произведенной продукции, оценка достоверности прогноза.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ПОДСТАНЦИЯ, РЕГРЕСИЯ, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ, РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ

## ЗМІСТ

Вступ	7
1 Загальна характеристика електричного обладнання цеху №2	10
1.1 Характеристика мережі електропостачання	10
1.2 Аналіз споживання електроенергії підприємством	11
1.3 Аналіз роботи підстанції цеху	13
1.4 Аналіз енергоспоживання обладнанням цеху	17
1.5 Розрахунок силових електричних навантажень	21
1.6 Висновки до розділу 1	27
2 Моделі виявлення та зменшення втрат електроенергії на підстанції	28
2.1 Проблема втрати електроенергії в мережах	28
2.2 Сутність системи виявлення та зменшення втрат на основі альтернативних рішень	32
2.3 Висновки до розділу 2	41
3 Техніко-економічне обґрунтування заходів з підвищення ефективності роботи електричного обладнання цеху №2	42
3.1 Пріоритетні завдання в цеху №2	42
3.2 Компенсація реактивної потужності	45
3.3 Прогнозування споживання електроенергії обладнанням цеху №2	56
3.4 Висновки до розділу 3	69
4 Охорона праці та техногенна безпека	70
4.1 Характеристика стану охорони праці та техногенної безпеки	70
4.2 Висновки до розділу 4	73
Висновки	74
Перелік посилань	75

## ВСТУП

Актуальність теми. Зростаюча складність і динамічність економічного середовища, зростаючий рівень конкуренції на ринку товарів, робіт і послуг вимагає, від керівництва значних зусиль зі створення ефективного механізму функціонування підприємства. В даний час, у зв'язку з постійним зростанням цін на енергоресурси, частка енергетичних витрат у собівартості продукції досягає на деяких підприємствах 40-60%. Виходячи з цього, змінюється і ставлення до енергетичних ресурсів. З дешевих ресурсів, які не потребують управління, вони переходять в категорію дорогих, що вимагають такого ж менеджменту, як і інші ресурси.

Успішність управління енергетичними ресурсами в чималому ступені визначається комплексністю та інтенсивністю застосування на підприємстві сучасних методів аналізу, прогнозування, планування і контролю за діяльністю підприємства в області енергоспоживання.

Аналіз стану управління енергоспоживанням в Україні показує необхідність створення конкретних механізмів реалізації концептуальних ідей та інструментів управління енергоспоживанням для українського підприємства, що враховують особливості української системи управління підприємствами, а також адаптацію цих ідей і інструментів в економічних умовах України.

В даний час в нашій країні відомі лише нечисленні приклади ефективного функціонування служб енергоменеджменту та внутрішнього енергоаудиту.

Енергоресурси становлять значну долю в собівартості продукції. Підвищення ефективності споживання електроенергії обладнанням цеху дозволяє знизити собівартість продукції, а отже і покращити економічні показники роботи заводу. В багатьох випадках заходи щодо покращення енергоефективності призводять до покращення якості виробництва, що в свою чергу позитивно впливає на імідж і прибутки підприємства.

В останні роки питання підвищення енергоефективності, реалізації політики енергозбереження в Україні придбали особливу актуальність і прямо зв'язані з енергобезпекою країни.

З кожним роком на Україні підвищуються тарифи на електроенергію, що призводить до збільшення собівартості продукції. Енергозбереження – шлях для енергоємних виробництв витримати жорстку конкуренцію на світовому ринку.

Метою та завданням роботи є вдосконалення та подальший розвиток методів оцінювання та контролю ефективності споживання електроенергії обладнанням цеху на підприємстві з виробництва титанової продукції. Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені наступні завдання:

- аналіз існуючих методів оцінювання та контролю обсягів споживання енергетичних ресурсів підприємством;
- аналіз статистичних методів і моделей прогнозування обсягів споживання електроенергії на підприємстві;
- аналіз моделей виявлення та зменшення втрат електроенергії на підстанції;
- застосування та можливості удосконалення існуючих методів прогнозування енергоспоживання;
- розробка технічного заходу для контролю ефективності енерговикористання та прогнозування енергоспоживання.

Предметом досліджень є техніко-економічні методи (заходи) та підходи до аналізування, оцінювання та контролю обсягів споживання електричної енергії на промисловому підприємстві.

Об'єктом досліджень є процес аналізування, оцінювання та контролю обсягів споживання електричної енергії на підприємстві.

Методи дослідження. В роботі використовувались теоретичні методи та емпіричні дослідження, які полягають в проведенні наукового аналізу існуючого стану енергооб'єктів цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий



комбінат»; моделювання залежності річного об'єму випущеної продукції цехом та споживаної електроенергії електрообладнанням.

Наукова новизна роботи полягає в наступному: із врахуванням загальних тенденцій зміни обсягів споживання енергетичних ресурсів розроблено метод регресійного аналізу, який дозволяє оцінити рівень досягнутої енергоефективності на підприємстві та отримати інформацію щодо прогнозування подальшого споживання електричної енергії на промисловому підприємстві в умовах цеху виробництва титанового шлаку і тетраклориду титану

Практична цінність роботи. Виведена регресійна залежність обсягів споживання електроенергії на підприємстві ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» дозволяє оцінити рівень досягнутої енергоефективності на підприємстві та отримати інформацію щодо прогнозування подальшого споживання електричної енергії на промисловому підприємстві. Отримані результати дозволять удосконалити методику встановлення базового рівня енергоспоживання при впровадженні системи енергетичного менеджменту на промислових підприємствах згідно чинного стандарту ISO 50001.

Особистим внеском автора є виведена регресійна залежність між річним об'ємом випущеної продукції та споживаної електроенергії обладнанням в умовах цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат».

Структура дипломної роботи на тему «Аналіз можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії обладнанням цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» складається із вступу, 4 розділів, висновків та переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 78 сторінок основного тексту, в тому числі 16 рисунків, 13 таблиць, 34 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

# 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЦЕХУ №2

## 1.1 Характеристика мережі електропостачання

На території ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» встановлено три підстанції «Титаномагнієва 154/35/10 кВ», на яких знаходяться по дві збірні шини напругою 154 кВ. Лінії електропередач за допомогою шинних роз'єднувачів можуть бути підключені як до першої так і до другої збірної шини, що дозволяє забезпечувати безперебійність і надійність живлення підстанції при виводі в ремонт однієї із системи збірних шин. Живлення підстанцій здійснюється від двох незалежних джерел живлення [1].

На підстанціях встановлено по два трансформатора потужністю 63 МВА й рівнем напруги обмоток 154/35/10 кВ, дві секції збірних шин напругою 35 кВ, які з'єднані секційним вимикачем. На кожній секції по дві збірні шини, які з'єднані вимикачем. Кожен вимикач як на стороні 154 кВ, так і на стороні 35 кВ можна з'єднати за допомогою шинних роз'єднувачів до будь-якої системи шин. Схема із двома системами збірних шин дозволяє ремонтувати збірні шини без перерви живлення споживачів, виділяти одну систему шин для випробування устаткування і ліній, здійснювати різні угруповання ланцюгів і приєднань і швидко відновлювати живлення споживачів при ушкодженні однієї системи шин.

Для зменшення струмів коротких замикань і зменшення непотрібних перетікань потужності, застосовується поперечне й поздовжнє секціонування мережі. Значні величини струмів коротких замикань пов'язані з близьким розташуванням потужних джерел живлення. Також на деяких підприємствах встановлені власні ТЕЦ, генератори яких значно впливають на струми коротких замикань у системі [1].

Параметри підстанцій «Титаномагнієва 154/35/10 кВ» станом на 2020 рік наведені у таблиці 1.1 [2].

Таблиця 1.1 - Параметри підстанцій «Титаномагнієва 154/35/10 кВ»

Параметр	Тип, рівні напруги обмоток трансформаторів		
	ПС ТМ-1 154/35/10 кВ	ПС ТМ-2 154/35/10 кВ	ПС ТМ-3 154/35/10 кВ
1	2	3	4
Номинальна потужність, $S_{ном}$ , МВА	126	126	126
Максимально допустима потужність, $P_{max}$ , МВт	81,144	81,144	81,144
Електричне навантаження в режимний день, $P_{реж.день}$ , МВт	20, 5	24,5	4,25
Резерв дозволеної потужності споживачів, $P_{рез.дозв.пот}$ , МВт	60,64	56,64	76,89
Приєднана потужність існуючих споживачів, $P_{пр}$ , МВт	78,714	61,874	38,302
Резерв приєднаної потужності, $P_{рез}$ , МВт	21,464	38,303	109,202
Фактичний резерв приєднаної потужності, $P_{факт.рез}$ , МВт	2,431	19,27	42,811
Кількість споживачів, шт.	11	29	304

Мережа має досить велику щільність та повністю закільцьована, що з гарантує надійність електропостачання важливих споживачів, але впливає на величини струмів коротких замикань, сильно збільшуючи їх [1].

## 1.2 Аналіз споживання електроенергії підприємством

Споживання електроенергії і втрати на підприємстві за останній рік наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Споживання електроенергії ТОВ «ЗТМК» за 2019 рік

Споживачі	I квартал, тис. кВт·год	II квартал, тис. кВт·год	III квартал, тис. кВт·год	IV квартал, тис. кВт·год
1	2	3	4	5
Цех №2	21143,78	22481,47	22935,13	23018,87
Цех №7	51992,91	55107,02	55858,15	56330,74
Цех №9	693,24	639,72	739,84	842,15

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
Цех №10	1213,17	1096,66	924,81	1122,87
Цех №12	8578,83	9138,81	8970,59	9170,12
Інші	1039,84	822,49	1174,81	935,74
Разом	84661,77	89286,17	90603,33	91420,49
Втрати в мережі	1733,11	1827,76	1849,61	1871,45
Втрати в БСК	259,96	274,16	277,44	280,72
Всього	86654,84	91388,09	92480,38	93572,66

У 2019 році ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» відпущено 364095,97 тис. кВт·год електричної енергії ПАТ «Запоріжжяобленерго» на суму 645990 тис. грн [3].

Відсоткове співвідношення споживання електроенергії цехами на підприємстві наведено на рисунку 1.1.

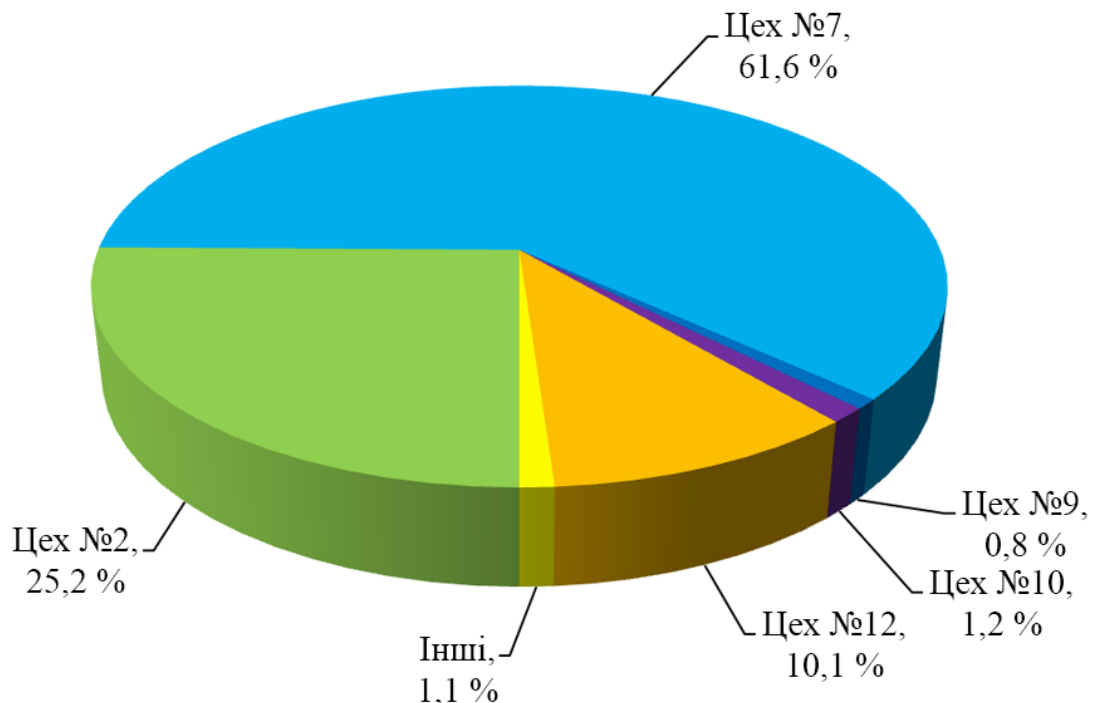


Рисунок 1.1 - Відсоткове співвідношення споживання електроенергії цехами на підприємстві

З приведеної діаграми видно, що основними споживачами електроенергії є цех №2, цех №7 та цех №12.

### 1.3 Аналіз роботи підстанції цеху

Електричні навантаження промислових підприємств визначають вибір всіх елементів системи електропостачання: потужності районних трансформаторних підстанцій, поживних і розподільних мереж енергосистеми, заводських трансформаторних підстанцій і їх мереж. Тому правильне визначення електричних навантажень є вирішальним фактором при проектуванні і експлуатації електричних мереж.

Режим роботи споживачів електроенергії цеху №2 змінюється в години доби, дні тижня і місяці року, при цьому змінюється і навантаження всіх ланок системи енергопостачання. Ці зміни зображують у вигляді графіків навантажень, на яких по осі ординат відкладають активні і реактивні навантаження, а по осі абсцис – час, протягом якого утримуються ці навантаження. Добові графіки можуть бути побудовані для окремих ланок системи електропостачання (мереж, цехових і заводських підстанцій, окремих установок), а також для всієї енергетичної системи або її частини, яка забезпечує електроенергією певний район.

Щоб характеризувати роботу окремих установок і пристроїв протягом року, необхідно мати основні добові графіки року – зимовий і літній. Найбільше навантаження по добовому графіку називають максимальною добовим навантаженням [4]. Площа добового графіка являє собою кількість електроенергії, виробленої або споживаної цією установкою за добу.

Максимальними і мінімальними річними навантаженнями вважаються відповідно навантаження зимового і літнього графіків, які враховують при виборі потужності трансформаторів.

Середньодобову потужність навантаження  $P_{cp.доб}$ , кВт, визначаємо за даними таблиці 1.5 за формулою

$$P_{cp.доб} = W / t = W / 24 = P_{зм}, \quad (1.1)$$

де  $W$  – електроенергія, вироблена або споживана за добу, кВт·год;

$t$  – кількість годин у добі, год;  $t=24$  год;

$P_{зм}$  – середньозмінна активна потужність, кВт;  $P_{зм}=1543,68$  кВт

$$P_{ср.доб} = 1543,68 \text{ кВт.}$$

Річний графік по тривалості показує тривалість роботи електроустановки протягом року з різними навантаженнями. На графіку по осі абсцис відкладають тривалість навантаження протягом року, а по осі ординат – відповідні навантаження. Площа річного графіка за тривалістю є кількістю електроенергії, спожитої електроустановкою протягом року [4].

Середньорічну потужність навантаження  $P_{ср.рік}$ , кВт, визначаємо за даними таблиці 1.5 за формулою

$$P_{ср.рік} = W / T = W / 8760 = P_{зм}, \quad (1.2)$$

$$P_{ср.рік} = 1543,68 \text{ кВт.}$$

Електропостачання дільниці хлорування цеху №2 здійснюється від трансформаторної підстанції закритого типу 6/0,4 кВ. На підстанції встановлено чотири силових трансформатора масляних ТМЗ-1000/6. Технічні характеристики трансформаторів наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики трансформаторів

Тип	Кількість, шт.	Номінальна потужність, кВА	Номінальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ, %	Струм НХ, %	Схема з'єднань обмоток
			ВН	НН	НХ	КЗ			
ТМЗ-1000/6	4	1000	6	0,4	1,65	10,8	5,5	1,2	Y/Y-0

На рисунку 1.2 наведено графік добових активних та реактивних навантажень підстанції цеху №2 ділянки хлорування.

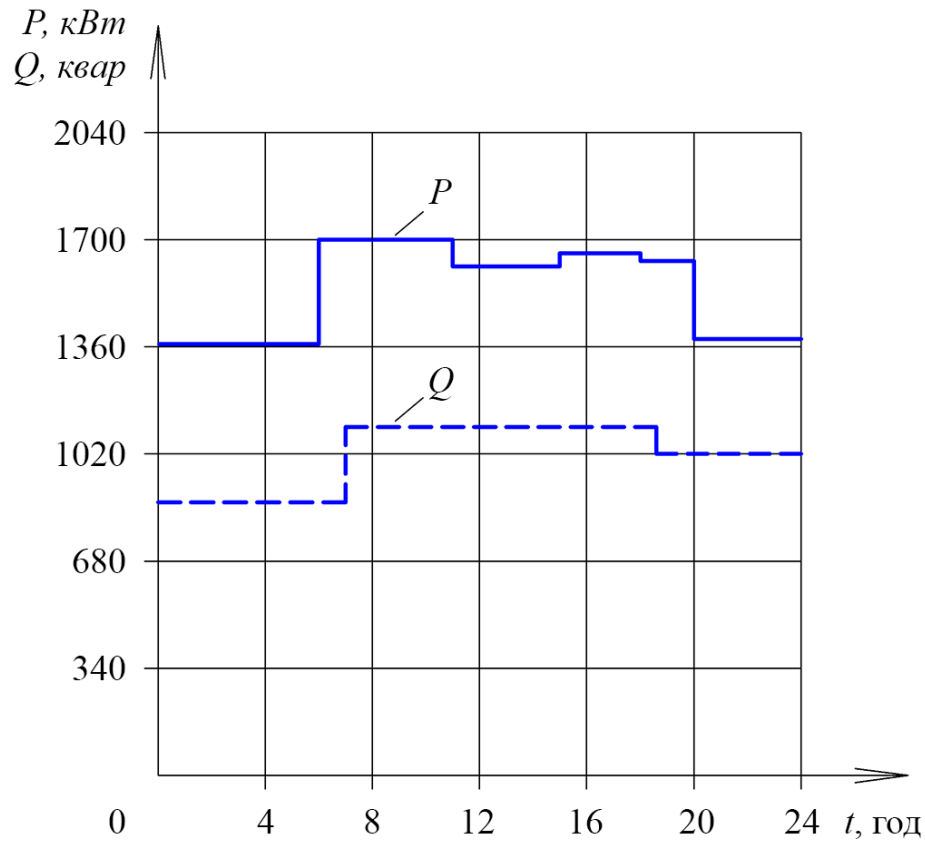


Рисунок 1.2 - Графік добових електричних навантажень підстанції цеху

Систематичне спостереження за графіками навантаження та правильна їх побудова забезпечує підвищення показників при експлуатації енергетичного господарства ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат».

