

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 Оптимальне керування нормальними режимами системи
електропостачання 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)

К.Ю. Перемітчик
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Левченко С.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Маршик 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

В.о. завідувача кафедри
д.т.н., доц. В.Л. Коваленко
« 16 » 12 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Перемітчик Кирило Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи _____ Оптимальне керування нормальними режимами системи електропостачання ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат»

керівник роботи _____ Левченко Сергій Андрійович, 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.




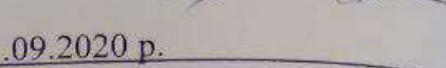

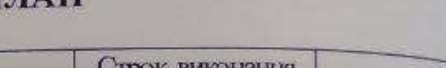
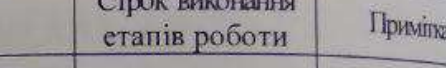
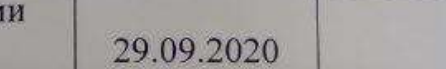
3 Вихідні дані до роботи Річне споживання електроенергії ТОВ «ЗТМК» 364 гВт·год.; тариф на електроенергію із ПДВ – 3,12 грн/кВт·год; час роботи технологічного обладнання на рік – 5435 годин; розрахунок оптимізації сталих режимів електромережі; оптимізація джерел реактивної потужності в електромережі.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Загальні відомості та характеристика системи електропостачання ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат». 2) Аналіз режимів роботи системи електропостачання підприємства. 3) Оптимальне керування нормальними режимами системи електропостачання. 4) Охорона праці та техногенна безпека.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1) Тема: оптимальне керування нормальними режимами системи електропостачання ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат». 2) Річне споживання електричної енергії ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» за 2019 рік. 3) Загальні відомості та характеристика підстанції «Титаномагнієва

154/35/10». 4) Річне споживання електричної енергії обладнанням ділянки електролізу магнію цеху №7. 5) Схема електропостачання ділянки. 6) Аналіз роботи підстанції ділянки. 7) Методика оптимізації сталих режимів електромережі. 8) Аналіз розрахунків оптимізації сталих режимів електромережі. 9) Оптимізація джерел реактивної потужності в електричній мережі. 10) Аналіз ефективності впровадження заходів оптимізації електричної енергії. 11) Висновки.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Левченко С.А. к.т.н., доцент		
Розділ 2	Левченко С.А. к.т.н., доцент		
Розділ 3	Левченко С.А. к.т.н., доцент		
Розділ 4	Левченко С.А. 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	Загальні відомості та характеристика системи електропостачання ТОВ «Запорізький титано-магнісвий комбінат».	29.09.2020	
2	Аналіз режимів роботи системи електропостачання підприємства	28.10.2020	
3	Оптимальне керування нормальними режимами системи електропостачання.	18.11.2020	
4	Охорона праці та техногенна безпека.	30.11.2020	


Студент 
(підпис)

К.Ю. Перемітчик
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) 
(підпис)

С.А. Левченко
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер 
(підпис)

С.В. Башлій
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Перемітчик К.Ю. Оптимальне керування нормальними режимами системи електропостачання ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат».

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

В роботі досліджено фактори, які визначають вибір методів керування нормальними режимами системами електропостачання. Виконані задачі для оптимізації енергосистеми, при якому досягається належна якість та надійність електричної енергії з мінімальними затратами на її отримання, перетворення та передачу.

Дипломна робота включає: 85 сторінок, 17 таблиць, 18 рисунків, 34 використаних джерел.

Ключові слова: ОПТИМІЗАЦІЯ, КЕРУВАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, СТАЛИЙ РЕЖИМ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ, ПІДСТАНЦІЯ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, КОНДЕНСАТОРНА УСТАНОВКА

ANNOTATION

Peremitchyk K.Y. Optimal control of normal modes of the power supply system of LLC "Zaporizhzhya Titanium and Magnesium Plant".

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

The factors that determine the choice of methods of control of normal modes of power supply systems are investigated in the work. Tasks for optimization of the power

system, which achieves the proper quality and reliability of electricity with minimal costs for its receipt, conversion and transmission.

Thesis on the topic includes: 85 pages, 17 tables, 18 figures, 34 sources.

Keywords: OPTIMIZATION, CONTROL, ELECTRICITY, STABLE ELECTRICITY MODE, SUBSTATION, REACTIVE POWER, CONDENSER INSTALLATION

АННОТАЦИЯ

Переметчик К. Ю. Оптимальное управление нормальными режимами системы электроснабжения ООО «Запорожский титано-магниевого комбинат».

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

В работе исследованы факторы, которые определяют выбор методов управления нормальными режимами системами электроснабжения. Выполнены задачи для оптимизации энергосистемы, при котором достигается надлежащее качество и надежность электрической энергии с минимальными затратами на ее получение, преобразование и передачу.

Дипломная работа включает: 85 страниц, 17 таблиц, 18 рисунков, 34 использованных источников.