Визначаємо сумарний коефіцієнт завантаження  $k_3$  трансформаторної підстанції цеху за формулою

$$k_3 = \frac{S_{зм}}{\sum S_{ном}} = \frac{\sqrt{P_{зм}^2 + Q_{зм}^2}}{\sum S_{ном}}, \quad (1.3)$$

$$k_3 = \frac{\sqrt{1543,68^2 + 1107,15^2}}{4 \cdot 1000} = 0,5.$$

Для визначення навантаження підстанції цеху №2 необхідно підрахувати навантаження споживачів  $P_t$ , і врахувати втрати  $\Delta P_t$ . Останні діляться на змінні, що залежать від навантаження (нагрів проводів мережі та обмоток трансформаторів), і постійні, що не залежать від навантаження (нагрів сталі трансформаторів) [4].

Втрати потужності в трансформаторах знаходимо за допомогою каталожних даних (таблиця 1.3): втрати короткого замикання відповідні втратам в міді, а втрати неробочого ходу відповідні втратам в сталі.

Активні втрати потужності  $\Delta P_t$ , визначаємо за формулою

$$\Delta P_t = \Delta P_{м.н} \left( \frac{S_{зм}}{\sum S_{ном}} \right)^2 + \Delta P_{ст} = k_3^2 \Delta P_{м.н} + \Delta P_{ст}, \quad (1.4)$$

де  $\Delta P_{м.н}$  – втрати в міді, кВт;

$S_{зм}$  – фактичне завантаження трансформаторів, кВ·А;

$\sum S_{ном}$  – номінальне навантаження трансформаторів, кВ·А;

$\Delta P_{ст}$  – втрати в сталі, кВт.

$$\Delta P_t = 0,5^2 \cdot 10,8 + 1,65 = 4,35 \text{ кВт.}$$

Визначаємо максимальне навантаження підстанції цеху  $P_{\text{макс ПС}}$ , кВт, визначаємо за даними таблиці 1.5 за формулою

$$P_{\text{макс ПС}} = P_{\text{макс}} + \Delta P_t, \quad (1.5)$$

де  $P_{\text{макс}}$  – навантаження споживачів, кВт.  $P_{\text{макс}} = 1698,1$  кВт.

$$P_{\text{макс ПС}} = 1698,1 + 4,35 = 1702,45 \text{ кВт.}$$

Живлення виконано кабелем АС-185, АСБ-10 (3х150), ААБЛ-10 (3х70).



#### 1.4 Аналіз енергоспоживання обладнанням цеху

Дільниця хлорування – це один з найбільших споживачів електроенергії підприємства, оскільки на ділянці розташована сольова хлоруюча установка – апарат безперервної дії. На поверхню сольового розплаву шнеком з витратного бункера безперервно завантажується шихта. Шихту отримують змішуванням меленого титанового шлаку, виготовленого на ділянці плавки сировини і шихти в трьохелектродних руднотермічних електропечах, вуглецевого відновника і хлористого натрію [5].

За даними підприємства споживачами електричної енергії з напругою живлення 0,38 кВ є електроприводи заглибних насосів, шнекових живильників, аспіраційної системи, вентиляційної системи, холодильно-компресорних машин, димососів, кранів мостових, вібророзтирача, відстійника. Електрична частина сольового хлоратора представлена на рисунку 1.3 та рисунку 1.4.

За ступенем надійності і безперебійності електропостачання дільниця хлорування відноситься до першої категорії. Перебій електропостачання загрожує руйнуванням сольового хлоратора і викидом хлору в робоче приміщення та атмосферу.

Основними енергетичними ресурсами, що споживаються на ділянці хлорування є електрична енергія, технічна вода та стиснене повітря. Питомі норми витрат енергоносіїв, сировини та матеріалів на тону технічного тетрахлориду титану за даними 2019 року наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Питомі норми витрат енергоресурсів на тону технічного тетрахлориду титану

Найменування параметру	Одиниця виміру	Кількість, шт.	Ціна, грн
Вода технічна	тис. м <sup>3</sup>	0,056	1869,9
Електроенергія	тис. кВт · год	0,22	1774,23
Стиснене повітря	тис. м <sup>3</sup>	0,49	459,9

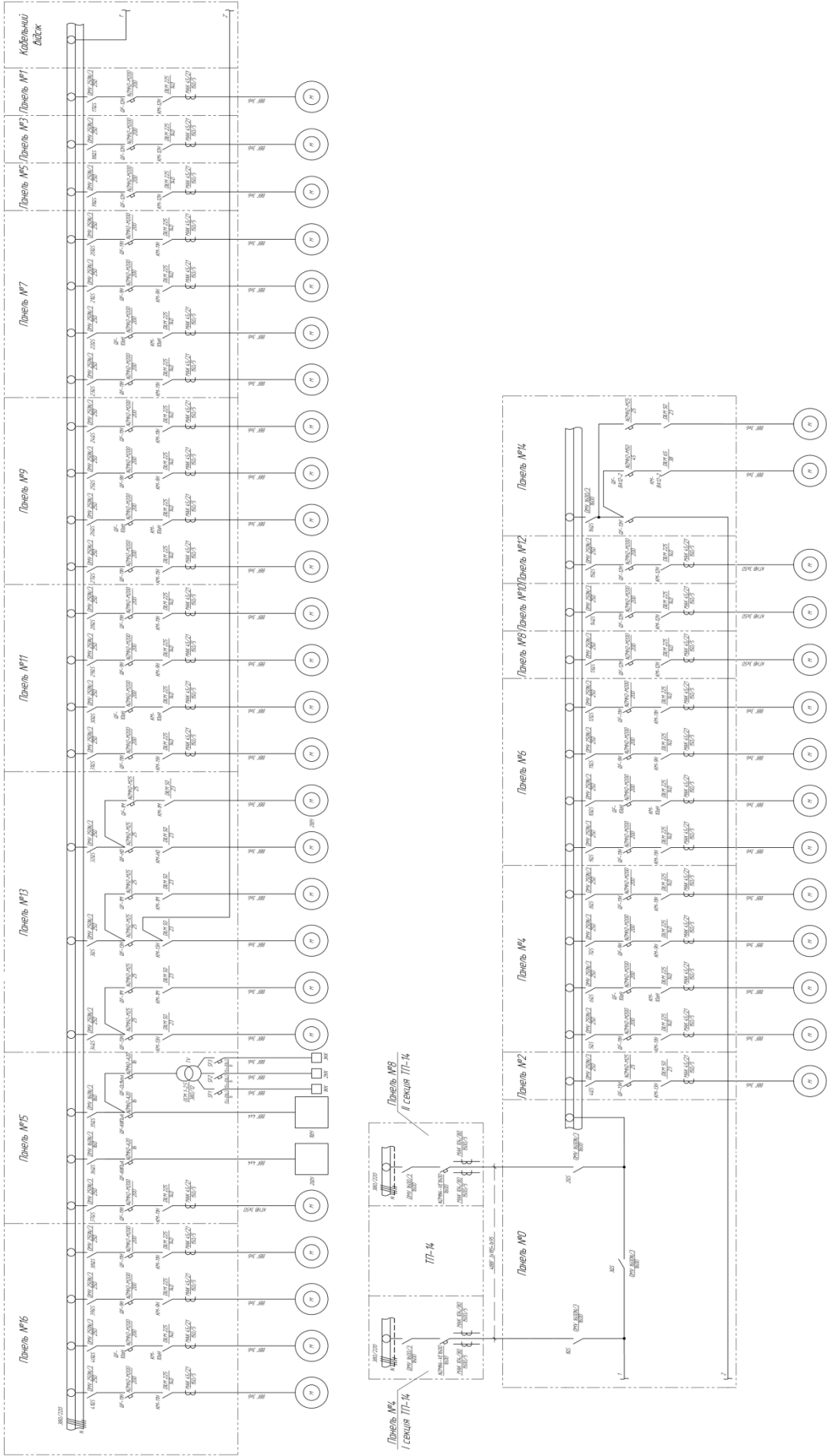


Рисунок 1.3 – Электрична частина соляного хлоратора №1

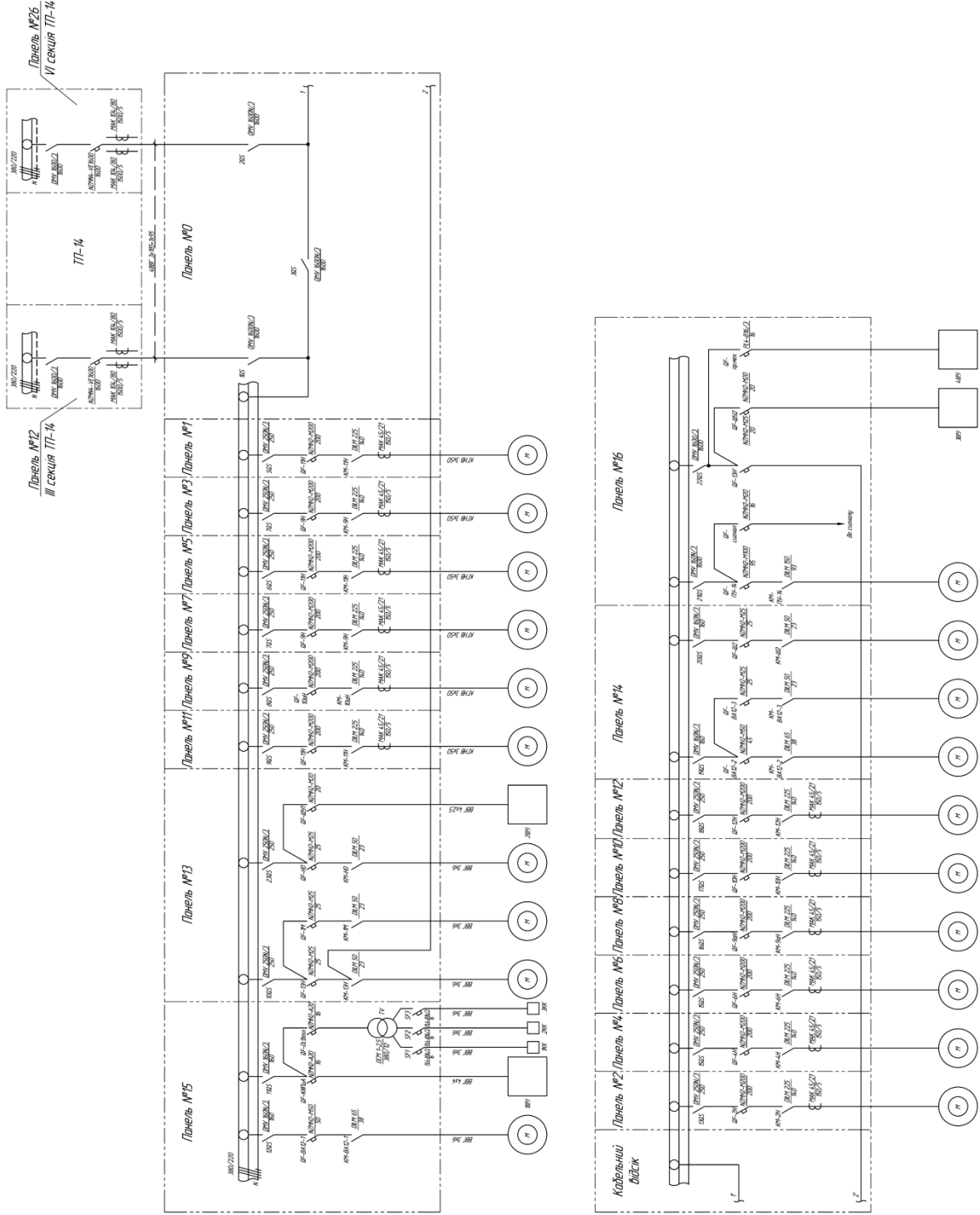


Рисунок 1.4 – Электрична частина соляного хлоратора №2

На діаграмі (рисунок 1.5) зображені долі витрат енергетичних ресурсів на виробництво тетрахлориду титану технічного.

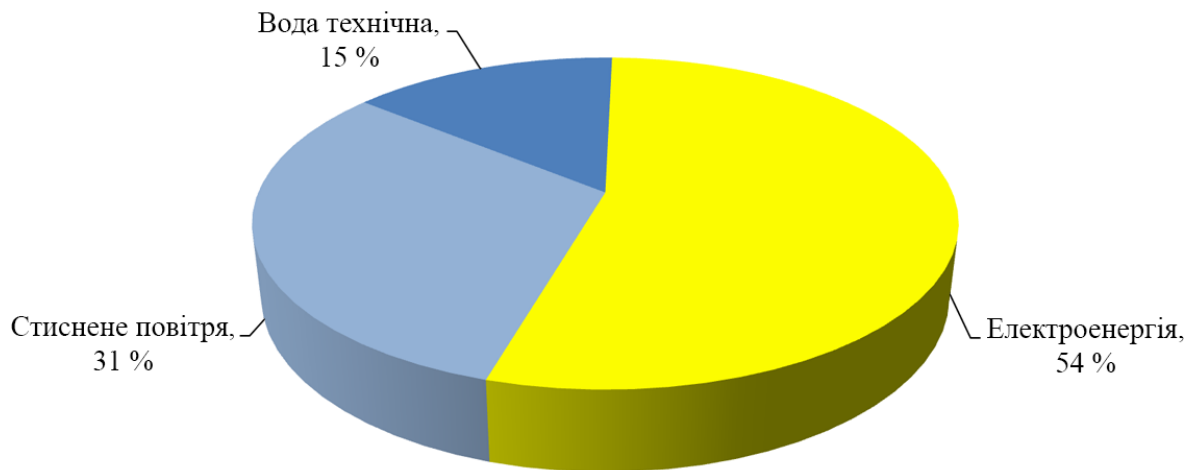


Рисунок 1.5 - Доли витрат енергетичних ресурсів на виробництво тетрахлориду титану технічного

Структура річного споживання електроенергії обладнанням ділянки хлорування цеху №2 представлена на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 - Структура річного споживання електричної енергії обладнанням цеху

### 1.5 Розрахунок силових електричних навантажень

При розрахунку силових навантажень важливе значення має правильне визначення електричного навантаження в усіх елементах силової мережі.

Завищення навантаження може привести до перевитрати провідникового матеріалу, а зниження – до зменшення пропускну здатності електромережі і неможливості забезпечення нормальної роботи силових електроприймачів.

Розрахунок електричних навантажень ґрунтується на дослідних даних і узагальненнях, виконаних з застосуванням методів математичної статистики і теорії ймовірності [4].

Виконуємо розрахунок електричних навантажень обладнання (таблиця 1.5) методом коефіцієнту використання та максимуму.

Таблиця 1.5 - Розрахунок електричного навантаження обладнання

№ з/п	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Одинична номінальна потужність, кВт	Загальна номінальна потужність, кВт	Коефіцієнт використання	Тригонометрична функція	Середньозмінна активна потужність, кВт	Середньозмінна реактивна потужність, кВар
			$P_n$	$\sum P_n$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Панель №4								
1	Насос заглибний	4	5,5	22	0,75	$\frac{0,81}{0,72}$	16,5	11,88
2		2	10	20			15	10,8
3		1	11	11			8,25	5,94
4		1	3	3			2,25	1,8
5	Шнековий живильник	1	4	4	0,8	$\frac{0,78}{0,8}$	3,25	2,6
6		2	4	8			6,4	5,12
7		2	4,2	8,4			6,72	5,38
8		4	5,5	22			17,6	12,67
9		1	11	11			8,8	6,34

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	Кран мостовий ПВ=40%	2	3,5	4,3	0,1	$\frac{0,64}{1,2}$	0,43	0,52
11		2	11	13,9		$\frac{0,65}{1,17}$	1,39	1,63
12		2	22	27,8		$\frac{0,7}{1,02}$	2,78	2,84
13	Холодильно-компресорна машина	1	132	132	0,53	$\frac{0,75}{0,88}$	69,96	61,56
14	Вібророзтирач	1	1,5	1,5	0,8	$\frac{0,8}{0,75}$	1,2	0,9
15	Калорифер	2	48	96	0,6	$\frac{0,88}{0}$	57,6	0
16	Освітлення	50	0,5	25	1	$\frac{1}{0}$	25	0
17	Всього Панель №4	78	0,5-132	409,9	0,59	$\frac{0,88}{0,54}$	243,13	129,98
Панель №8								
18	Мішалка	4	1,5	6	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	4,5	3,38
19		4	5,5	22			16,5	12,38
20		1	10	10			7,5	5,63
21	Вентилятор	1	18,5	18,5	0,8	$\frac{0,75}{0,88}$	14,8	13,02
22		1	15	15		$\frac{0,8}{0,75}$	12	9
23	Димосос	3	132	396		0,75	316,8	237,6
24	Всього Панель №8	14	1,5-132	467,5	0,8	$\frac{0,8}{0,75}$	372,1	281,01
Панель №12								
25	Насос заглибний	3	11	33	0,75	$\frac{0,81}{0,72}$	24,75	17,82
26		6	90	540		$\frac{0,8}{0,75}$	405	303,75
27	Стрічковий дозатор	1	9	9	1	$\frac{0,78}{0,8}$	9	7,2
28	Освітлення	50	0,15	7,5	1	$\frac{1}{0}$	7,5	0
29	Всього Панель №12	60	0,15-90	589,5	0,76	$\frac{0,81}{0,72}$	446,25	328,77
Панель №26								

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	Вентилятор	1	11	11	0,8	$\frac{0,8}{0,75}$	8,8	6,6
31		1	18,5	18,5		$\frac{0,75}{0,88}$	14,8	11,1
32		1	45	45		$\frac{0,8}{0,75}$	36	31,68
33	Насос заглибний	6	90	540	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	405	303,75
34	Шнековий живильник	4	5,5	22	0,8	$\frac{0,81}{0,72}$	17,6	12,67
35	Всього Панель №26	13	5,5-90	636,5	0,76	$\frac{0,8}{0,75}$	482,2	365,8
36	Разом Панелі №4,8,12,26	165	0,15-132	2103,4	0,73	$\frac{0,81}{0,72}$	1543,68	1107,15

Виконуємо розрахунок максимальних електричних навантажень обладнання цеху (таблиця 1.6).