Ключевые слова: ОПТИМИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ, УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ ЭЛЕКТРОСЕТИ, ПОДСТАНЦИИ, РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ, КОНДЕНСАТОРНАЯ УСТАНОВКА

ЗМІСТ

Вступ	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВ «ЗАПОРІЗЬКИЙ ТИТАНО-МАГНІЄВИЙ КОМБІНАТ».....	11
1.1 Основні відомості про підприємства.....	11
1.2 Загальна характеристика системи електропостачання	13
1.3 Загальне споживання електричної енергії підприємством	15
1.4 Загальні відомості ділянки електролізу магнію цеху №7	18
1.5 Система електропостачання електролізу магнію цеху №7	22
2 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	26
2.1 Аналіз режимів роботи електропостачання	26
2.2 Основні вимоги до системи електропостачання	30
2.3 Види режимів електропостачання	31
2.4 Структура та енергогосподарство цеху №7	34
2.5 Споживання електричної енергії електролізу магнію цехом №7	36
3 ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	46
3.1 Передумови оптимального керування нормальними режимами	46
3.1.1 Методика оптимізація сталих режимів електромережі	50
3.1.2 Розрахунок оптимізації сталих режимів електромережі, електролізу магнію цеху №7	52
3.2 Оптимізація режимів електромережі по реактивній потужності.....	58
3.2.1 Загальні відомості про компенсацію реактивної потужності	59
3.2.2 Розрахунок реактивної потужності для електрообладнання, вибір компенсуючого пристрою	63
3.3 Техніко-економічне обґрунтування проекту	70
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	74

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	74
4.2 Заходи з поліпшення умов праці	75
4.3 Електробезпека	76
4.4 Пожежна безпека	77
4.5 Засоби індивідуального захисту	78
Висновок	80
Перелік посилань.....	82

ВСТУП

При нестабільності економічних умов практична потреба в об'єктивному співставленні обсягів виробництва та витрат електроенергії на підприємствах є досить великою, оскільки обумовлена необхідністю, по-перше, оптимізувати електроспоживання при значних змінах обсягів виробництва для формування заявки в енергосистему і, по-друге, оцінювати раціональність використання електроенергії.

В умовах функціонування оптового ринку електроенергії, для великих і середніх споживачів гостро стоїть питання точності планування електроспоживання. Складання достовірної заявки на споживання електроенергії повинно дозволити знизити витрати на її придбання.

Перед тим, як подати заявки в енергосистему на перспективний період, підприємства мають дати попередню оцінку величині електроспоживання. Проте, найчастіше значення не відповідають дійсним фактичним витратам, що призводить до сплати штрафів за перевищення договірних обсягів енергоспоживання, або до перевитрат грошових коштів за невикористані об'єми енергії.

Не дивлячись на те, що кожне виробництво містить індивідуальні технологічні цикли, у всіх виробничих процесах споживання енергії можна знайти спільні риси, тим самим утворюючи методичну базу для виконання точного оптимального керування.

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 40-50%. 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.

При проектуванні та експлуатації технічних систем постійно доводиться вирішувати завдання пошуку найкращого рішення з деякого безлічі допустимих рішень. Таке рішення називають оптимальним, процес пошуку такого рішення – оптимізацією, а завдання, в яких шукається таке рішення – оптимізаційними задачами.

Для нормальних режимів енергосистеми найбільш характерними є наступні завдання:

- складання балансів потужності та енергії;
- визначення перетоків потужності між енергосистемами;
- вибір складу працюючих агрегатів на електростанціях;
- розподіл навантаження споживачів між агрегатами, станціями, енергосистемами, об'єднаннями;
- вибір експлуатаційної схеми електричної мережі;
- регулювання частоти;
- регулювання напруги;
- настройка систем автоматики і релейного захисту.

Наведений перелік є далеко не повним, причому в кожній з перерахованих завдань є безліч підзадач.

При наявності великої статистичної бази з електроспоживання та об'ємів виготовленої продукції в якості найбільш доцільного методу дозволить оптимізувати та покращити енергетичне обладнання цеху.

Невідповідність фактичних значень енергоспоживання ділянки електролізу магнію цеху №7 ТОВ «ЗТМК» на виробництво титану губчатого запланованим витратам виявила необхідність проведення оптимального керування енергосистемою.

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 оптимізації, оцінювання та контролю обсягів споживання електричної енергії на підприємстві.

Методи дослідження. В роботі використовувались оптимізація електричних і енергетичних режимів: розрахунок граничних режимів по переданій потужності енергосистеми і визначення небезпечних перетинів, оптимізація електричної мережі за рівнями напруги, втрат потужності і розподілу реактивної потужності, розрахунок оптимальних положень стану. За основу досліду взята ділянка електролізу магнію цеху №7 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат».

Наукова новизна роботи полягає в наступному: із врахуванням загальних тенденцій зміни обсягів споживання енергетичних ресурсів розроблено метод розрахунків балансів електричної енергії та потужності на періоди: рік, квартал, місяць. Розрахунками електричних режимів визначається робота електричної мережі, що забезпечує допустимі навантаження і рівні напруг.

Практична цінність роботи. Впроваджена оптимізація сталих режимів роботи електроенергії на підприємстві ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» дозволяє оцінити рівень досягнутої енергоефективності на підприємстві та отримати інформацію щодо оптимізації подальшого споживання електричної енергії на промисловому підприємстві.

Особистим внеском автора є структурний аналіз втрат електричної енергії та потужності: за характером, типами обладнання і рівнями напруги. Даний аналіз виконується з метою розробки заходів зниження втрат електричної енергії та потужності в умовах ділянки електролізу магнію цеху №7 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат».

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВ «ЗАПОРІЗЬКИЙ ТИТАНО-МАГНІЄВИЙ КОМБІНАТ»

1.1 Основні відомості про підприємства

На сьогодні «Запорізький титано-магнієвий комбінат» (рисунок 1.1) єдиний виробник титанової губки в Європі, а нова продукція – результат глибокої переробки титану, яка відкриває для підприємства нові ринки збуту в Європі та Азії. Титанові злитки, а також сляби (злитки прямокутного перерізу) широко застосовуються як конструкційний матеріал в атомній енергетиці, хімічному машинобудуванні, суднобудуванні та в багатьох інших промислових галузях. При проектній потужності 20 тисяч тонн, підприємство зараз випускає не більше 10 тисяч тонн титанової губки на рік. Це пов'язано з морально і фізично застарілим виробництвом, а також з високою часткою вартості електроенергії в собівартості продукції, що досягає 40 % [1].