Таблиця 1.6 - Розрахунок максимальних електричних навантажень обладнання

Найменування обладнання	Модуль силової збірки	Ефективне число електроприймачів	Коефіцієнт максимуму	Максимальна активна потужність, кВт	Максимальна реактивна потужність, квар	Повна максимальна потужність, кВ·А	Максимальний розрахунковий струм, А
	$m$	$n_e$	$K_{\text{макс}}$	$P_{\text{макс}}$	$Q_{\text{макс}}$	$S_{\text{макс}}$	$I_{\text{макс}}$
Всього Панель №4	> 3	6	1,37	333,02	142,98	362,42	550,64
Всього Панель №8	> 3	7	1,09	405,59	309,11	509,95	774,79
Всього Панель №12	> 3	13	1,07	477,49	328,77	579,73	880,81
Всього Панель №26	> 3	14	1,07	515,95	365,8	632,47	960,94
Разом Панелі №4,8,12,26	> 3	32	1,1	1698,1	1107,2	2027,2	3080

Проводимо розрахунок навантажень в двигуновому режимі. Для значної групи електродвигунів активна номінальна потужність  $P_n$ , кВт, визначається за формулою [4]

$$P_n = P_n, \quad (1.6)$$

де  $P_n$  – паспортна активна потужність електродвигуна, кВт.

$$P_n = 3 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків за формулою (1.6) приведені в таблиці 1.5.

Розрахунок загальних навантажень  $P_n$ , кВт, у повторно-короткочасному режимі виконуємо за формулою

$$P_n = P_n \cdot n \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (1.7)$$

де  $n$  – кількість електроприймачів, шт.;

$ПВ$  – повторне включення електроприймача, %;  $ПВ = 40\%$ .

$$P_{n \text{ ПВ}=100\%} = 3,5 \cdot 2 \cdot \sqrt{0,4} = 4,3 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків за формулою (1.7) приведені в таблиці 1.5.

Розрахунок змінної активної потужності  $P_{зм}$ , кВт, виконуємо за формулою [6]

$$P_{зм} = P_n \cdot K_g, \quad (1.8)$$

де  $K_g$  – коефіцієнт використання електроприймача.

$$P_{зм} = 3 \cdot 0,75 = 2,25 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків за формулою (1.8) приведені в таблиці 1.5.



$$m = P_{н.макс1} / P_{н.мін1}, \quad (1.12)$$

де  $P_{н.макс1}$  – номінальна потужність найбільшого електроприймача;  
 $P_{н.мін1}$  – номінальна потужність найменшого електроприймача.

$$m = \frac{132}{0,5};$$

$$m > 3.$$

Результати розрахунків за формулою (1.12) приведені в таблиці 1.6.  
 Визначаємо коефіцієнт використання  $K_e$  для Панелі №4 за формулою

$$K_e = \sum_1^n P_{зм} / \sum_1^n P_n, \quad (1.13)$$

$$K_e = \frac{243,13}{409,9} = 0,59.$$

Результати розрахунків за формулою (1.13) приведені в таблиці 1.6.  
 Вибираємо умови розрахунку ефективного числа  $n_e$  [4].  
 Так, для Панелі №4  $n > 5$ ;  $K_e > 0,2$ ;  $n > 3$ ;  $P_{ном} \neq const$ .

$$n_e = 2 \sum_1^n P_n / P_{н.макс1}, \quad (1.14)$$

$$n_e = \frac{2 \cdot 409,9}{132} = 6,21.$$

Результати розрахунків за формулою (1.14) приведені в таблиці 1.6.  
 Визначаємо коефіцієнт максимуму  $K_{макс}$  за табличними даними [4]

$$K_{\text{макс}} = f(n_e; K_e), \quad (1.15)$$

$$K_{\text{макс Панель №4}} = f(6,21; 0,59) = 1,37.$$

Аналогічно визначаємо коефіцієнти максимуму за формулою (1.15) для Панелі №8, Панелі №12 та Панелі №26, результати приведені в таблиці 1.6.

Визначаємо розрахункові силові навантаження методом коефіцієнта максимуму для Панелі №4.

Визначаємо активну максимальну потужність  $P_{\text{макс}}$ , кВт, за формулою

$$P_{\text{макс}} = K_{\text{макс}} \cdot P_{\text{зм}}, \quad (1.16)$$

$$P_{\text{макс Панель №4}} = 1,37 \cdot 243,13 = 333,02 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків за формулою (1.16) приведені в таблиці 1.6.

Визначаємо реактивну максимальну потужність  $Q_{\text{макс}}$ , квар, при  $n_e < 10$  за формулою

$$Q_{\text{макс}} = 1,1 \cdot Q_{\text{зм}}, \quad (1.11)$$

$$Q_{\text{макс Панель №4}} = 1,1 \cdot 129,98 = 142,98 \text{ квар.}$$

Результати розрахунків за формулою (1.11) приведені в таблиці 1.6.

Визначаємо реактивну максимальну потужність  $Q_{\text{макс}}$ , квар, при  $n_e > 10$  за формулою [4]

$$Q_{\text{макс}} = Q_{\text{зм}}, \quad (1.12)$$

$$Q_{\text{макс Панель №4}} = 328,77 \text{ квар.}$$

Результати розрахунків за формулою (1.12) приведені в таблиці 1.6.  
Визначаємо повну максимальну потужність  $S_{\text{макс}}$ , кВ·А, за формулою

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{P_{\text{макс}}^2 + Q_{\text{макс}}^2}, \quad (1.13)$$

$$S_{\text{макс Панель №4}} = \sqrt{333,02^2 + 142,98^2} = 362,42 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Результати розрахунків за формулою (1.13) приведені в таблиці 1.6.  
Визначаємо максимальний струм  $I_{\text{макс}}$  навантаження за формулою [4]

$$I_{\text{макс}} = S_{\text{макс}} / (\sqrt{3} \cdot U_n), \quad (1.14)$$

$$I_{\text{макс Панель №4}} = \frac{362,42}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 550,64 \text{ А}.$$

Результати розрахунків за формулою (1.14) приведені в таблиці 1.6.

## 1.6 Висновки до розділу 1

Розраховано електричне навантаження підстанції цеху та електричного обладнання цеху №2. Враховуючи відсутність конкретної методики аналізу можливості підвищення ефективності споживання електроенергії електричним обладнанням, в магістерській роботі запропоновано використання певного алгоритму, який може бути використано на будь-яких інших підприємствах. В роботі поставлено наступні задачі:

- 1) систематизувати виявлення та зменшення втрат електроенергії на основі альтернативних рішень;
- 2) дослідити зв'язок між об'ємами виготовленої продукції та відповідним споживанням електричної енергії;
- 3) розрахувати економічний ефект від впровадження технічного рішення, як встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності.

## 2 МОДЕЛІ ВИЯВЛЕННЯ ТА ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПІДСТАНЦІЇ

### 2.1 Проблема втрати електроенергії в мережах

Передача електроенергії від електростанції до споживачів – одне з найважливіших завдань енергетики. Електроенергія передається переважно по повітрю, лініями електропередач змінного струму, незважаючи до тенденцій все більшого використання кабельних ліній і ліній постійного струму. Необхідність передачі електроенергії на відстань обумовлена тим, що електроенергія виробляється великими електростанціями з потужними агрегатами, натомість споживається порівняно малопотужними електроприймачами, розташованими на значній території.

Тенденція до концентрації потужностей пояснюється тим, що з їх зростанням знижуються відносні витрати на спорудження електростанцій і зменшується вартість електроенергії, що виробляється. Розміщення потужних електростанцій відбувається з урахуванням низки чинників, таких, як наявність енергоресурсів, їхній вигляд, запаси і можливості транспортування, природні умови, можливість роботи у складі єдиної енергосистеми. Часто такі електростанції опиняються істотно віддаленими від основних центрів вжитку електроенергії. Від ефективності передачі на відстань залежить робота єдиних електроенергетичних систем, що охоплюють великі території [7].

Витрати енергопостачальних компаній складаються з вартості купованої енергії, витрат операційної діяльності і фінансових витрат. До витрат операційної діяльності зараховують виробничу собівартість електричної енергії (собівартість її передавання та постачання), технологічні втрати електроенергії, адміністративні витрати та інші операційні витрати, які не пов'язані безпосередньо з виробництвом електричної енергії, її передаванням та постачанням. Виробнича собівартість передавання і постачання електричної енергії, складаються з прямих матеріальних витрат

(витрат на паливо, воду, енергію, допоміжні матеріали, запасні частини), заробітної плати, відрахувань на соціальні заходи, амортизації основних засобів, втрат електричної енергії тощо (рисунок 2.1) [8]. Оскільки складова вартості технологічних витрат має порівняно велику питому вагу, вони виділені в окрему статтю витрат.

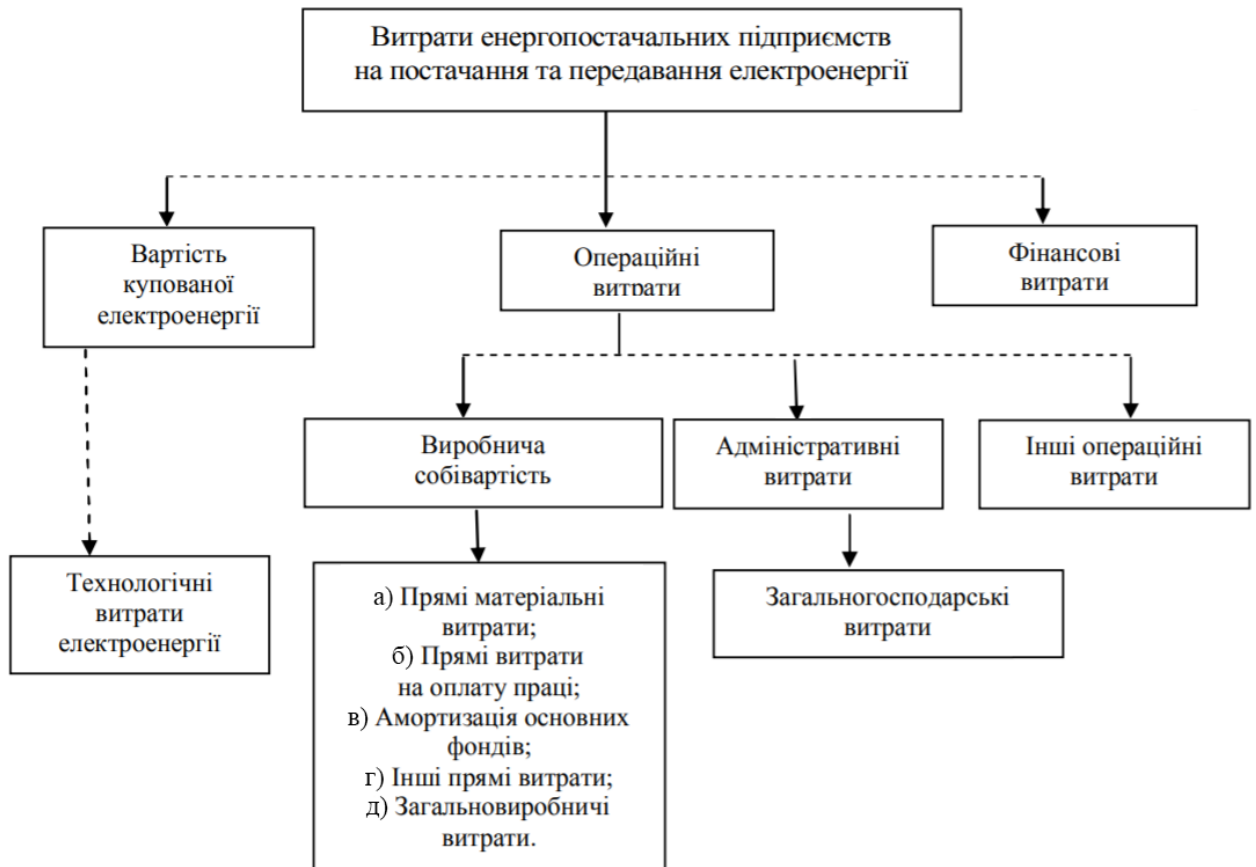


Рисунок 2.1 - Склад витрат діяльності електроенергетичних компаній

Під час передачі електричної енергії в кожному елементі електричної мережі виникають втрати. Економіка визначає втрати як частину електроенергії, на яку її зареєстрований корисний відпуск споживачам виявився меншим від електроенергії, виробленої на своїх електростанціях і закупленої в інших її виробників.

Для вивчення складових втрат у різних елементах мережі та оцінки необхідності проведення того чи іншого заходу, спрямованого на зниження втрат, виконується аналіз структури втрат електроенергії.

Втрати електроенергії в електричних мережах стали одним з важливих показників економічності роботи енергопостачальних компаній, характерним показником технічного стану електромереж, метрологічної відповідності розрахункових засобів вимірювальної техніки, ефективності функціонування енергетичного нагляду та збутової діяльності в електроенергетичній галузі [9].

Під час аналізу втрат електроенергії прийнято класифікувати їх за такими двома критеріями, як клас напруги електричної мережі та причини їхнього виникнення.

За першим критерієм розрізняють:

- а) втрати електроенергії в магістральних мережах 750-220 кВ;
- б) втрати електроенергії в замкнених мережах 110-150 кВ;
- в) втрати електроенергії в розімкнених мережах 150-35 кВ;
- г) втрати електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ;
- д) втрати електроенергії в мережах 0,38 кВ.

За критерієм причин виникнення втрати електроенергії поділяються на технологічні та комерційні втрати.

Технологічні втрати електроенергії в електричних мережах – це кількість електроенергії, яка дорівнює сумі втрат електроенергії в елементах електричних мереж, що виникають у них під час передачі електроенергії, витрат електроенергії на власні потреби підстанцій і розподільчих пунктів, витрати електроенергії на плавлення ожеледі та втрати, що виникають як результат недосконалості обліку електроенергії технічними засобами [8]. Отже, технологічні втрати електроенергії складаються з технічних, витрат на власні потреби та втрат, зумовлених недообліком електроенергії.

Поділ втрат на складові можна проводити за різними критеріями: характером втрат (постійні, змінні), класами напруги, групами елементів, виробничим підрозділами тощо. Враховуючи фізичну природу і специфіку методів визначення кількісних значень фактичних втрат, вони можуть бути розділені на чотири складові:

а) технічні втрати електроенергії, зумовлені фізичними процесами в проводах і електрообладнанні, що відбуваються під час передачі електроенергії по електричних мережах;

б) витрата електроенергії на власні потреби підстанцій, необхідні для забезпечення роботи технологічного обладнання підстанцій та життєдіяльності обслуговуючого персоналу, яка визначається за показами лічильників, встановлених на трансформаторах власних потреб підстанцій;

в) втрати електроенергії, зумовлені інструментальними похибками їхнього вимірювання (інструментальні втрати);

г) комерційні втрати, зумовлені розкраданнями електроенергії, невідповідністю показань лічильників оплаті за електроенергію побутовими споживачами та іншими причинами в сфері організації контролю за споживанням енергії [9].

На рисунку 2.2 представлено структуру втрат електроенергії в мережах.

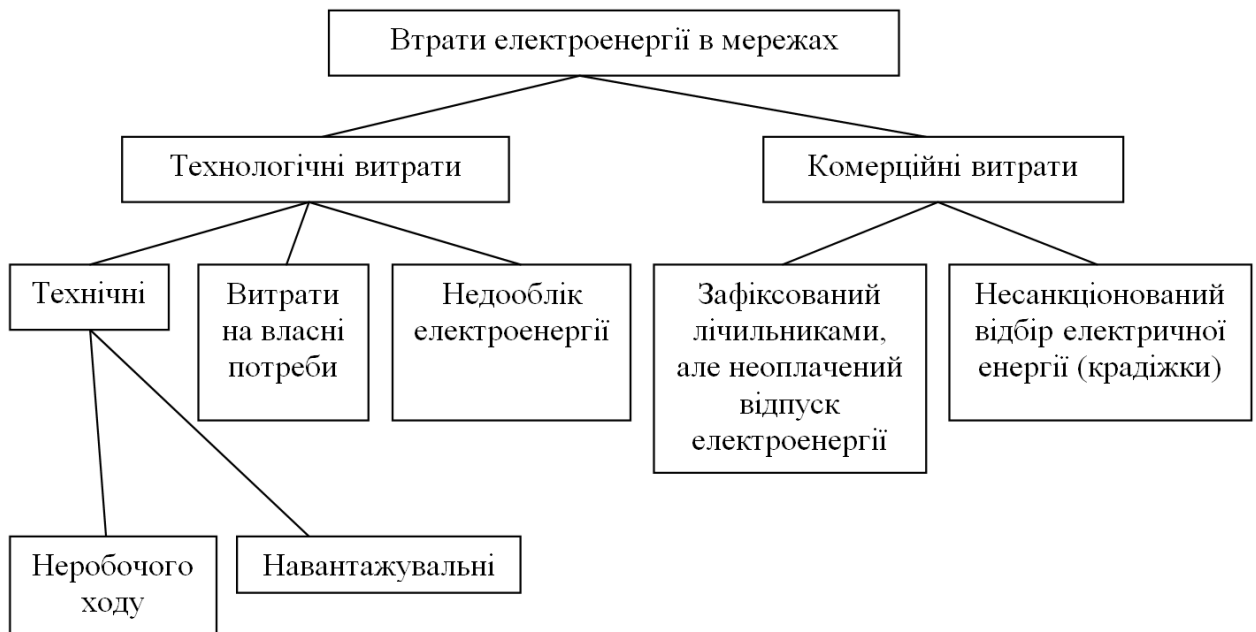


Рисунок 2.2 - Структура втрат електроенергії в мережах

Найперспективнішим рішенням проблеми зниження комерційних втрат електроенергії є розроблення, створення і широке застосування

автоматизованих систем контролю і комерційного обліку електроенергії, щільна інтеграція цих систем з програмним і технічним забезпеченням автоматизованих систем диспетчерського керування з використанням надійних каналів зв'язку і передавання інформації.

Вирішення проблеми зменшення втрат електроенергії складається з шести етапів: збирання необхідної інформації; розрахунок втрат як показника роботи енергопостачальної компанії та перевірка достовірності цих розрахунків; виявлення місць з підвищеним значенням втрат електроенергії; вибір ефективних заходів щодо їх зниження та проведення ретроспективного аналізу роботи енергосистем щодо ефективності впроваджуваних ними заходів; прогнозування втрат в енергосистемі [10].

## 2.2 Сутність системи виявлення та зменшення втрат на основі альтернативних рішень

На сьогоднішній день склалися несприятливі умови, які загрожують надійному та сталому функціонуванню системи електрозабезпечення. Застарілі, не модернізовані електричні мережі всіх класів напруги, призводять до втрат електроенергії при передаванні. Зростання кількості об'єктів, які відпрацювали свій технічний ресурс, призводить до погіршення показників надійності мереж підприємства. На основі цього можна запропонувати сформуванню системи рішень, які дали б змогу вирішити проблеми, що склалися у енергопостачальних підприємств.

На рисунку 2.3 зображено альтернативні рішення зі зменшення втрат на підстанції цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат».

Втрати електроенергії в мережах є складовою операційних витрат підприємства, тому прийняття рішень щодо їх зменшення має принциповий характер. Кожен вид рішень має свою особливість та важливість прийняття. Рішення пов'язані зі зниженням втрат, удосконалення технічного обслуговування електричних мереж, передбачено зниження витрат



електроенергії на власні потреби підстанцій, скорочення тривалості технічного обслуговування і ремонту основного устаткування електричних мереж і електростанцій, а також виконання робіт під напругою [11].

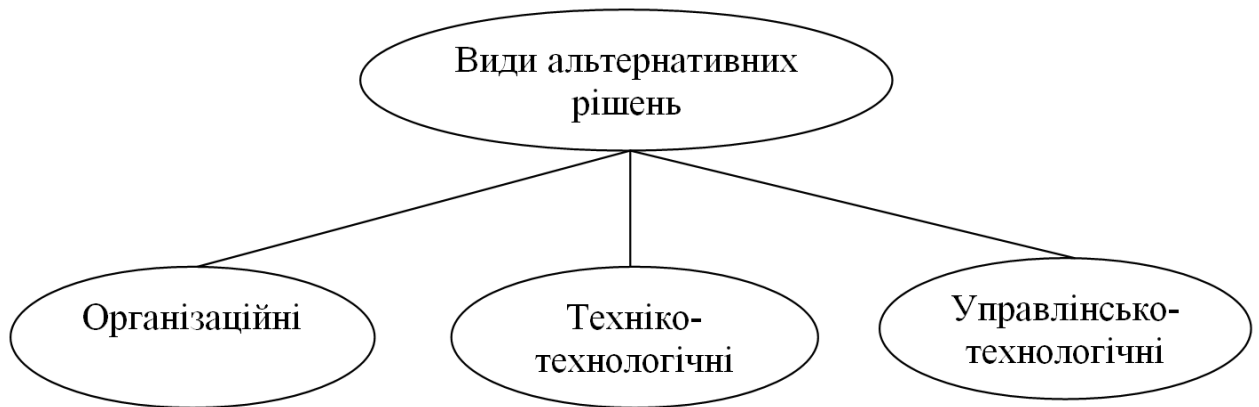


Рисунок 2.3 - Види альтернативних рішень щодо зменшення втрат електроенергії на підстанції

Оцінку можливостей щодо зменшення фактичних втрат електроенергії на власні потреби необхідно проводити для кожної підстанції окремо, враховуючи при цьому специфіку енергетичного об'єкту, плани його реконструкції, технічного переоснащення та заходи, передбачені планами ремонтно-технічного обслуговування [12].

До основних заходів, направлених на зменшення споживання електроенергії власних потреб можна віднести:

- а) використання для освітлення енергозберігаючих ламп;
- б) заміна застарілих енергозатратних систем електричного опалення на сучасні та впровадження пристроїв регулювання температури окремо для кожного приміщення, комірок, шаф зовнішнього розташування;
- в) оптимізація схем власних та господарських потреб, в першу чергу підстанцій, а також постійний контроль за обігрівом та охолодженням силового обладнання;
- г) виведення з роботи компресорного господарства після заміни повітряних вимикачів;

д) відключення в холодний резерв незадіяного обладнання зв'язку та телемеханіки;

е) дієвий контроль за використанням електроенергії на господарські потреби.

Робота електроенергетичної галузі висуває підвищені вимоги до систем обліку електроенергії: рівня їх автоматизації, точності, надійності. Основна мета удосконалення системи обліку – створення можливості отримання достовірного балансу виробництва, передачі, розподілення та споживання електричної потужності та енергії як на окремому споживачу електроенергії, так і в державі в цілому [11].

Усі рішення мають бути взаємопов'язаними між собою, тобто практично завжди необхідним є загальносистемний підхід до вибору цих рішень. Як наслідок, в роботі пропонується створити систему альтернативних рішень, щоб досягти бажаного результату. Як і кожна система, так і система альтернативних рішень повинна базуватись на своїх властивостях, які об'єднують ці рішення в цілісну систему (рисунок 2.4).

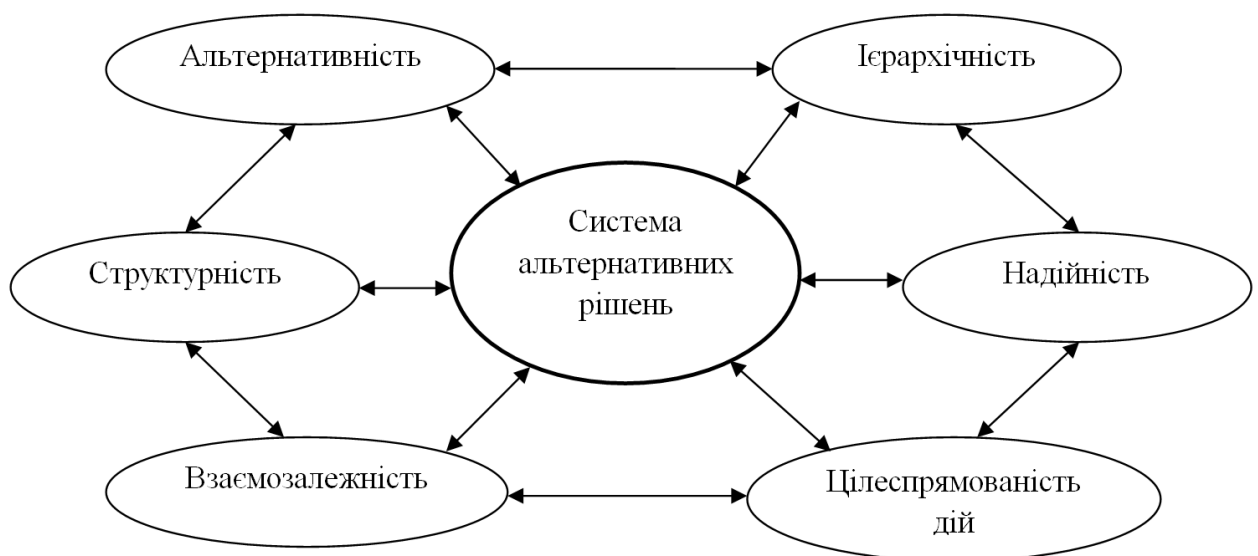


Рисунок 2.4 - Принципи побудови системи альтернативних рішень

Отже, щоб прийняти рішення щодо зменшення втрат електроенергії на енергопостачальних підприємствах, нами запропоновано використати

систему альтернативних рішень. В свою чергу ця система базується на принципах, які забезпечують її ефективне функціонування.

Структурність – кожне рішення має свою структуру, яке характеризує організованість системи альтернативних рішень на енергопостачальних підприємствах. Структурність зв'язків даної системи є відносно незалежною, тобто рішення можуть прийматися як цілісно, так і поодиноці [11].

Надійність – при виявленні порушення одного компонента функціонування системи альтернативних рішень, негайна заміна на інше рішення зі збереженням кінцевого бажаного результату проекту.

Взаємозалежність – рішення пов'язані між собою, а також із зовнішнім середовищем, що дасть можливість більш точно оцінити ситуацію та обрати правильне альтернативне рішення.

Ієрархічність – в системі альтернативних рішень на енергопостачальних підприємствах ставиться план першочергового прийняття рішень та наступних з меншою вагомістю.

Цілеспрямованість дій – діяльність системи альтернативних рішень на енергопостачальних підприємствах підпорядкована одній цілі – зменшення втрат електроенергії.

Альтернативність – кожен елемент системи може розглядатися, як окрема система рішень для виконання поставлених цілей.

Найбільший вплив на вибір рішення, забезпечують критерії, які дають можливість оцінити перспективність даного вибору, та поставлені обмеження при яких буде формуватися економіко-математична модель для зменшення втрат електроенергії. Дана система базується на альтернативних рішеннях щодо зменшення втрат електроенергії при транспортуванні. Робота щодо зниження технологічних втрат електроенергії повинна носити плановий характер і відповідати вимогам порядку формування інвестиційних програм ліцензіатів з передачі та постачання електричної енергії [11].

Розробляючи плани заходів щодо зниження втрат електроенергії при її передаванні використовують різні методи:

а) нормативний метод планування, який використовує системи норм та нормативів технологічних втрат електроенергії;

б) балансовий метод планування, який полягає у складанні балансів електроенергії за суб'єктами енергетики в цілому, їх структурними підрозділами та енергетичними об'єктами;

в) метод планування технологічних втрат електроенергії за техніко-економічними показниками, який враховує впровадження нової техніки та технологій, нове будівництво, реконструкцію та технічне переоснащення електричних мереж і супутній економічний ефект [11].

Розробляючи плани зниження технологічних втрат електроенергії потрібно керуватися особливостями представленими у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Особливості розробки планів зниження технологічних втрат електроенергії

Особливості	Зміст особливостей
Неперервність планування	Розробляються короткострокові (на термін до року) та довгострокові (на термін понад один рік) плани заходів щодо зниження технологічних втрат електроенергії
Спрямованість дій	Доцільне використання всіх ресурсів та підвищення ефективності виробництва
Інноваційність	Планування здійснюється на інноваційній основі
Пріоритетність реалізації заходів	Вибір та виконання в першу чергу заходів, які є найбільш ефективними
Взаємна ув'язка і координація суб'єктів електроенергетики	В плануванні мають бути задіяні всі структурні підрозділи суб'єкта електроенергетики для забезпечення збалансованої роботи

Для вибору заходів, особливо пов'язаних зі зміною схеми електричної мережі, потрібно застосовувати методи характерних режимів, характерної доби, головних компонентів, гармонік, що домінують тощо, у яких втрати електроенергії розраховуються за навантаженнями вузлів поза залежністю від перетікань у відгалуженнях. Якщо існують важко передбачувані, а тим

більше реверсні перетікання потужності, потрібно під час вибору заходів визначати характерні для даної електричної мережі втрати електроенергії і за можливості вже за ними вибирати заходи щодо їхнього зниження [13].

Розрахунки технологічних втрат електроенергії на підприємствах виконують за різними даними, такими як, ретроспективні дані, оперативні дані, які отримують за допомогою телевимірювань, та за даними прогнозованими на перспективу – рік і більше.

Ретроспективні розрахунки на підприємствах виконують для визначення структури технологічних втрат електроенергії за групами елементів електричної мережі та визначення втрат електроенергії, виявлення елементів (груп елементів) з підвищеними технологічними втратами електроенергії і розроблення заходів щодо їх зниження. Також ці розрахунки використовують для визначення фактичної ефективності впроваджених заходів щодо зниження технологічних втрат електроенергії, складання балансів електроенергії за суб'єктами енергетики в цілому, їх структурними підрозділами і енергетичними об'єктами та для розроблення заходів щодо зведення небалансів до допустимих значень та визначення техніко-економічних показників суб'єктів енергетики [13].

Оперативні розрахунки дають змогу контролювати поточні значення технологічних втрат електроенергії та їх зміни в часі і оперативно коригувати режими, також схеми електричних мереж з метою мінімізації технологічних втрат електроенергії. Перспективні розрахунки виконують функцію визначення очікуваних технологічних витрат електроенергії на наступний і подальші роки та розрахунку очікуваної ефективності планованих заходів щодо зниження технологічних втрат.

Рівень втрат енергії залежить від різних факторів. З однієї сторони, це особливості устаткування, що експлуатується, з іншої – це особливості процесу передавання електроенергії. Звідси випливає можливість складання поетапної послідовності до визначення втрат електричної енергії на підприємствах.

У разі оцінювання ефективності втрат на реалізацію заходів щодо зниження втрат електроенергії розглядають заходи двох видів:

а) заходи, експлуатаційні витрати, техніко-економічні показники діяльності підприємства та капітальні вкладення в які змінюються за роками розрахункового періоду;

б) заходи з одноразовими витратами, а експлуатаційні витрати і техніко-економічні показники діяльності підприємства, є стабільними протягом терміну окупності, який не перевищує одного року [14].

Методи реалізації системи альтернативних рішень щодо зниження втрат представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Методи реалізації системи альтернативних рішень щодо зниження втрат електроенергії на підстанції

Вид методу	Зміст методу	Економічний ефект методу
1	2	3
Оптимізація місць розмикання ліній напругою 6-35 кВ із двостороннім живленням	Оптимізацію місць розмикання ліній 6-35 кВ здійснюють на основі перебирання точок можливого розмикання електричної мережі з оцінюванням зміни втрат електроенергії як в електричній мережі 6-35 кВ, яка розмикається, так і в живильних електричних мережах 110-220 кВ, що відбувається внаслідок перенесення навантаження з однієї вузлової ПС на іншу. Захід є одним з найбільш ефективних організаційних заходів зниження технологічних втрат електроенергії в електричних мережах	Зменшення технологічних втрат
Вимкнення трансформаторів у режимах малих навантажень на підстанціях із двома і більше трансформаторами	Захід виконують у разі, якщо зменшення втрат неробочого ходу перевищує збільшення навантажувальних втрат, що відбувається при цьому	Збільшення терміну використання устаткування

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
Оптимізація ведення режимів роботи основної електричної мережі за напругою	Ведення оптимальних режимів диспетчер може здійснювати відповідно до графіка регулювання, складеного на підставі попередньо проведених прогнозних розрахунків (керування в режимі offline) або в темпі процесу (online) на основі даних, що надходять від системи телевимірювання. Ведення оптимальних режимів у темпі процесу є набагато ефективнішим, тому що використовуються фактичні, а не прогнозні дані про режим	Скорочення затрат часу
Переведення генератора електростанції у режим синхронного компенсатора	Доцільність такого переведення визначають на основі порівняння зниження втрат електроенергії в електричній мережі за рахунок використання цього джерела і витрат електроенергії на його роботу	Відносне зменшення втрат
Оптимізація розподілу навантаження між підстанціями основної електромережі напругою 110 кВ і вище	Зазвичай здійснюють на основі варіантних розрахунків, за сезонних змін навантаження його виконують не менш двох разів на рік	Фактичне зменшення втрат
Рекомендації з вирівнювання добових графіків навантаження споживачів електроенергії	Даний захід пов'язано зі зменшенням складової втрат електроенергії, що залежить від форми графіків навантажень	Економічність розроблення графіків навантажень

Під час розрахунку ефективності заходів зі зниження втрат, так само як і інших заходів щодо регулювання та економії електроенергії на підприємствах, необхідно враховувати системний ефект при зниженні втрат у електричних мережах суб'єкта енергетики. Так, наприклад, під час аналізу питання про оптимальну кількість трансформаторів у різних режимах роботи

підприємства необхідно враховувати зміну втрат не тільки в цих трансформаторах, але й в електричних мережах суб'єкта енергетики з урахуванням того, що увімкнення-вимкнення трансформатора призводить до зміни як активних, так і реактивних втрат. У разі оптимізації кількості трансформаторів необхідно розраховувати зниження втрат як активної, так і реактивної потужностей і потім визначати результуючий ефект з урахуванням зміни втрат в електричних мережах суб'єкта енергетики. Вибір заходів є ітераційним процесом, при цьому впровадження одних заходів впливає на інші. Цей процес закінчується тоді, коли послідовний вибір даних заходів сприятиме тому, що зміна втрат електроенергії буде дорівнювати нулю. Тому завжди має переважати загальносистемний, комплексний підхід до вибору заходів. Для обліку впливу зміни навантаження чи втрат в електричних мережах споживачів на втрати в електричних мережах суб'єкта енергетики рекомендовано використовувати узагальнені коефіцієнти приросту втрат активної потужності в електричних мережах суб'єкта енергетики в разі зміни активного і реактивного навантажень в електричних мережах споживачів [14].

Коефіцієнт втрат активної потужності  $K_n$ , в разі зміни активного навантаження в електричних мережах споживачів – це відношення зміни втрат в електричних мережах суб'єкта енергетики до зміни активного навантаження в електричних мережах споживачів. Наприклад,  $K_n = 0,1$  означає, що в разі зменшення навантаження в електричній мережі споживача на 1 кВт втрати в електричних мережах суб'єкта енергетики зменшуються на 0,1 кВт. Коефіцієнт приросту втрат активної потужності до зміни реактивного навантаження називається економічним еквівалентом реактивної потужності  $K_p$ . Він характеризує зміни втрат активної потужності в електричних мережах суб'єкта енергетики в разі зміни реактивного навантаження в електричних мережах споживачів. Якщо  $K_p = 0,05$ , то це означає, що в разі збільшення реактивного навантаження в електричній



мережі підприємства на 100 квар втрати в електричних мережах суб'єкта енергетики збільшуються на 5 кВт.