Рисунок 1.1 – ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат»

Запорізький титано-магнєвий комбінат знаходять у військовій сфері промисловості, особливо в авіації і ракетній техніці, де велике значення має зменшення ваги. Спеціальна область їх застосування – від цистерн з рідким киснем для ракетного палива до деталей компресорів ракетних двигунів, що працюють в інтервалі температур від $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+482\text{ }^{\circ}\text{C}$. У зазначеному температурному інтервалі працює безліч деталей літаків, таких як обшивка, турбіни реактивних двигунів, кріплення, лонжерони і інші деталі фюзеляжу. При виборі титанового сплаву для виготовлення спеціальних деталей виходять з величини відношення міцності до ваги і з властивостей цього сплаву в умовах експлуатації [2].

Область застосування:

- силові газові турбіни – титанові сплави використовуються для виготовлення турбін завдяки його винятковій стійкості до температур $600\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- насоси, труби, теплообмінники, хімічні реактори – експлуатують виняткові антикорозійні характеристики титану, а також його здатність працювати в широкому діапазоні температур аж до криогенних;
- стійки, тяги, пружини, клапани для спортивних і гоночних машин – титан використовується завдяки його низької щільності для зниження ваги машин і їх інерції. Титан має модуль пружності, наполовину менший, ніж у сталі, що робить його перспективним заміником сталі в найбільш відповідальних вузлах автомобілів, мотоциклів, велосипедів та інших спортивних механізмів;
- броня – високоміцний титан низької вартості є заміною сталевий деяких військових і цивільних цілях;
- медицина – титан знайшов широке застосування як матеріал для протезування, зокрема, в кардіостимуляторах, штучних щелепах та ін;
- спортивний інвентар – висока питома міцність титану відкрила новий і швидко зростаючий ринок: ключки для гольфу, спорядження для скелелазів, сноубордистів і ін. Його становленню допоміг імідж титану як високотехнологічного металу;

– годинники, оправы для окулярів – легкий, що не змінює свого кольору при експлуатації, титан використовується в побутових цілях, переважно для виготовлення предметів підвищеної комфортності і високу вартість [3].

1.2 Загальна характеристика системи електропостачання

Схема електропостачання міста Запоріжжя, а зокрема промислових підприємств, здійснюється по лініях напругою 154 кВ. Зв'язок споживачів на напрузі 150кВ зменшує втрати потужності й напруги в лініях, що веде до істотної економії електроенергії [4].

Всі підприємства промислової зони живляться як мінімум від двох незалежних джерел живлення, що забезпечує безперебійне електропостачання в нормальному, ремонтному та після аварійному режимах роботи мережі [5].

Мережа має досить велику щільність через велику щільність потужних металургійних споживачів і повністю за кільцьована, що з однієї сторони гарантує надійність електропостачання відповідальних споживачів, відключення яких приведе до значних матеріальних витрат, з іншої сторони впливає на величини струмів коротких замикань сильно збільшуючи їх.

Підстанція Титаномагнієва знаходиться поруч з підприємством та отримує живлення від лінії напругою 154 кВ. На підстанції встановлено по 2 трансформатора потужністю 63МВА й рівнем напруги обмоток 154/35/10, 2 секції збірних шин напругою 35 кВ, які з'єднані секційним вимикачем. На кожній секції по 2 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 на підприємстві [6]. У таблиці 1.1 наведені параметри підстанції «Титаномагнієва 154/35/10» кВ станом на 2019 рік.

Таблиця 1.1 – Параметри підстанції «Титаномагнієва 154/35/10» кВ

Параметри	Тип, рівні напруги на обмоток трансформаторів		
	ПС ТМ-1 154/35/10, кВ	ПС ТМ-2 154/35/10, кВ	ПС ТМ-3 154/35/10, кВ
Номінальна потужність ,МВт	126	126	126
Максимальна допустима потужність, МВт	81,144	81,144	81,144
Електричне навантаження в режимний день, МВт	33,75	43,7	7,5
Резерв дозволеної потужності сповивачів, МВт	47,394	37,444	73,644
Приєднана потужність існуючих споживачів, МВт	78,714	61,874	38,302
Резерв приєднаної потужності, , МВт	21,464	38,303	109,202
Фактичний резерв приєднаної потужності, МВт	2,431	19,27	42,811
Кількість споживачів,шт.	11	29	304

Всі цеха на підприємстві отримують живлення розподільними кабелями лініями напругою 380 В. За допомогою лінійних приєднань 10 кВ розподіляє електроенергію між комплектними трансформаторними підстанціями.

На рисунку 1.2 зображено добове навантаження підстанції «Титаномагнієва 154/35/10» кВ. Живлення цехів підприємства здійснюється трансформаторною підстанцією яка знаходиться поруч з цехом. Загалом розмішено два або п'ять трансформаторів різних типів.