У разі збільшення потужності конденсаторної батареї на 100 квар – втрати потужності в електричних мережах суб'єкта енергетики зменшуються на 5 кВт. Якщо зміни перетікань реактивної потужності, викликані зміною реактивного навантаження електричної мережі підприємства, спрямовано протилежно до похідного перетікання реактивної потужності, величина  $K_p$  приймає негативні значення. У цьому разі збільшення реактивного навантаження призведе до зменшення втрат в електричних мережах [14].

Енергопостачальні підприємства плануючи свою діяльність ставлять перед собою цілі, досягнення яких можливе внаслідок дій, які будуть виконуватися в певній послідовності. Найбільш складним етапом є прийняття правильного рішення, яке дасть найкращий результат. Рішення лише тоді принесе користь, коли буде націлене на ефективне використання ресурсів енергетичного підприємства і може бути ним реалізоване [11].

### 2.3 Висновки до розділу 2

Сформувавши систему альтернативних рішень для зменшення втрат електроенергії на енергопостачальних підприємствах, ми маємо можливість вирішити поставлені перед підприємством ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» проблеми пов'язані із втратами електроенергії при її передаванні. Кожен етап прийняття рішення щодо уникнення втрат електроенергії при транспортуванні вимагає глибокого декомпонування та аналізування, оскільки це є комплексним процесом. Створивши порядок прийняття рішень щодо зменшення втрат електроенергії, можна сказати, як саме приймаються рішення та хто і що на них впливає. Ціль ухвалення рішення – зробити кращий вибір з декількох наявних можливостей, щоб домогтися визначеного результату.

### 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЦЕХУ №2

#### 3.1 Пріоритетні завдання в цеху №2

Для забезпечення раціонального і економного використання енергії у виробництві цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» розробляються плани організаційно-технічних заходів по середньому зниженню питомих норм витрат електроенергії.

Передбачаються заходи щодо зниження витрат електроенергії за рахунок вдосконалення технологічних процесів виробництва, впровадження нової техніки, підвищення продуктивності діючого устаткування, вдосконалення способів виробництва і прийомів роботи, автоматизації [15].

При обстеженні шляхом ознайомлення з документацією, звітами, даними випробувань і вимірів, шляхом огляду технологічних і електричних установок перевіряються: планові і фактичні енергобаланси об'єкта; стан нормування витрат електроенергії; облік електроенергії; розробка планів організаційно-технічних заходів щодо економії електроенергії та їх виконання; робота по компенсації реактивної потужності; стан організаційно-масової роботи, спрямованої на економію електроенергії; виконання встановлених планів споживання електроенергії; робота з регулювання навантаження об'єкта в години максимуму енергосистеми [16].

Втрати електроенергії, усунення яких можливо і економічно доцільно, можна розділити на:

а) втрати, викликані незадовільною експлуатацією обладнання та інженерних мереж;

б) втрати, викликані конструктивними недоліками обладнання, неправильним вибором технологічного режиму роботи, відставанням розвитку інженерних мереж тощо.

До втрат, викликаних незадовільною експлуатацією обладнання та інженерних мереж, відносяться:

а) нераціональне використання освітлювальних установок;

б) неповне завантаження технологічного обладнання, непланові простої, несправність обладнання; технологічні порушення, що спричиняють неробочий хід і нераціональне використання агрегатів; відсутність технологічних карт, що визначають оптимальний режим роботи обладнання; погана організація робочих місць;

в) наднормативні втрати електроенергії в електрообладнанні і мережах: наявність електродвигунів завищеною потужності; холостий хід зварювальних трансформаторів, технологічного обладнання; відсутність або недостатня компенсація реактивної потужності; робота мережевих трансформаторів у вихідні дні та години нічних провалів навантаження [15].

При аналізі планового і фактичного енергобалансу визначається електроспоживання в цілому по об'єкту (в тому числі на технологічні, технічні та допоміжні споживачі) [16].

При розробці плану організаційно-технічних заходів з економії енергоресурсів, заходи з усунення та скорочення втрат енергоресурсів повинні бути поділені на:

а) організаційні заходи, що здійснюються без додаткових витрат;

б) заходи поточного порядку, які здійснюються за рахунок коштів підприємства або кредитів банку;

в) заходи реконструкційного порядку.

Складання, розробка і здійснення планів організаційно-технічних заходів щодо економії електроенергії мають велике організуюче значення, є необхідними формами планомірного і ефективного використання непродуктивних витрат і резервів економії на кожному виробництві.

План організаційно-технічних заходів повинен включати заходи з раціонального електроспоживання; впровадження більш досконалих технологічних процесів і обладнання, що вимагають менших питомих енерговитрат; боротьбу з втратами електроенергії в усіх ланках електроспоживання підприємства [15].

Контроль за роботою по компенсації реактивної потужності має на меті забезпечити точне виконання заданого енергосистемою режиму роботи об'єкта. Забезпечує зниження втрат електроенергії в розподільних мережах об'єкта і енергосистеми. При цьому забезпечуються оптимальні рівні напруги у споживачів, що в свою чергу підтримує оптимальний режим роботи технологічного обладнання, знижує питомі витрати енергії на продукцію, що випускається. Таким чином, компенсація реактивної потужності є одним із ефективних заходів економії електроенергії.

Зниження навантаження об'єкта в години максимуму енергосистеми забезпечує отримання значного економічного ефекту як на самому об'єкті, так і в енергосистемі за рахунок зниження втрат електроенергії в мережах, зниження основної плати за електроенергію, створення сприятливого режиму роботи енергосистеми в найбільш напружений період доби [16].

По кожному заходу, що включається в план, необхідно виробляти визначення його економічної ефективності. Для аналізу результатів використання електроенергії за звітний період і встановлених підприємству питомих норм витрат електроенергії важливе значення має правильне складання звітів про виконання організаційно-технічних заходів.

Більш точне визначення фактично отриманої економії енергії може бути підраховано обліковими приладами. У тому випадку, коли установка або цех або окремих агрегат не має самостійного обліку, отримана економія визначається за розрахунком виходячи з термінів впровадження заходів і фактично виконаного обсягу робіт [15].

Для скорочення втрат електроенергії в силових установках передбачається: виявлення слабо завантажених силових трансформаторів, асинхронних електродвигунів і їх заміна; виявлення та усунення перевантаження ділянок кабельних і повітряних ліній, а також несиметрії навантаження фаз; усунення коливань і невідповідності нормам напруги, що підводиться до електроприймачів; здійснення заходів щодо компенсації реактивної потужності; аналіз можливості використання частотно-струмових

систем управління і пристроїв плавного пуску; зниження втрат електроенергії за рахунок поліпшення технічного обслуговування і зменшення тертя між обертовими частинами машин і механізмів; заміна застарілого електроустаткування і механізмів більш досконалішими і економічними; проведення перевірок технічного стану електрообладнання та організація його ремонту; технічне навчання обслуговуючого персоналу, спрямоване на вдосконалення експлуатації електрообладнання та максимальне скорочення втрат електроенергії [16].

### 3.2 Компенсація реактивної потужності

Залежно від виду використовуваного устаткування електричне навантаження підрозділяється на активне, індуктивне і ємнісне. Найчастіше споживач має справу із змішаними активно-індуктивними навантаженнями. Відповідно, з електричної мережі відбувається споживання як активної, так і реактивної енергії.

Активна енергія перетворюється в корисну – механічну, теплову та інші енергії. Реактивна енергія не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електромагнітних полів в електродвигунах, трансформаторах, індукційних печах, зварювальних трансформаторах, дроселях і освітлювальних приладах [17].

Реактивна потужність, яка споживається промисловим підприємством у кожній даній точці мережі, визначається величиною намагнічувальної потужності, яка необхідна для окремих елементів електроустановки, які розташовані за даною точкою в напрямку передачі енергії. Реактивні навантаження підприємств не залишаються незмінними не тільки протягом більш-менш тривалих проміжків часу доби місяця року, але й протягом однієї виробничої зміни. Ці навантаження безупинно змінюються залежно від виробничої програми окремих струмоприймачів, від ступеня їхнього завантаження і відносної тривалості ввімкнення, від коливань напруги в

мережі, від якості обслуговування устаткування експлуатаційним і ремонтним персоналом та від інших факторів [17].

Компенсація реактивної потужності є найдешевшим і ефективним засобом підвищення техніко-економічних показників електропостачання, який зменшує всі види втрат електроенергії.

Реактивна потужність разом з активною потужністю враховується постачальником електроенергії, а отже, підлягає оплаті по тарифах, що діють, тому складає значну частину рахунку за електроенергію.

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивній потужності (конденсаторних батарей, синхронних двигунів і синхронних компенсаторів). За рахунок приєднання до мережі компенсуючого пристрою зменшуються втрати потужності і напруги. На практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,93 до 0,99 [17].

Відносну ефективність зменшення реактивного навантаження в тому чи іншому пункті електричної мережі можна оцінити за допомогою так званого економічного еквівалента реактивної потужності. Економічний еквівалент чисельно дорівнює зменшенню втрат активної потужності в мережах при зменшенні реактивного навантаження на 1 квар.

Основним джерелом реактивної потужності є синхронні генератори електростанцій. Передавання реактивної потужності з енергосистеми до споживачів не є раціональним, оскільки виникають додаткові втрати активної потужності у всіх елементах систем електропостачання, обумовлені завантаженням реактивної потужності, та додатковими втратами в живлячих мережах. Щоб знизити ці втрати, необхідно біля споживачів встановлювати додаткові джерела реактивної потужності, основними серед яких є конденсатори [17].

Конденсатор – це пристрій, який складається з двох провідників, розділених діелектриком. Конденсатор здатний накопичувати електричний

заряд (заряджатися) і віддавати його (розряджатися). Потужність конденсаторів складає від 2 до 100 квар. Конденсатори класифікують за:

- а) номінальною напругою;
- б) родом установки (для зовнішньої і внутрішньої);
- в) типом просочення;
- г) за габаритними розмірами.

Конденсатори з номінальною напругою до 660 В випускаються в однофазному та трифазному виконанні, конденсатори з номінальною напругою понад 1000 В – тільки в однофазному. При трифазному виконанні секції в конденсаторі з'єднані в трикутник [18].

Групу конденсаторів, з'єднаних між собою паралельно або послідовно, або паралельно-послідовно, називають конденсаторною батареєю.

Конденсаторні батареї – простий і надійний статичний пристрій. Їх збирають з окремих конденсаторів, які випускаються на різноманітні потужності і номінальну напругу. Конденсаторна батарея, обладнана комутаційною апаратурою, засобами захисту і управління, утворює конденсаторну установку [18].

Комплектні конденсаторні установки на напругу 380 В виготовляються для внутрішньої установки, а на напругу 6-10 кВ – як для внутрішньої, так і для зовнішньої. Більшість типів сучасних комплектних конденсаторних установок обладнано пристроями для одно- або багатоступінчастого автоматичного регулювання їх потужності, також комплектні конденсаторні установки можуть бути і нерегульованими. При одноступінчастому регулюванні автоматично вмикається і вимикається вся установка. При багатоступінчастому регулюванні автоматично перемикаються окремі секції батарей конденсаторів [19].

Комплектні конденсаторні установки на напругу 380 В виконуються з трифазних конденсаторів, а на напругу 6-10 кВ – з однофазних конденсаторів потужністю 25-75 квар, з'єднаних в трикутник [20].

Комплектна конденсаторна установка складається з шафи вводу і шафи з конденсаторами. В установках на напругу 380 В в шафі вводу встановлюються: пристрій автоматичного регулювання, трансформатори струму, роз'єднувачі, вимірювальні прилади (три амперметра і вольтметр), апаратура управління і сигналізації [20].

Компенсація реактивної потужності за допомогою конденсаторних батарей може бути індивідуальна, групова і централізована.

Індивідуальну компенсацію застосовують на напрузі до 660 В. При цьому конденсаторну батарею наглухо приєднують до затискачів приймача. У цьому випадку від реактивної потужності розвантажується вся мережа системи електропостачання [19].

Групова компенсація – застосовується для випадку компенсації декількох індуктивних навантажень, які розташовані поруч і вмикаються одночасно, під'єднаних до одного розподільного пристрою і які компенсуються однією конденсаторною батареєю [17]. При цьому використання встановленої потужності дещо збільшується, але розподільна мережа від розподільного пункту до приймача залишається навантаженою реактивною потужністю навантаження [19].

При централізованій компенсації конденсаторну батарею приєднують на шини 0,4 кВ цехової підстанції або на шини 6-10 кВ головної знижувальної підстанції. У цьому випадку розвантажуються трансформатори головної знижувальної підстанції і мережа живлення. Використання встановленої потужності конденсаторів при цьому виходить найбільш високою [19]. Для підприємств, які потребують змінної реактивної потужності постійно ввімкнені батареї конденсаторів не прийнятні, оскільки при цьому може виникнути режим недокомпенсації або перекомпенсації. У цьому випадку конденсаторна установка оснащується спеціалізованим контролером і комутаційно-захисною апаратурою. При відхиленні значення  $\cos\varphi$  від заданого значення контролер підключає або відмикає ступені конденсаторів. Перевага централізованої компенсації полягає в наступному:



ввімкнена потужність конденсаторів відповідає спожитій в конкретний момент часу без перекомпенсації або недокомпенсації [17].

Ємності фаз конденсаторної установки повинні контролюватися стаціонарними пристроями вимірювання струму в кожній фазі. Для установок потужністю до 400 квар допускається вимір струму тільки в одній фазі. З'єднання конденсаторів між собою і підключення їх до шин повинні виконуватися гнучкими перемичками [19].

Для розрахунку параметрів компенсаторної установки в мережі знімають характерні добові графіки навантаження і значення  $\cos \varphi$ , за якими визначають середнє значення коефіцієнта потужності за період. Знаючи фактичний і потрібний (за умовами компенсації) коефіцієнт потужності, а також споживання активної електроенергії, можна розрахувати потрібну потужність конденсаторної установки [17].

Через коефіцієнт реактивної потужності  $\operatorname{tg} \varphi$ , за даними таблиці 1.6, визначаємо коефіцієнт потужності  $\cos \varphi$  за формулою [21]

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{\max}}{P_{\max}}, \quad (3.1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1107,2}{1698,1} = 0,65;$$

$$\cos \varphi = 0,84.$$

Реактивну потужність, яку необхідно зкомпенсувати  $Q_{\text{кв}}$ , квар, визначаємо за формулою

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\max} - Q_e = P_{\max} \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_e), \quad (3.2)$$

де  $Q_e$  – межа значення потужності, що виділяється цеху в період максимуму активної потужності, квар;

$tg\varphi_e$  – тангенс оптимального кута, який відповідає величині  $Q_e$ ;  
 $tg\varphi_e = 0,2$  [21].

$$Q_{ку} = 1698,1 \cdot (0,65 - 0,2) = 764,15 \text{ квар.}$$

З каталогу вибираємо дві комплектні автоматичні конденсаторні установки УКМ 58-0,4-375-25 УЗ [22], щоб забезпечити рівність

$$Q_{ку} \geq Q_{нку}, \quad (3.3)$$

де  $Q_{нку}$  – номінальна потужність конденсаторної установки, квар.

$$764,15 \text{ квар} > 750 \text{ квар.}$$

Умови за формулою (3.3) виконуються, отже вибір конденсаторної установки виконано вірно.

Технічні характеристики двох автоматичних комплектних конденсаторних установок УКМ 58-0,4-375-25 УЗ приведені у таблиці 3.1 [22].

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики УКМ 58-0,4-375-25 УЗ

Тип	Потужність, квар	Номінальний струм, А	Номінальний струм ввідного запобіжника, А	Мінімальна ступінь, квар
УКМ 58-0,4-375-25 УЗ	375	522	800	25

Обрані комплектні конденсаторні установки напругою 380 В, призначені для внутрішньої установки, під'єднують їх на шини 0,4 кВ

цехової підстанції (централізована компенсація). Діапазон потужностей цих установок досить широкий, вони обладнані пристроями для багатоступінчастого автоматичного регулювання потужності.

Через коефіцієнт реактивної потужності  $tg\varphi$ , визначаємо коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$  після компенсації за формулою

$$tg\varphi = \frac{Q_{\max} - Q_{\text{нку}}}{P_{\max}}, \quad (3.4)$$

$$tg\varphi = \frac{1107,2 - 750}{1698,1} = 0,21;$$

$$\cos\varphi = 0,98.$$

Загальний обсяг споживання реактивної потужності обладнанням цеху при встановленні конденсаторних установок представлено на рисунку 3.1.