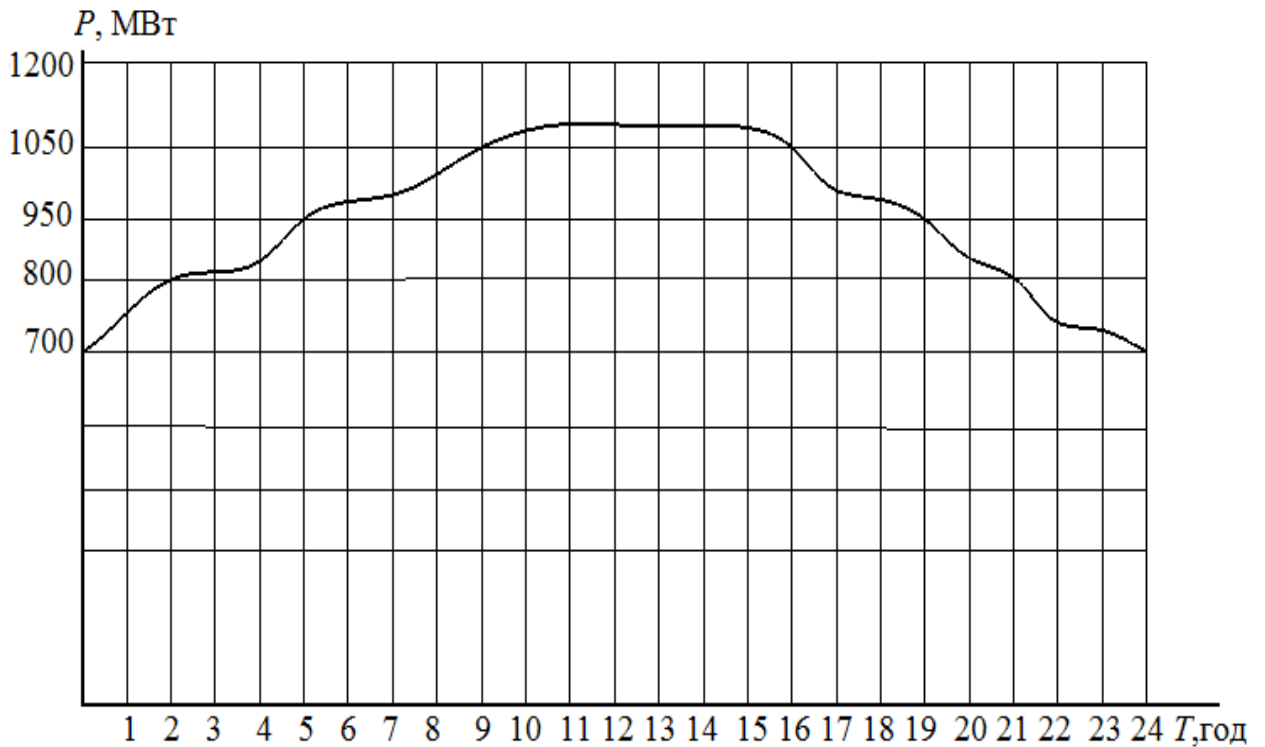


Рисунок 1.2 – добове навантаження трансформаторної підстанції
«Титаномагнієва 154/35/10» кВ

Живлення трансформаторних підстанцій підприємства здійснюється кабельними лініями, марка кабелю АСБ-10 (3x150), ААБЛ-10 (3x70) що прокладені в кабельних каналах по території комбінату.

1.3 Загальне споживання електричної енергії підприємством

Основною продукцією виробництва є титан губчастий, шлак титановий тетрахлорид титану очищений, злитки титанові, відливки титанові фасонні, феротитан, гідрид титану губчастого [7].

Комбінат дотримується політики підвищення енергоефективності в споживанні енергоресурсів. Реалізація та виготовлення високоякісної продукції відповідної вимогою міждержавних, міжнародному і національних стандартів. Але частина технологій які використовується на комбінаті вже застаріла тому, підвищення енергоефективності виробництва є

пріоритетом для комбінату. Підвищення енергоефективності можливе за рахунок проведення модернізації, технічного переозброєння та вдосконалення технологій виробництва, створення нових видів продукції і технології [8].

Загальне уявлення про результати діяльності та ефективності підприємства можна отримати з енергетичного обстеження підприємства – це передбачає оцінку всіх аспектів діяльності підприємства, які пов'язані з витратами електричної енергії. Результати аналізу дозволять отримати наочну фактичну картину що до заходів з енергозбереження, експертну оцінку потенціалу енергозбереження та напрями економії електричної енергії. У таблиці 1.2 відображення енергоспоживання і втрати на підприємстві за останній рік, до впровадження енергоефективних заходів.

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

Споживачі	Обсяг споживання електричної енергії, кВт			
	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал
Цех № 2	21 143 781	22 481 473	22 935 137	23 018 870
Цех № 7	51 992 910	55 107 002	55 856 151	56 330 742
Цех № 9	693 241	639 720	739 844	842 150
Цех № 10	1 213 171	1 096 661	924 812	1 122 877
Цех № 12	8 578 837	9 138 814	8 970 592	9 170 121
Інші	1 039 842	822 490	1 174 812	935 746
Разом	84 661 778	89 286 170	90 603 336	91 420 491
Втрати в мережі	1 733 110	1 827 761	1 849 614	1 871 456
Втрати в БСК	259 961	274 160	277 446	280 721
Всього	86 654 847	91 388 095	92 480 389	93 572 664
Сумарне споживання за рік	364 095 995			

У таблиці представленні основні цеха, споживачів електроенергії на підприємстві. На рисунку 1.3 видно, що за 2019 рік у середньому

збільшилось споживання електроенергії. Це обумовлено збільшенням кількості продукції комбінатом.

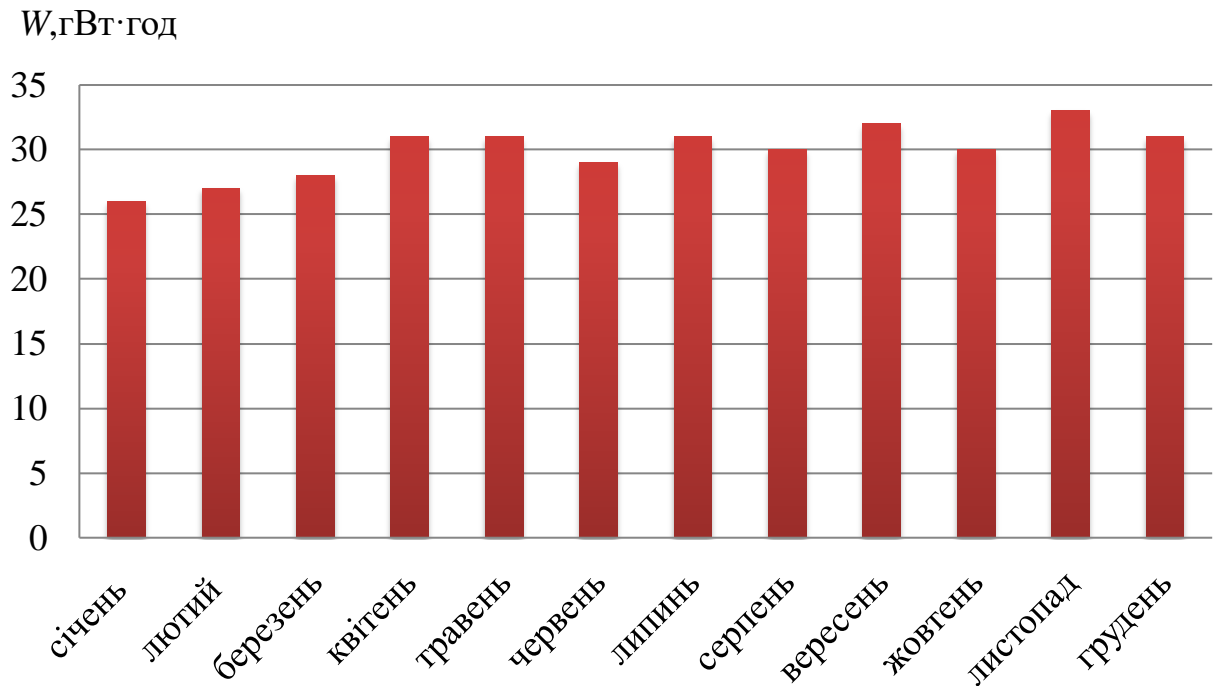


Рисунок 1.3 – Споживання електроенергії за 2019 рік

З діаграми приведеної на рисунку 1.4 видно що, основним споживачем є цех №7 з виробництвом титанової губки та магнієм.

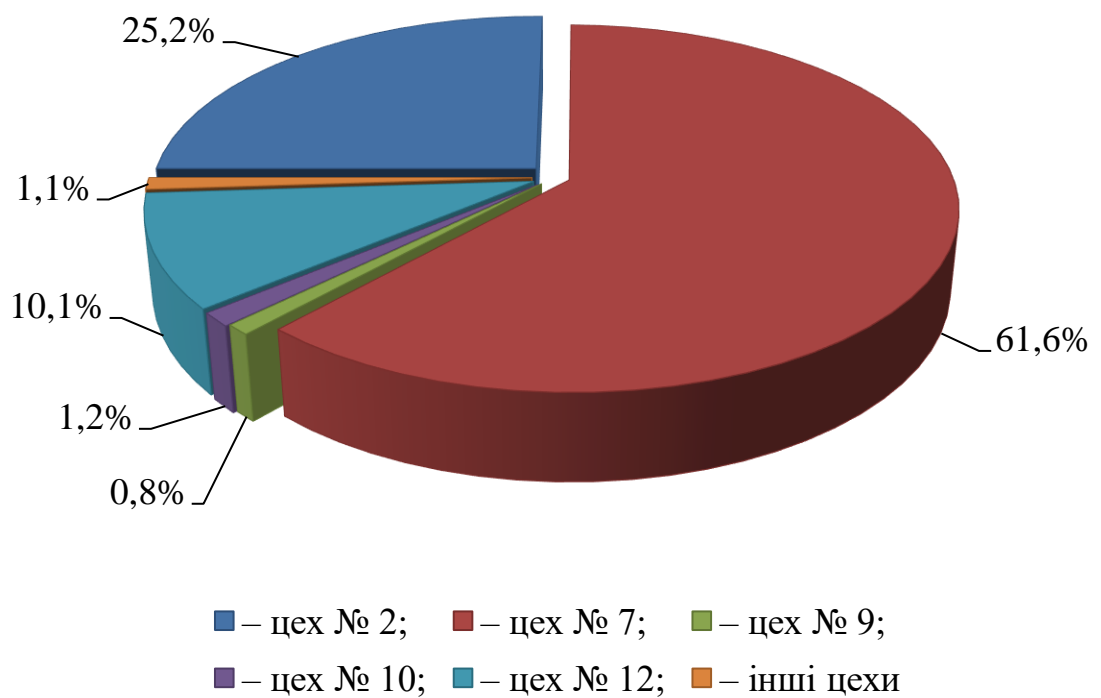
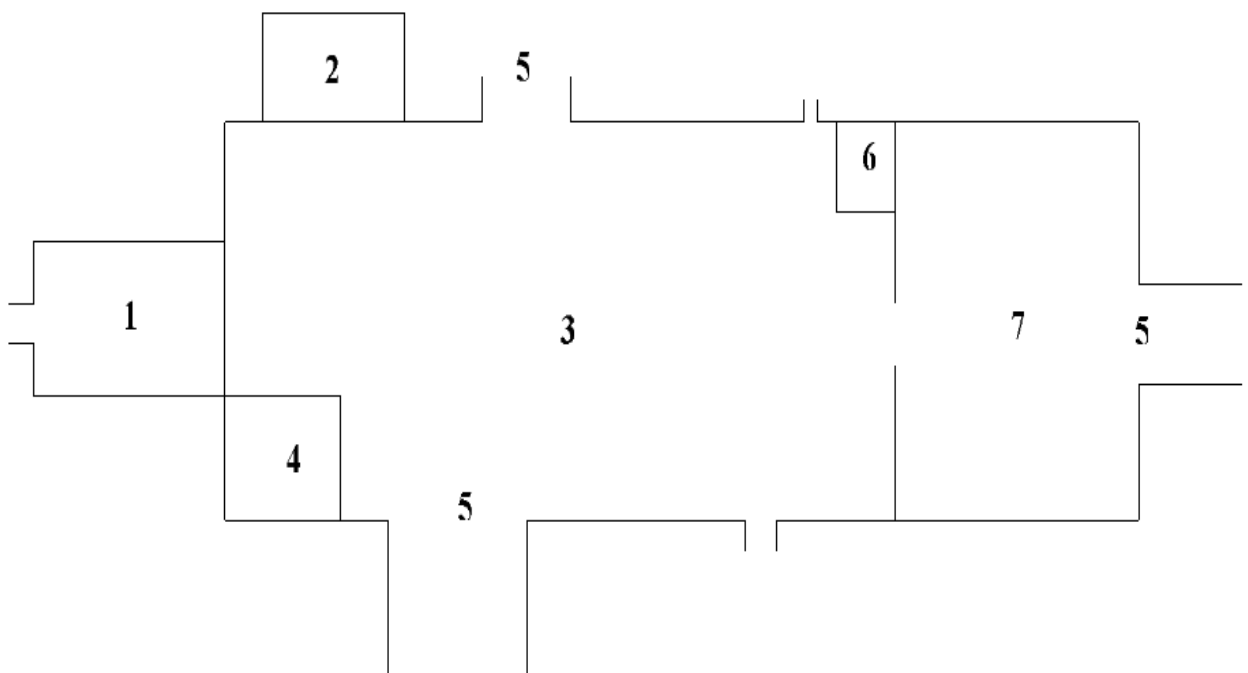