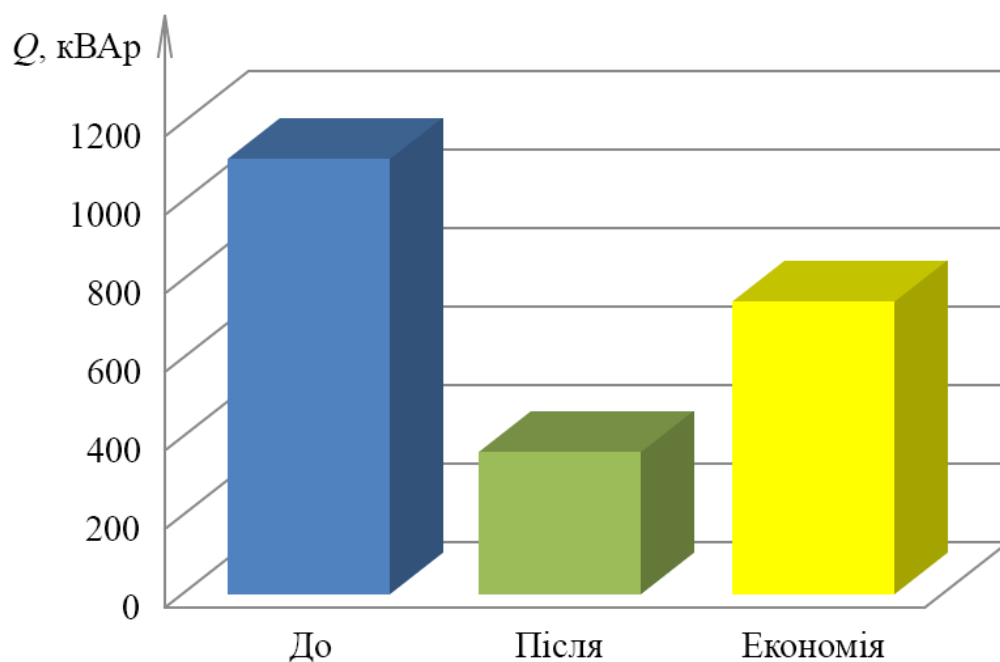


Рисунок 3.1 - Обсяги споживання реактивної потужності обладнанням цеху при встановленні конденсаторних установок

Виконуємо техніко-економічне обґрунтування застосування конденсаторних установок. Втрати активної енергії на компенсацію  $\Delta P$ , кВт, визначаємо за формулою

$$\Delta P = \Delta P_{\kappa} \cdot Q_{\text{нкк}} \cdot T_{\text{роб}}, \quad (3.5)$$

де  $\Delta P_{\kappa}$  – питомі витрати на компенсацію, кВт;  $\Delta P_{\kappa} = 0,045$  кВт [21];

$T_{\text{роб}}$  – час роботи обладнання за рік, год;  $T_{\text{роб}} = 8760$  год.

$$\Delta P = 0,045 \cdot 750 \cdot 8760 = 295,65 \text{ тис. кВт.}$$

Розрахунок вартості втрат активної енергії на компенсацію  $B_{\text{вкк}}$ , грн, виконується за формулою [21]

$$B_{\text{вкк}} = \Delta P_{\kappa} \cdot Q_{\text{нкк}} \cdot T_{\text{роб}} \cdot B_o = \Delta P \cdot B_o, \quad (3.6)$$

де  $B_o$  – вартість електроенергії за тарифом (без ПДВ, згідно постанови НКРЕКП від 04.11.2020 №1998 [23]), грн/кВт·год;  $B_o = 3,1276$  грн/кВт·год.

$$B_{\text{вкк}} = 0,045 \cdot 750 \cdot 8760 \cdot 3,1276 \cdot 1,2 = 1109,61 \text{ тис. грн.}$$

Норму амортизації  $H_a$ , %, визначаємо за формулою

$$H_a = \frac{K}{T_n \cdot K} \cdot 100 \%, \quad (3.7)$$

де  $K$  – капітальні витрати на установки, грн;  $K = 300$  тис. грн;

$T_n$  – нормативний термін служби обладнання, років;  $T_n = 15$  років.

$$H_a = \frac{300}{15 \cdot 300} \cdot 100 = 6,67 \%.$$

Амортизаційні відрахування  $B_a$ , грн, визначаємо за формулою [21]

$$B_a = K \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (3.8)$$

$$B_a = 300 \cdot \frac{6,67}{100} = 20 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок повних річних витрат  $B_{\text{кв}}$ , грн, виконуємо за формулою

$$B_{\text{кв}} = B_{\text{вкв}} + B_a + 0,15 \cdot K, \quad (3.9)$$

$$B_{\text{кв}} = 1109,61 + 20 + 0,15 \cdot 300 = 1174,61 \text{ тис. грн.}$$

Річну економію за рахунок зниження витрат активної енергії при зменшенні реактивної потужності  $E_{pe}$ , грн, визначаємо за формулою [21]

$$E_{pe} = K_{\text{вв}} \cdot Q_{\text{нкв}} \cdot T_{\text{роб}} \cdot B_o - B_{\text{кв}}, \quad (3.10)$$

де  $K_{\text{вв}}$  – коефіцієнт використання витрат;  $K_{\text{вв}} = 0,2$  [20].

$$E_{pe} = 0,2 \cdot 750 \cdot 8760 \cdot 3,1276 \cdot 1,2 - 1174610 = 3757 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок річного електроспоживання обладнанням цеху  $W$ , кВт·год, за даними таблиці 1.5 виконуємо за формулою

$$W = \sum P_{\text{зм}} \cdot T_{\text{роб}}, \quad (3.11)$$

$$W = 1543,68 \cdot 8760 = 13522,64 \text{ тис. кВт·год.}$$

Річну вартість електроспоживання обладнанням цеху  $B_{el}$ , грн, визначаємо за формулою [21]

$$B_{el} = W \cdot B_o, \quad (3.12)$$

$$B_{el} = 13522,64 \cdot 3,1276 \cdot 1,2 = 50752,08 \text{ тис. грн.}$$

Річну вартість електроспоживання обладнанням цеху при встановленні конденсаторних установок  $B_{еку}$ , грн, визначаємо за формулою

$$B_{еку} = B_{el} - E_{pe}, \quad (3.13)$$

$$B_{еку} = 50752,08 - 3757 = 46995 \text{ тис. грн.}$$

Економічна ефективність компенсації реактивної потужності представлена на рисунку 3.2.

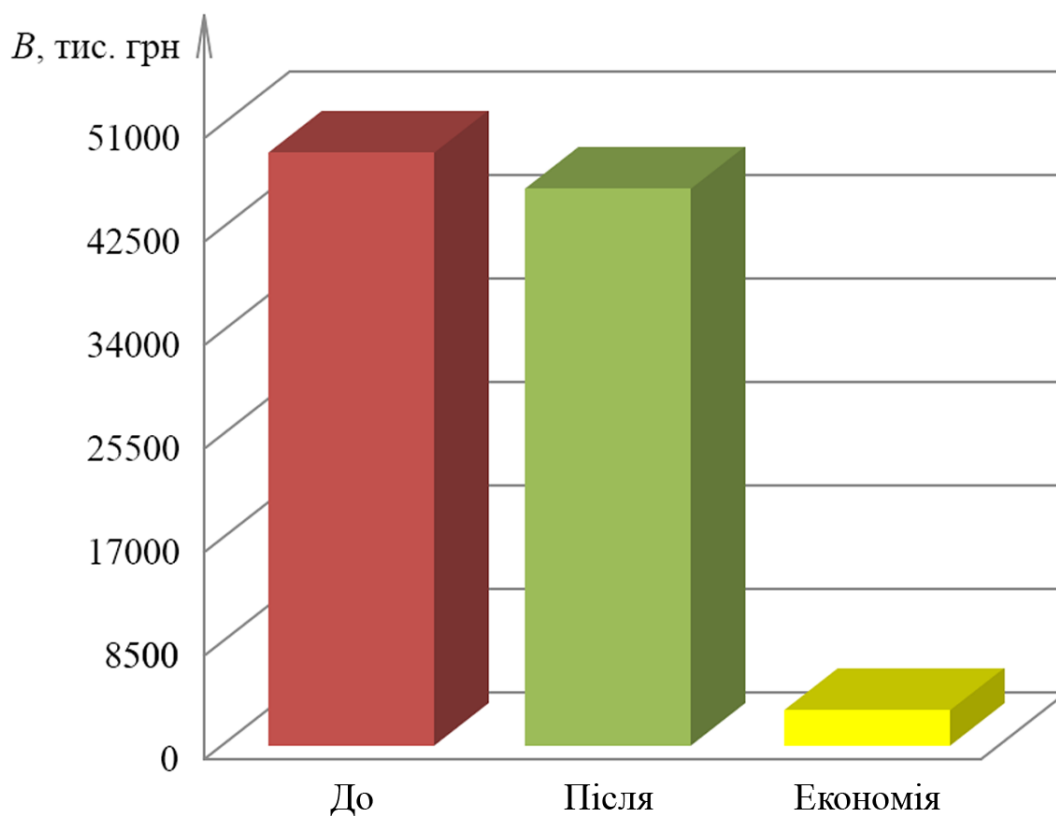


Рисунок 3.2 - Річна вартість електроспоживання обладнанням цеху при встановленні конденсаторних установок

Розрахунок терміну окупності конденсаторних установок  $T_{ок}$ , років, виконується за формулою

$$T_{ок} = \frac{K}{E_{pe}}, \quad (3.14)$$

$$T_{ок} = \frac{300}{3757} = 0,08 \text{ рік.}$$

Через коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$ , визначаємо коефіцієнт реактивної потужності  $tg\varphi$  після компенсації

$$tg\varphi = 0,2.$$

Розрахунок змінної реактивної потужності  $Q_{зм}$ , квар, після компенсації, виконуємо за даними таблиці 1.5 за формулою (1.9)

$$Q_{зм} = 1543,68 \cdot 0,2 = 308,74 \text{ квар.}$$

Визначаємо сумарний коефіцієнт завантаження  $k_3$ , трансформаторної підстанції цеху №2, після компенсації реактивної потужності за формулою (1.3)

$$k_3 = \frac{\sqrt{1543,68^2 + 308,74^2}}{4 \cdot 1000} = 0,4.$$

На рисунку 3.3 наведено розрахунковий графік добових активних та реактивних навантажень підстанції цеху після компенсації.

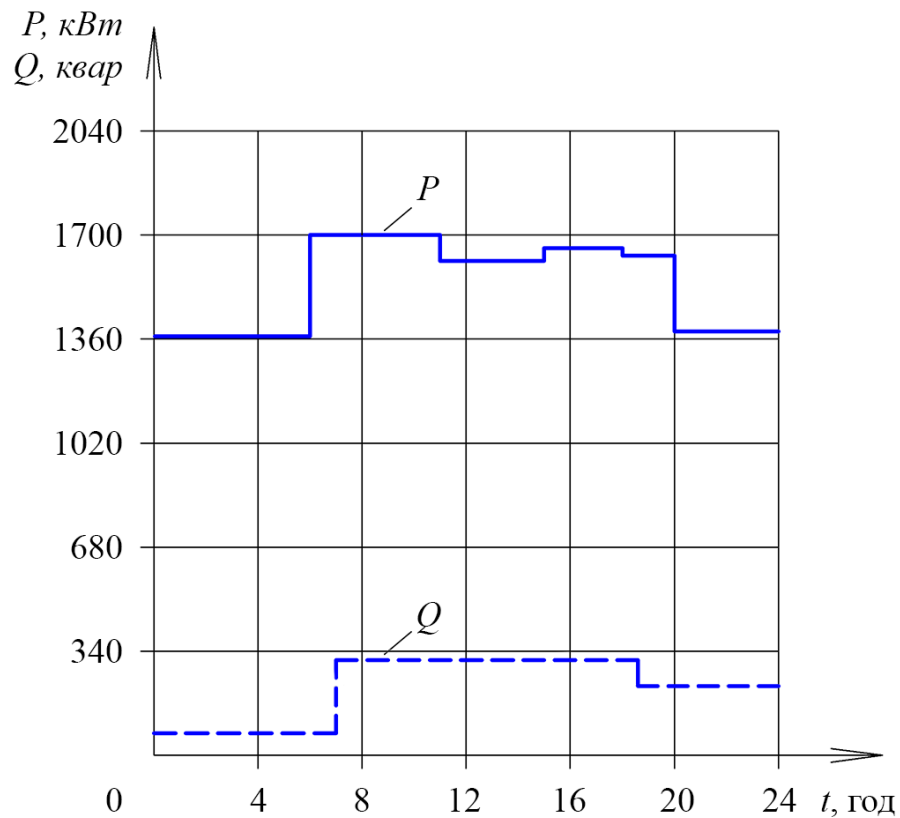


Рисунок 3.3 - Розрахунковий графік добових електричних навантажень підстанції цеху після компенсації

### 3.3 Прогнозування споживання електроенергії обладнанням цеху №2

За річними даними підприємства про обсяг випущеної продукції та електроспоживання обладнанням цеху №2, складаємо таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 - Річний обсяг випущеної продукції та споживаної електроенергії обладнанням цеху №2 ділянки хлорування

Місяць	Випущено продукції, т.	Електроспоживання, тис. кВт·год
<i>n</i>	<i>Π</i>	<i>W</i>
1	2	3
1	4682,03	1006,86
2	4831,43	1028,4
3	4930,1	1060,37
4	4865,04	1026,91
5	4873,76	1052,97



Продовження таблиці 3.2

1	2	3
6	4855,41	1047,95
7	4844,29	1019,15
8	4849,97	1030,6
9	4901,24	1058,04
10	5008,94	1077,5
11	5151,36	1088,64
12	5057,24	1077,58

На рисунку 3.4 та рисунку 3.5 наведено річний об'єм випуску продукції та споживаної електроенергії обладнанням цеху відповідно.

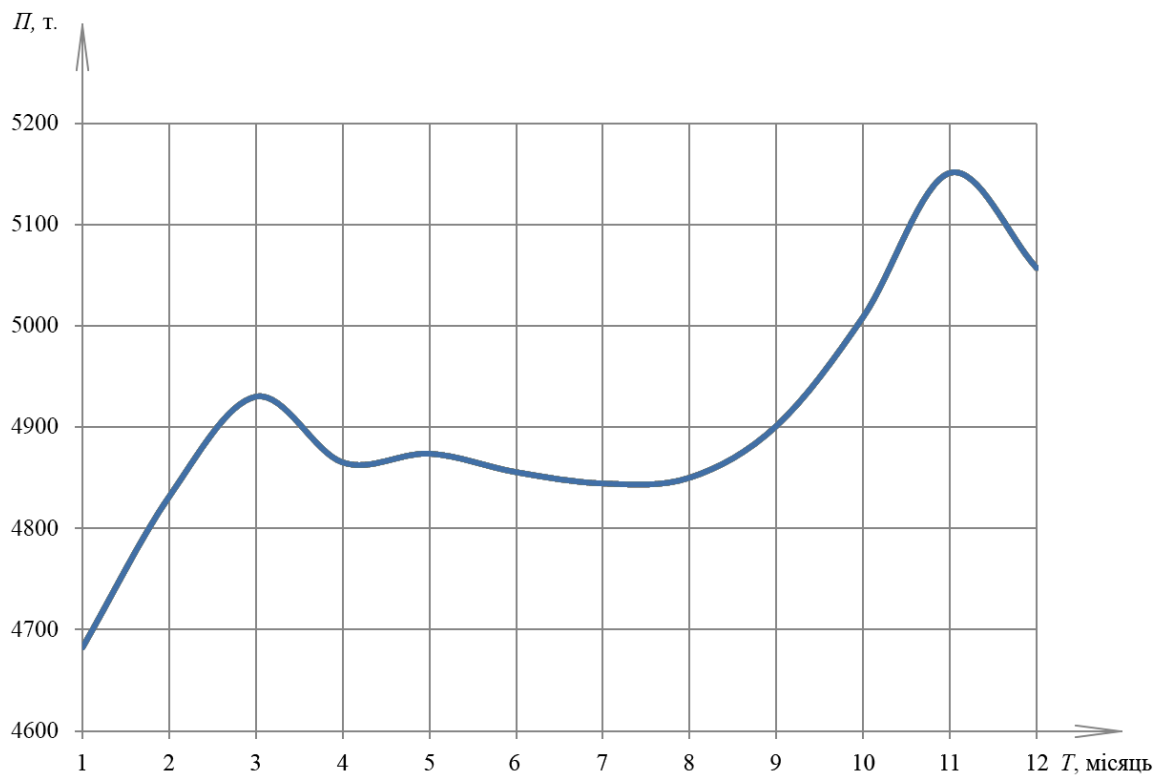


Рисунок 3.4 - Об'єм випуску тетрахлорид титану технічного за рік цехом №2

Для розрахунку параметрів регресії за методом найменших квадратів складаємо розрахункову таблицю 3.3 за даними таблиці 3.2. Математичний

метод заснований на мінімізації суми квадратів відхилень деяких функцій від шуканих змінних, є одним з базових методів регресійного аналізу для оцінки невідомих параметрів регресійних моделей за вибірковими даними.

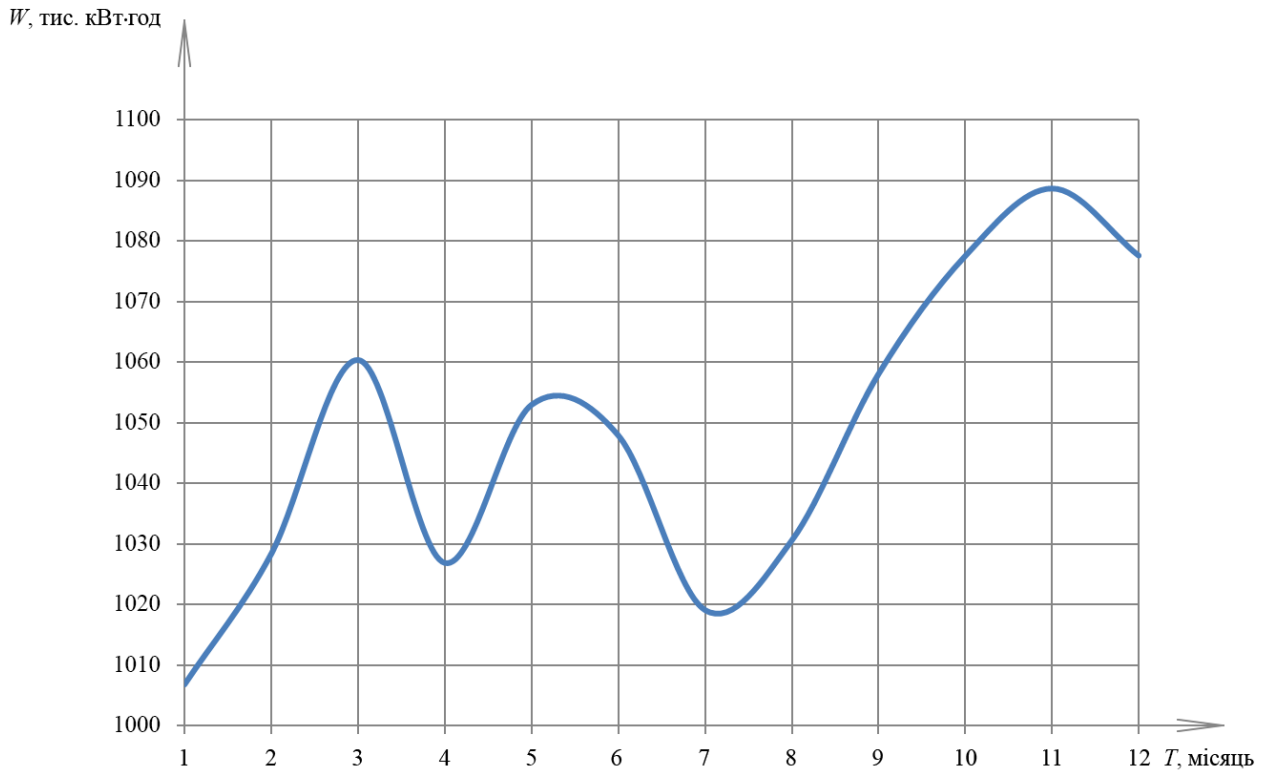


Рисунок 3.5 - Споживання електроенергії за рік обладнанням цеху №2 ділянки хлорування

Таблиця 3.3 – Розрахунок параметрів регресії

№ п/п	$x$	$y$	$x^2$	$y^2$	$x \cdot y$
1	2	3	4	5	6
1	4682,03	1006,86	21921404,921	1013767,06	4714148,726
2	4831,43	1028,4	23342715,845	1057606,56	4968642,612
3	4930,1	1060,37	24305886,01	1124384,537	5227730,137
4	4865,04	1026,91	23668614,202	1054544,148	4995958,226
5	4873,76	1052,97	23753536,538	1108745,821	5131923,067
6	4855,41	1047,95	23575006,268	1098199,203	5088226,91
7	4844,29	1019,15	23467145,604	1038666,723	4937058,154
8	4849,97	1030,6	23522209,001	1062136,36	4998379,082

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6
9	4901,24	1058,04	24022153,538	1119448,642	5185707,97
10	5008,94	1077,5	25089479,924	1161006,25	5397132,85
11	5151,36	1088,64	26536509,85	1185137,045	5607976,55
12	5057,24	1077,58	25575676,418	1161178,656	5449580,679
$\Sigma$	58850,81	12574,97	288780338,117	13184821,008	61702464,963

Для наочного зображення форми зв'язку між досліджуваними економічними показниками використовуємо графічний метод (рисунок 3.6). По осі абсцис відкладаємо індивідуальні значення факторної ознаки  $X$ , а по осі ординат – індивідуальні значення результативної ознаки  $Y$ . Сукупність точок результативних і факторних ознак називається полем кореляції [24].

На підставі поля кореляції можна висунути гіпотезу, що зв'язок між усіма можливими значеннями  $X$  і  $Y$  носить лінійний характер.

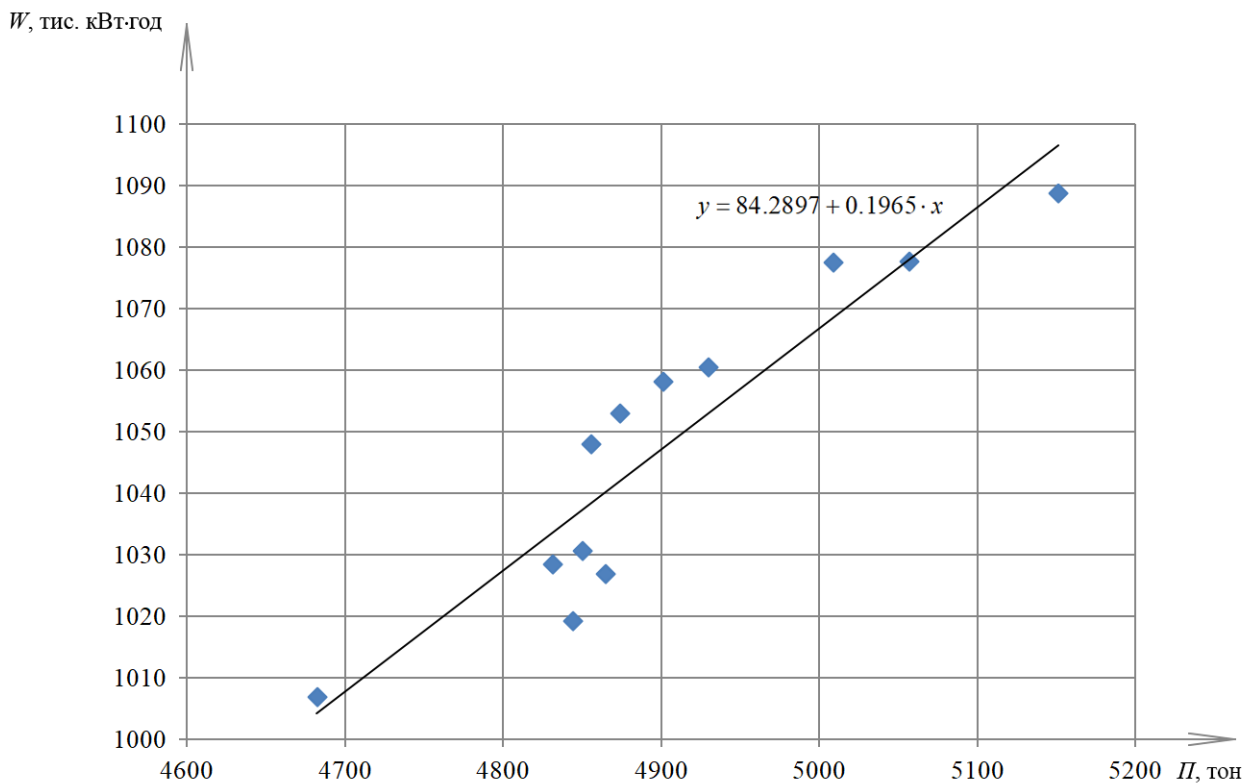


Рисунок 3.6 - Регресійна залежність між річним об'ємом випущеної продукції та споживаної електроенергії обладнанням цеху №2

Визначаємо систему нормальних рівнянь за формулою [25]

$$\begin{cases} a \cdot n + b \cdot \sum x = \sum y, \\ a \cdot \sum x + b \cdot \sum x^2 = \sum y \cdot x; \end{cases} \quad (3.15)$$

де  $a$  – оцінка параметру  $\alpha$  регресійної моделі;

$b$  – оцінка параметру  $\beta$  регресійної моделі.

$$\begin{cases} a \cdot 12 + b \cdot 58850,81 = 12574,97; \\ a \cdot 58850,81 + b \cdot 288780338,117 = 61702464,963. \end{cases}$$

Знаходимо рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь за допомогою методу Крамера.

Обчислюємо визначник матриці системи [26]

$$\Delta = \begin{vmatrix} 12 & 58850,81 \\ 58850,81 & 288780338,117 \end{vmatrix} = 12 \cdot 288780338,117 - \\ -58850,81 \cdot 58850,81 = 1946219,75 \neq 0.$$

Обчислюємо допоміжні визначники. Визначник  $\Delta_1$  отримуємо з визначника  $\Delta$  заміною його першого стовпчика стовпчиком вільних коефіцієнтів

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 12574,97 & 58850,81 \\ 61702464,963 & 288780338,117 \end{vmatrix} = 288780338,117 \cdot 288780338,117 - \\ -61702464,963 \cdot 58850,81 = 164046341,96.$$

Визначник  $\Delta_2$  отримуємо з визначника матриці системи  $\Delta$  заміною другого стовпця стовпцем вільних коефіцієнтів

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 12 & 12574,97 \\ 58850,81 & 61702464,963 \end{vmatrix} = 12 \cdot 61702464,963 - \\ -58850,81 \cdot 12574,97 = 382409,33.$$

Так як  $\Delta \neq 0$ , по теоремі Крамера система сумісна і має єдине рішення, яке знаходиться по формулі [26]

$$x_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}. \quad (3.16)$$

де  $\Delta_i$  – визначник матриці системи, де замість  $i$ -го стовпця стоїть стовпець правих частин.

$$x_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{164046341,96}{1946219,75} = 84,29;$$

$$x_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{382409,33}{1946219,75} = 0,196.$$

Отримуємо емпіричні коефіцієнти регресії  $a$  і  $b$ , відповідні  $x_1$  та  $x_2$

$$a = 84,29;$$

$$b = 0,196.$$

Визначаємо емпіричне рівняння регресії за формулою [27]

$$y = a + b \cdot x, \quad (3.17)$$

$$y = 84,29 + 0,1965 \cdot x.$$

Емпіричні коефіцієнти регресії  $a$  і  $b$  є лише оцінками теоретичних коефіцієнтів  $\beta_i$ , а саме рівняння відображає лише загальну тенденцію в поведінці розглянутих змінних. Зв'язок між  $y$  та  $x$  визначає знак коефіцієнта регресії  $b$  ( $b > 0$  – прямий зв'язок,  $b < 0$  – зворотній). У нашому прикладі зв'язок прямий.

Для оцінки параметрів рівняння регресії визначаємо вибірккові середні  $\bar{x}$  та  $\bar{y}$  за формулами [25]

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (3.18)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}; \quad (3.19)$$

$$\bar{x} = \frac{58850,81}{12} = 4904,234;$$

$$\bar{y} = \frac{12574,97}{12} = 1047,914.$$

Визначаємо середньоквадратичні відхилення  $S_x$  та  $S_y$  за формулами

$$S_x = \sqrt{S_x^2} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2}, \quad (3.20)$$

$$S_y = \sqrt{S_y^2} = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2}; \quad (3.21)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{288780338,12}{12} - 4904,234^2} = 116,256;$$

$$S_y = \sqrt{\frac{13184821,01}{12} - 1047,914^2} = 24,718.$$

Розраховуємо показник тисноти зв'язку. Таким показником є вибірковий лінійний коефіцієнт кореляції  $r_{x,y}$ , який розраховуємо через коефіцієнт регресії  $b$  за формулою [27]

$$r_{x,y} = b \cdot \frac{S_x}{S_y}, \quad (3.22)$$

$$r_{x,y} = 0,196 \cdot \frac{116,256}{24,718} = 0,924.$$

Лінійний коефіцієнт кореляції приймає значення від -1 до +1.

Якісна характеристика зв'язку дається на основі коефіцієнта кореляції за шкалою Чеддока (таблиця 3.4) [26].

Таблиця 3.4 - Шкала Чеддока

Сила зв'язку	Оцінка зв'язку
$0,1 < r_{x,y} < 0,3$	слабка
$0,3 < r_{x,y} < 0,5$	помірна
$0,5 < r_{x,y} < 0,7$	помітна
$0,7 < r_{x,y} < 0,9$	висока
$0,9 < r_{x,y} < 1$	досить висока

У нашому випадку зв'язок між ознакою  $Y$  і фактором  $X$  досить високий та прямий.

Значимість коефіцієнта кореляції. Висуваємо дві гіпотези:

- а)  $H_0: r_{x,y} = 0$ , немає лінійного взаємозв'язку між змінними;
- б)  $H_1: r_{x,y} \neq 0$ , є лінійний взаємозв'язок між змінними.

Використовуємо t-критерій Стюдента, щоб при рівні значимості перевірити нульову гіпотезу про рівність нулю генерального коефіцієнта кореляції нормальної двовимірної випадкової величини при конкуруючій гіпотезі  $H_1 \neq 0$ . Визначаємо спостережуване значення критерію (величину випадкової помилки)  $t_{набл}$ , за формулою [26]

$$t_{набл} = r_{x,y} \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{x,y}^2}}, \quad (3.23)$$

$$t_{набл} = 0,924 \frac{\sqrt{12-2}}{\sqrt{1-0,924^2}} = 7,65.$$

По таблиці Стюдента з рівнем значимості  $\alpha = 0,05$  і ступенями свободи  $k$  знаходимо критичне значення  $t_{крит}$ , за формулою [27]

$$t_{крит}(n-m-1; \alpha/2), \quad (3.24)$$

де  $m$  – кількість пояснюючих змінних;  $m = 1$ .

$$k = n - 2, \quad (3.25)$$

$$k = 12 - 2 = 10;$$

$$t_{крит}(12-1-1; 0,05/2) = t_{крит}(10; 0,025) = 2,634.$$

Оскільки  $|t_{набл}| > t_{крит}$  ( $7,65 > 2,634$ ), отримане значення коефіцієнта кореляції визнається статистично значущим (відхиляємо гіпотезу про рівність нулю цього коефіцієнта). Зв'язок між об'ємами випущеної продукції та відповідними витратами електроенергії доведено. У парній лінійній



регресії перевірка гіпотез о значимості коефіцієнтів регресії і кореляції рівнозначна перевірці гіпотези о суттєвості лінійного рівняння регресії [28].

Коефіцієнтом детермінації називається квадрат (множинного) коефіцієнта кореляції, який показує частку варіації результативної ознаки, пояснення варіацією факторної ознаки.

Визначаємо коефіцієнт детермінації  $R^2$ , за формулою

$$R^2 = r_{x,y}^2, \quad (3.26)$$

$$R^2 = 0,924^2 = 0,854.$$

Точність підбору рівняння регресії – висока. У 85.4% випадків зміни  $x$  призводять до зміни  $y$ .

Перевіряємо значимість моделі регресії з використанням F-критерію Фішера. Якщо розрахункове значення з  $k_1 = m$  і  $k_2 = n - m - 1$ , ступенями свободи більше табличного при заданому рівні значущості, то модель вважається значущою.

Висуваємо нульову гіпотезу про те, що рівняння в цілому статистично незначуще:  $H_0: R^2 = 0$  на рівні значимості  $\alpha$ .

Визначаємо фактичне значення F-критерію  $F$ , за формулою [28]

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m}, \quad (3.27)$$

$$F = \frac{0,854}{1 - 0,854} \cdot \frac{12 - 1 - 1}{1} = 58,507.$$

Табличне значення визначаємо за таблицями розподілу Фішера для заданого рівня значимості, беручи до уваги, що число ступенів свободи для

загальної суми квадратів (більшої дисперсії) дорівнює 1 і число ступенів свободи залишкової суми квадратів (меншої дисперсії) при лінійній регресії  $n-2$ .  $F_{табл}$  – це максимально можливе значення критерію під впливом випадкових чинників при даних ступенях свободи і рівні значимості  $\alpha$ . Рівень значимості  $\alpha$  – ймовірність відхилити правильну гіпотезу за умови, що вона вірна;  $\alpha = 0,05$  [26].

Якщо  $F < F_{табл}$  – немає підстави відхилити нульову гіпотезу. Та навпаки, якщо  $F > F_{табл}$  – нульова гіпотеза відхиляється і з ймовірністю  $1-\alpha$  приймається альтернативна гіпотеза о статистичній значимості рівняння в цілому. Табличне значення критерію зі ступенями свободи  $k_1=1$  і  $k_2=10$ ,  $F_{табл} = 4,96$ .

Оскільки фактичне значення  $F > F_{табл}$  ( $58,507 > 4,96$ ), то коефіцієнт детермінації статистично значимий (знайдена оцінка рівняння регресії статистично надійна) [26].

Для оцінки якості параметрів регресії складаємо розрахункову таблицю 3.5 за даними таблиці 3.2.

Таблиця 3.5 - Розрахункові дані для оцінки параметрів регресії

№ п/п	x	y	$y_x$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(y_i - y_x)^2$	$\left  \frac{y - y_x}{y} \right $
1	2	3	4	5	6	7
1	4682,03	1006,86	1004,254	1685,445	6,793	0,0026
2	4831,43	1028,4	1033,609	380,803	27,134	0,0051
3	4930,1	1060,37	1052,996	155,148	54,369	0,007
4	4865,04	1026,91	1040,213	441,175	176,969	0,013
5	4873,76	1052,97	1041,926	25,561	121,962	0,0105
6	4855,41	1047,95	1038,321	0,00128	92,722	0,0092
7	4844,29	1019,15	1036,136	827,377	288,519	0,0167
8	4849,97	1030,6	1037,252	299,78	44,248	0,0065
9	4901,24	1058,04	1047,326	102,533	114,793	0,0101

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7
10	5008,94	1077,5	1068,488	875,322	81,223	0,0084
11	5151,36	1088,64	1096,471	1658,594	61,332	0,0072
12	5057,24	1077,58	1077,978	880,062	0,158	0,0004
$\Sigma$	58850,81	12574,97	12574,97	7331,8	1070,221	0,0964

Для безпосередньої оцінки впливу факторів на результативну ознаку обчислюються коефіцієнти еластичності і  $\beta$ -коефіцієнти. Середній коефіцієнт еластичності  $E$  показує, на скільки відсотків в середньому по сукупності зміниться результат  $y$  від своєї середньої величини при зміні фактора  $x$  на 1% від свого середнього значення [24].

Визначаємо коефіцієнт еластичності  $E$ , за формулою

$$E = \frac{\partial y \cdot x}{\partial x \cdot y} = b \frac{\bar{x}}{\bar{y}}, \quad (3.28)$$

$$E = 0,196 \frac{4904,234}{1047,914} = 0,92.$$

Оцінимо якість рівняння регресії за допомогою помилки абсолютної апроксимації. Визначаємо середню помилку апроксимації (середнього відхилення розрахункових значень від фактичних)  $\bar{A}$ , за формулою [24]

$$\bar{A} = \frac{n}{1} \cdot \sum \left| \frac{y - y_x}{y} \right| \cdot 100\%, \quad (3.29)$$

$$\bar{A} = \frac{12}{1} \cdot 0,0964 \cdot 100 = 0,8.$$

Оскільки помилка менше 7%, то дане рівняння можна використовувати в якості регресії.

Стандартна помилка регресії розглядається в якості запобіжного розкиду даних спостережень від змодельованих значень. Чим менше значення стандартної помилки регресії, тим якість моделі вище.

Визначаємо стандартну помилку регресії  $S$  за формулою

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_x)^2}{n - m - 1}}, \quad (3.30)$$

$$S = \sqrt{\frac{1070,221}{12 - 1 - 1}} = 10,35.$$

Визначаємо стандартне відхилення випадкової величини  $a$ , за формулою

$$S_a = S \cdot \frac{\sqrt{\sum x^2}}{n \cdot S_x}, \quad (3.31)$$

$$S_a = 10,35 \cdot \frac{\sqrt{288780338,12}}{12 \cdot 116,256} = 126,02.$$

Визначаємо стандартне відхилення випадкової величини  $b$ , за формулою [26]

$$S_b = \frac{S}{\sqrt{n} \cdot S_x}, \quad (3.32)$$

$$S_b = \frac{10,35}{\sqrt{12} \cdot 116,256} = 0,0257.$$

### 3.4 Висновки до розділу 3

Вивчено залежність  $Y$  від  $X$ . На етапі специфікації була обрана парна лінійна регресія. Оцінені її параметри методом найменших квадратів. Можлива економічна інтерпретація параметрів моделі – збільшення  $X$  на 1 од. виміру призводить до збільшення  $Y$  в середньому на 0.196 од. виміру.