Рисунок 1.4 – Відсоткове споживання електроенергії по цехами

Усі цехи підприємства поділяються на ділянки. Цех №7 – це один з найбільших споживачів електроенергії. Тому було прийняте рішення взяти за основу ділянку електролізу магнію цеху № 7.

1.4 Загальні відомості ділянки електролізу магнію цеху №7

Цех електролізу – основний цех, що виробляє металевий магній сирець і хлор. Компоненти надходять з ділянок безводного карналіту і хлористого магнію. Цех обладнаний електролізерами і забезпечується за загально цеховими шинопроводами постійного струму від трансформаторної підстанції яка знаходиться поруч з цехом. На рисунку 1.5 представлений вид зверху ділянки електролізу магнію цеху №7.



1– адмінбудівля; 2 – трансформаторна підстанція цеху; 3 – ділянка електролізу; 4 – побутове приміщення ; 5 – проїзди для транспорту; 6 – ремонтно-механічна майстерня; 7 – склад готової продукції.

Рисунок 1.5 – Ділянка електролізу магнію.

Хлорна компресорна станція є відділенням цеху електролізу, в її основі лежить включення в центральну систему хлоропроводу колекторів і патрубків, приєднують електролізери до загально цехового хлоропроводу.

Ділянка для нейтралізації газів (газоочищення), від всмоктуваних з катодних або збірних осередків входить до складу електролізного цеху так як на цій ділянці нейтралізуються гази не тільки з електролізних ванн, а із інших ділянок [9].

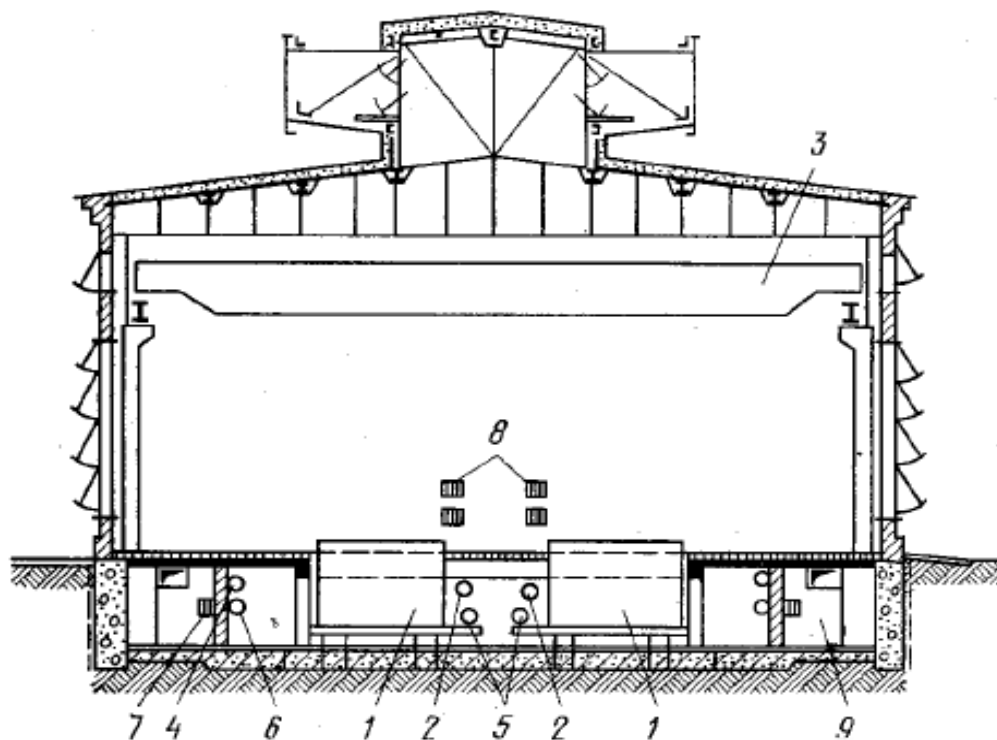
Транспортні засоби цеху – електрокари, ковші, мостові крани перебувають на ділянці електролізу, що забезпечує їх справність і експлуатацію цеху.

Капітальний ремонт електролізерів проводиться спеціалізованою ремонтною бригадою кольорової металургії. Решта ремонт і спостереження за справністю, і експлуатації обладнання здійснюється електромонтерами за наглядом старшим електриком цеху. Цех електролізу є допоміжні служби: ремонтно-механічна майстерня, побутове примирення і електроремонтна служба.

В процесі роботи цех електролізу пов'язаний з сировинними цехами, звідки він отримує розплавлену сировину для електролізерів; з ливарним відділенням цеху електролізу, куди систематично передає розплавлений метал. З перетворювальної підстанцією, від якого отримує постійний струм для електролізера; з хлорним компресорною станцією, яка забезпечує нормальний відсмоктування анодних газів; з відділенням переробний електроліт; з вентиляційними установками і з іншими службами цеху і заводу.

Відстань печей, що виробляють сировину до електролізера мінімальне. З цього цех з'єднаний критими коридорами. Розплавлений магній доставляють з ливарного цеху електролізу через критий коридор в термоізольованих тиглях на електрокарах. У уникнення зайвих втрат енергії перетворювальну підстанцію розташована поруч з цехом і зроблена щільною газонепроникної стінкою.

На рисунку 1.6 електролізери в цеху розташовані в два ряди в центрі цеху. Електролізери виступають над рівнем підлоги 300 мм. Проміжки між електролізерами не менше 1 м. Нижня частина знаходиться в підвалі цеху спираючись на ізолятори. Підвал зроблений глибиною 3,5 м під всім будівлям цеху. У ньому розташовані канали припливної вентиляції, а також трубопроводи для стисненого повітря і вакууму, від яких відведені наверх труби з вентилями через кожні два електролізера. Кабелі для підведення змінного струму на розігрів змонтовані в каналах припливної вентиляції.



1 - електролізер; 2 хлоропровід; 3 - мостовий кран; 4 - вакуумна лінія;
5 - катодний відсмоктування; 6 лінія стисненого повітря 7 - шинопровід
змінного струму для розігріву електролізерів; 8 - шинопровід постійного
струму; 9 - канал припливної вентиляції.

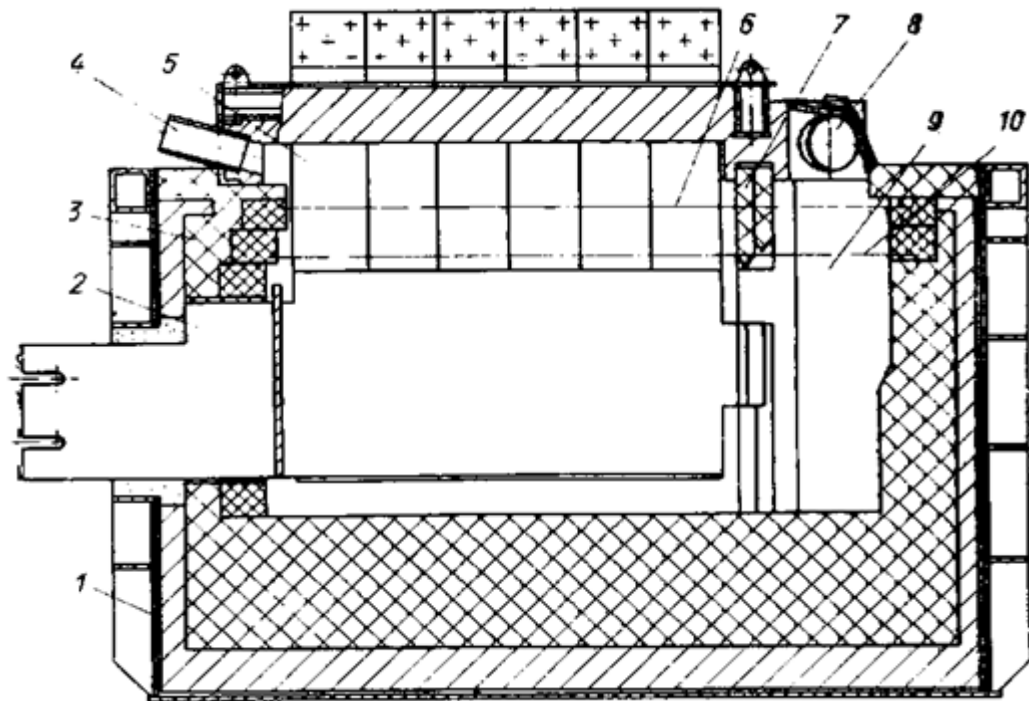
Рисунок 1.6 – Поперечний розріз будівлі корпусу електролізу магнію.