Знайдена залежність між обсягами спожитої електричної енергії та об'ємами виготовленої продукції для умов ділянки хлорування цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» майже повністю відображає реальні витрати електроенергії, що підтверджують знайдені показники адекватності моделі. Зв'язок між об'ємами випущеної продукції та відповідними витратами електроенергії доведено.

Рівняння регресії дозволяє оцінити рівень досягнутої енергоефективності електрообладнання та отримати інформацію щодо прогнозування подальшого споживання електричної енергії цехом.

Коефіцієнти кореляції та детермінації свідчать про високу тісноту зв'язку між розглядуваними ознаками, а коефіцієнт еластичності, середня помилка апроксимації та стандартні помилки, відхилення коефіцієнтів регресії – про якість та правильність вибраної моделі.

Покращення роботи електрообладнання цеху за рахунок встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності дозволить підвищити техніко-економічні показники електропостачання, які зменшують всі види втрат електроенергії, зекономити кошти на оплату електроенергії.

Використання у нічну зміну на підстанції цеху по одному трансформатору для панелей з електрообладнанням замість двох дозволить зекономити на втратах у трансформаторах за рахунок зменшення нагріву обмоток, оскільки вони працюють не в повне завантаження.

Розглянуті в магістерській роботі заходи дадуть можливість зменшити розмір електричного навантаження не тільки за рахунок впровадження технічного рішення, а й завдяки прогнозуванню споживання електроенергії, що в результаті призведе до економії коштів.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Характеристика стану охорони праці та техногенної безпеки

Основним завданням роботи цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» є виробництво титанового шлаку і тетрахлориду титану.

Отримують титановий шлак методом плавки ільменітового концентрату в руднотермічній печі. Тетрахлорид титану утворюється при хлоруванні шихти у розплаві солей в сольовому хлораторі і конденсації.

До потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів приміщення ділянки хлорування цеху №2 належать: викид хлору в робоче приміщення і атмосферу; підвищення запиленості на робочих місцях; перегрів і руйнування сольового хлоратора; розлив пульпи з аварійним газовиділенням; розлив  $TiCl_4$  з аварійним газовиділенням; розлив кислих стоків, що містять соляну кислоту; підвищена або знижена температура поверхонь; рухомі частини; недостатня освітленість; шум та вібрація [29].

Основними шкідливими чинниками в приміщенні цеху є небезпека ураження електричним струмом та шум, що досягає 85 дБА, джерелом якого є насосне та вентиляційне обладнання [30].

Ділянка хлорування цеху №2 є приміщенням категорії середньої важкості тому повинні дотримуватися вимоги оптимальної температури повітря 22-24 °С, відносної вологості 40-60% та швидкості руху повітря не більше 0,1 м/с [31].

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в цеху характеризуються наявністю шкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності, проте характеризуються проявом початкових ознак професійної патології.

В сучасних умовах все більшого значення набуває проблема поліпшення умов праці не за рахунок компенсаційних виплат, а шляхом впровадження нової техніки, технологій, оздоровлення виробничого

середовища, врахування вимог естетики праці. Загальні положення і вимоги, які регламентують умови праці на підприємствах та організаціях, визначені законодавством про працю (Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку – ДСН 2.3.6 037-99, норми загальної та локальної вібрації – ДСН 3.3.6 039-99, норми мікроклімату виробничих приміщень – ДСН 3.3.6 042-99 тощо) [32].

Вплив несприятливих умов на організм працівника обмежує в нормах праці установлення необхідного часу регламентованого відпочинку. При цьому санітарні норми є свого роду еталоном, з яким зіставляють різні варіанти умов виконання робіт. Залежно від ступеня впливу умов праці на організм працівника визначають тривалість робочої зміни і режим внутрішньозмінного відпочинку. Санітарні норми широко застосовуються при аналізі умов праці і впровадженні заходів щодо їх поліпшення.

При аналізі умов праці фактичне значення температури і вологості повітря, шуму і вібрації та інших елементів зіставляється з нормативами. Таке зіставлення дозволяє виявити робочі місця на ділянці з несприятливими умовами, диференціювати умови і характер праці за ступенем шкідливості і небезпечності на оптимальні, допустимі, шкідливі і небезпечні, визначити індекс відповідності фактичних умов нормативним [32].

Удосконалюють санітарні норми на основі науково-технічного прогресу внаслідок вжиття заходів щодо поліпшення умов праці, виникнення технічних, організаційних та економічних можливостей дотримання і вдосконалення відповідних норм.

Атестація робочих місць за умовами праці — це комплексна оцінка всіх факторів виробничого середовища і трудового процесу, супутніх соціально-економічних факторів, що впливають на здоров'я і працездатність працівників у процесі трудової діяльності. Періодичність такої атестації встановлюється підприємством у колективному договорі, але не рідше одного разу за 5 років.

Після проведення атестації за даними лабораторно-інструментальних досліджень комісія складає карту умов праці на кожне робоче місце, яка

включає оцінку факторів виробничого середовища і трудового процесу, гігієнічну оцінку умов праці, оцінку технічного та організаційного рівня [33].

Приміщення цеху №2 згідно з ПУЕ можна віднести до I класу – з підвищеною небезпекою ураження струмом. Для захисту від електричного струму передбачається надійне захисне заземлення електрообладнання. Заземлюючі пристрої забезпечують безпеку людей і захист електроустановок, експлуатаційні режими роботи. Рекомендується проводити інструментальну перевірку стану захисного заземлення не рідше одного разу на рік, а також після монтажу або ремонту [34].

Для забезпечення електробезпеки запропоновано дотримуватися наступних вимог: конструкція виробничого устаткування, що приводиться в дію електроенергією, повинна включати пристрій для забезпечення електробезпеки; в устаткуванні має бути забезпечено захист від випадкового дотику до частин, що знаходяться під напругою; ручки, важелі і кнопки устаткування, до яких торкаються руками при нормальній експлуатації, не повинні виявлятися під напругою при пошкодженні ізоляції.

Основними організаційними заходами запобігання ураження електричним струмом є інструктаж та навчання безпечним методам праці, перевірка знань правил безпеки та інструкцій до виконуваних робіт [30].

За конструктивними характеристиками будівлю можна віднести до будівель переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса виконані з металевих незахищених конструкцій. Огороджувальні конструкції з негорючих листових матеріалів з негорючим утеплювачем (ступінь вогнестійкості будівлі – IIIa) [29].

Можливими причинами пожежі є підвищена температура довкілля, обладнання та наявність паливно-мастильних матеріалів. Запобігання пожежі повинно досягатися запобіганням утворенню горючого середовища, запобігання утворення в горючому середовищі джерел запалення.

Протипожежна безпека в енергосиловому цеху забезпечується застосуванням: засобів пожежогасіння і відповідної пожежної техніки;



автоматичних установок пожежної сигналізації; застосуванням засобів індивідуального захисту людей від небезпечних чинників пожежі.

Запобігання виникненню джерела вибуху досягаються шляхом: регламентації вогневих робіт; застосуванням швидкодіючих засобів захисного відключення можливих електричних джерел ініціації вибуху; застосуванням вибухозахищеного устаткування.

У приміщеннях передбачаються первинні засоби пожежогасіння. Для зовнішнього пожежогасіння передбачається установка гідрантів із загальною витратою води 20 л/с. Передбачено систему оповіщення про пожежу першого і другого типу з використанням гучномовного зв'язку, установкою світлових показників та звукових сигналів. Передбачено блискавкозахист та заземлення споруд. В якості блискавко приймального пристрою використовуються металоконструкції цеху. Захист від електростатичної індукції забезпечується шляхом приєднання всіх металевих корпусів обладнання та комунікацій до внутрішньої магістралі заземлення [30].

Працівники підприємства забезпечуються засобами індивідуального захисту згідно з вимогами чинного законодавства. До нього відноситься спеціальний одяг, взуття, каска захисна з підшоломником, окуляри захисні, рукавиці комбіновані, вкладиші протишумові та інші засоби індивідуального захисту. На робочих місцях кожен робітник повинен мати при собі сумку з протигазом та балоном кисневим на випадок викиду хлору в робоче приміщення і атмосферу. Засоби індивідуального захисту не тільки сприяють профілактиці захворювань, а і підвищують працездатність працівників.

#### 4.2 Висновки до розділу 4

Приміщення ділянки хлорування цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» відповідає всім вимогам з охорони праці та техногенної безпеки. Працівники підприємства забезпечуються засобами індивідуального захисту згідно з вимогами чинного законодавства.

## ВИСНОВКИ

В роботі виконано аналіз можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії обладнанням цеху №2 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат». В результаті енергетичного аудиту встановлено, що значною частиною споживачів електричної енергії є електроприводи з напругою живлення 0,38 кВ. Для підвищення ефективності споживання електричної енергії було розроблено комплекс технічних заходів.

1. Систематизовано виявлення та зменшення втрат електроенергії на основі альтернативних рішень. Запропоновано на підстанції цеху у нічну зміну в режимах малих навантажень трансформаторів  $k_s = 0,4$ , використовувати по одному трансформатору замість двох. Економічний ефект – збільшення терміну використання устаткування, економія на втратах.

2. Розрахована регресійна модель залежності електроспоживання від об'єму виготовленої продукції, рівняння регресії –  $W = 84.29 + 0.1965 \cdot П$ .

Перевірена адекватність моделі за допомогою коефіцієнту кореляції  $r_{x,y} = 0,924\%$  і коефіцієнту детермінації  $R^2 = 0,854\%$ , доведена їх значимість.

Перевірена якість параметрів регресії за допомогою середньої помилки апроксимації  $\bar{A} = 0,8\%$ , коефіцієнту еластичності  $E = 0,92\%$ , стандартної помилки регресії  $S = 10,35$  та стандартних відхилень випадкової величини  $S_a = 126,02$ ,  $S_b = 0,0257$ . Рівняння регресії дозволяє оцінити рівень досягнутої енергоефективності електрообладнання та отримати інформацію щодо прогнозування подальшого споживання електричної енергії цехом.

3. Запропоновано вирішення питання компенсації реактивної потужності шляхом встановлення двох автоматичних комплектних конденсаторних установок УКМ 58-0,4-375-25 У3 потужністю 375 квар. Даний захід дозволить знизити споживання реактивної потужності на 750 квар. Економічний ефект від впровадження становить 3757 тис. грн на рік. Термін окупності на реалізацію заходу становить 0,08 рік.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дослідження нормального режиму роботи системи електропостачання [Електронний ресурс] / allbest. – Режим доступу: <https://otherreferats.allbest.ru/physics/c00221520.html> – 13.08.20 р. – Загол. з екрану.
2. Завантаженість ТП [Електронний ресурс] / ПАТ «Запоріжжяобленерго». – Режим доступу: <http://www.zoe.com.ua/завантаженість-тп-2/> – 30.10.20 р. – Загол. з екрану.
3. Звіт виконавчого органу ПАТ «Запоріжжяобленерго» про результати фінансово-господарської діяльності [Електронний ресурс] / ПАТ «Запоріжжяобленерго». – Режим доступу: <https://www.zoe.com.ua/річні-звіти-2/> – 27.02.2020 р. – Загол. з екрану.
4. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Текст] / Б. Ю. Липкин. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 1990. – 366 с.
5. Технология производства [Электронный ресурс] / Запорожский титано-магниевого комбинат. – Режим доступа: <http://ztmc.zp.ua/ru/o-kombinate/tekhnologiya-proizvodstva> – 15.08.20 г. – Загол. с экрана.
6. Харченко В. Ф. Електропостачання міст та промислових підприємств [Текст] / В. Ф. Харченко, В. Г. Воропай, О. А. Якунін. – Харків: Видавництво Національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова, 2017. – 65 с.
7. Галузеві методичні рекомендації з формування собівартості виробництва, передачі та постачання електричної і теплової енергії [Текст]. – Львів: ОРГРЕС, 2001. – 97 с.
8. Бурбело М. Й. Стимулювання зменшення втрат в мережах [Текст]: монографія / М. Й. Бурбело, Л. М. Мельничук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2008. – 110 с.
9. Лежнюк П. Д. Оцінка чутливості втрат потужності в електричних

мережах [Текст]: монографія / П. Д. Лежнюк, В. О. Лесько. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 120 с.

10. Вершинина С. И. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий [Текст] / С. И. Вершинина, С. И. Гамазин, Ю. М. Голонов, Э. А. Киреева, А. И. Кирпа, Е. А. Конюхова, Э. Т. Сидоренко, Г. В. Стульников, А. А. Федоров. – Москва: Энергия, 1972. – 528 с.

11. Чухрай Н.І. Формування системи альтернативних рішень щодо зменшення втрат електроенергії з впливом на операційну діяльність енергопостачальних підприємств [Текст] / Н.І.Чухрай, І.В. Бохонко. // Приазовський економічний вісник. – 2017. – № 2 – 76-79 с.

12. Вершинина С. И. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий [Текст] / С. И. Вершинина, С. И. Гамазин, Ю. М. Голонов, Э. А. Киреева, А. И. Кирпа, Е. А. Конюхова, Э. Т. Сидоренко, Г. В. Стульников, А. А. Федоров; под. ред. А. А. Федорова, Г. В. Сербиновского. – Москва: Энергия, 1972. – 528 с.

13. Чухрай Н. І. Сучасний інструментарій та галузеві особливості управління підприємствами України [Текст]: монографія / Н. І. Чухрай, Й. М. Петрович, О. В. Юринець, А. В. Дубодєлова, І. Я. Кулиняк, Л. С. Лісовська, І. Є. Матвій, І. І. Новаківський, К. В. Процак, Г. В. Рачинська, О. З. Сорочак, Я. В. Демків, А. О. Мавріна, Х. М. Беспалюк, І. В. Бохонко, М. Я. Гвоздь, Н. С. Лушак, В. С. Медведєв, І. В. Парій, О. Я. Том'юк, А. І. Українець. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 300 с.

14. Методичні вказівки з аналізу технологічних витрат електричної енергії та вибору заходів щодо їх зниження: СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-96:2014 [Текст]. – Київ: Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго», 2014. – 84 с.

15. Порядок составления планов организационно-технических мероприятий по экономии электрической энергии [Электронный ресурс] / Школа для электрика. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/sovety/>

194-porjadok-sostavlenija-planov.html – 28.08.20 г. – Загол. с экрана.

16. Качалов А.Г. Основы электробезопасности. Методические материалы для работников охраны труда и ответственных за электрохозяйство [Текст] / А.Г. Качалов, В.В. Наумов. – 3-е издание. – Мытищи: Талант, 2003. – 64 с.

17. Компенсація реактивної потужності [Електронний ресурс] / СВ Альтера. – Режим доступу: <http://www.svaltera.ua/solutions/typical/energy/6718.php> – 28.10.20 р. – Загол. з екрану.

18. Кабышев А. В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий [Текст]: Учебное пособие / А. В. Кабышев. – Томск: Издательство Национального исследовательского Томского политехнического университета, 2012. – 234 с.

19. Статические конденсаторы для компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс] / Школа для электрика. – Режим доступа : <http://electricalschool.info/main/elsnabg/290-staticheskie-kondensatory-dlja.html> – 18.09.20 г. – Загол. с экрана.

20. Схемы включения батарей конденсаторов для компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс] / Школа для электрика. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/1331-skhemy-vkljuchenija-batarej.html> – 23.09.20 г. – Загол. с экрана.

21. Розрахунок електричного навантаження [Електронний ресурс] / Мої Лекції. – Режим доступу: <https://mylektsii.ru/1-68429.html> – 25.09.20 р. – Загол. з екрану.

22. Конденсаторная установка УКРМ 0,4 на 375 кВАр [Электронный ресурс] / Энергозапад. – Режим доступа: <http://energozapad.ru/kondensatornaya-ustanovka-ukrm-04-na-375-kvar> – 25.09.19 г. – Загол. с экрана.

23. НКРЕКП, Постанова від 04.11.2020 № 1998 «Про внесення змін до постанови НКРЕКП від 10 грудня 2019 року № 2668» [Електронний ресурс] / НКРЕКП. – Режим доступу: <https://www.nerc.gov.ua/?id=55568> – 20.11.20 р. – Загол. з екрану.

24. Лугінін О.Є. Економетрія [Текст]: Навчальний посібник / О.Є. Лугінін. – 2-е видання, перероб. та доп. – Київ: Центр учбової літератури, 2008. – 278 с.
25. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ [Текст] / Дж. Себер. – Москва: Мир, 1980. – 456 с.
26. Шихалёв А.М. Регрессионный анализ. Парная линейная регрессия [Текст] / А.М. Шихалёв. – Казань: Казан. ун-т, 2015. – 46 с.
27. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессия [Текст] / Е.З. Демиденко. – Москва: Финансы и статистика, 1981. – 302 с.
28. Елисеева И. И. Эконометрика [Текст]: Учебник / И.И. Елисеева. – Москва: Финансы и статистика, 2006. – 576 с.
29. Раздорожный А.А. Охрана труда и производственная безопасность [Текст] / А. А. Раздорожный. – Москва: Экзамен, 2007. – 512 с.
30. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: ДНАОП 0.00-1.21-98 [Текст]. – Київ: Видавництво Індустрія, 2010. – 184 с.
31. Бобкова О. В. Охрана труда и техника безопасности [Текст] / О. В. Бобкова. – Москва: Омега-Л, 2009. – 346 с.
32. Рофе А.И. Научная организация труда [Текст]: учебное пособие / А.И. Рофе. – 2-е изд., стер. – Москва: Издательство «МИК», 2014. – 224 с.
33. Градов А. П. Экономическая стратегия фирмы [Текст]: Учебное пособие / А. П. Градов. – 4-е изд. – Санкт-Петербург: Специальная литература, 2003. – 959 с.
34. Березюк О. В. Безпека життєдіяльності [Текст]: навчальний посібник / О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 204 с.