Електролізери включені в електричний ланцюг послідовно. Група послідовно включених електролізерів, отримує постійний струм від перетворювачів струму, називається серією. В серію включається значне

число електролізерів, однак при цьому напруга на серії не повинно перевищувати меж безпечної зони.

Внутрішня поверхня стін і колон на висоту 3 м облицьована керамічною плиткою та є вогнетривкою та кислотостійкою.

В цеху застосовують приточну вентиляцію призначена для очищення від шкідливих примісив. Також застосовується витяжна вентиляція для відкидання брудного повітря. Основні гази від електролізерів відкачують по трубам на газоочищення. Ділянка електроліза магнію обладнаний електролізерами бездіафрагменного типу (рисунок 1.7).



1 - кожух; 2 - рамний катод; 3 - футерування; 4 - відсмоктувач анодного хлору; 5 - графітові аноди; 6 - верхній рівень електроліту; 7 - перегородка; 8 - сантехнічний відсмоктування газу зі збірної осередку; 9 - збірна осередок; 10 - нижній рівень електроліту.

Рисунок 1.7 – Бездіафрагменний електролізер

Ділянка електролізу має ворота для в'їзду автомашин, вагонеток і електрокарів. Підлоги в цеху електролізу зроблені не електропровідними, вологонепроникними і кислотожаростійкими. Цех електролізу магнію не опалюється, тому що паровидалення від електролізерів дуже велике. Взимку

температура цеху при роботі 15-24 електролізерів досягає 18–26 °С, при цьому температура на вулиці взимку 0-10 °С [9].

Електроліз хлористий магній – магній одержують методом електролітичного розкладання розплаву хлористого (дихлорида) магнію в бездіафрагменних електролізерах. В електролізерах робочим розплавом є хлористий магній, плавкошпатовий концентрат і кухонна сіль. В результаті процесу електролізу утворюється металевий магній, який після додаткового очищення направляється на відновлення титану, хлор-газ – направляється в сольовий хлоратор, а відходи: шлам і шламоелектролітна суміш – вивозяться на відвальних господарство або реалізуються споживачу. Відходять гази з бездіафрагменного електролізерів направляються на газоочистку.

На електролізері, електричний струм використовується для електрохімічного процесу і для нагрівання ванни; робоча температура процесу близько 700 °С; напруга – 6-8 В, сила струму 30-40 кА [10].

Аноди виготовляють із графіту. Катоди – зі сталі у формі пластин; вони розташовані у ванні вертикально і паралельно один до одного. Вогнетривка перегородка відокремлює хлор від магнію.

При електролізі на анодах виділяється газоподібний хлор, що пухирцями спливає на поверхню і по хлоропроводах виводиться; біля катодів виділяється магній. Густина електроліту збільшується щоб він перевищував густину магнію, тому останній спливає на поверхню електроліту, звідкіля за нагромадженням витягується за допомогою вакуумних ковшів.

1.5 Система електропостачання електролізу магнію цеху №7

Дільниця електролізу магнію цеху №7 отримує живлення розподільними кабелями лініями напругою 380 В. За допомогою лінійних

приєднань 10 кВ розподіляє електроенергію між комплектними трансформаторними підстанціями.

Живлення цеху електролізу магнію здійснюється трансформаторної підстанцією яка знаходиться поруч з цехом. В трансформаторній підстанції розміщено три трансформатора типу ТАМ 1000/10, та один трансформатор типу ТАМ 1600/10. Характеристика трансформаторів приведена у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристика підстанції цеху електролізу магнію №7

Характеристика		ТАМ 1000/10	ТАМ 1600/10-У1
Кількість		3	1
Номінальна потужність, кВА		1000	1600
Номінальна напруга, кВ	ВН	10	10
	НН	0,4	0,69
Втрати, кВ	НХ	1,65	2,35
	КЗ	10,8	16,5
Напруга К.З, %		5,2	6,5
Струм НХ, %		4,4	1,3
Схема з'єднання обмоткою		Y/Y ₀ -0	Y/Y ₀ -0

Сумарний коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$k_3 = \frac{S_{з.м}}{\sum S_{ном}} = \frac{\sqrt{P_{з.м}^2 + Q_{з.м}^2}}{\sum S_{ном}}, \quad (1.1)$$

$$k_3 = \frac{\sqrt{2723,17^2 + 1697,99^2}}{4600} = 0,7.$$

Середня річна потужність навантаження підстанції:

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

$$P_c = 2986,54 \text{ кВт.}$$

Втрати в трансформаторній підстанції:

$$\Delta P_t = \Delta P_{\text{м.н}} \left(\frac{S_{\text{зМ}}}{\sum S_{\text{НОМ}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{ст}} = k_3^2 \Delta P_{\text{м.н}} + \Delta P_{\text{ст}}, \quad (1.3)$$

$$\Delta P_t = 0,7^2 \cdot 27,3 + 4 = 17,37 \text{ кВт.}$$

Максимально зафіксоване навантаження:

$$P_{\text{maxПС}} = P_{\text{max}} + \Delta P_t, \quad (1.4)$$

$$P_{\text{maxПС}} = 2723,13 + 17,37 = 2740,51 \text{ кВт.}$$

Графік добового навантаження представлений на рисунку 1.8 Живлення трансформаторних підстанцій підприємства здійснюється кабельними лініями, марка кабелю АСБ-10 (3x150), ААБЛ-10 (3x70) що прокладені в кабельних каналах по території комбінату. Сумарно довжина прокладеного кабелю від підстанції до цеху електролізу 6589 м.

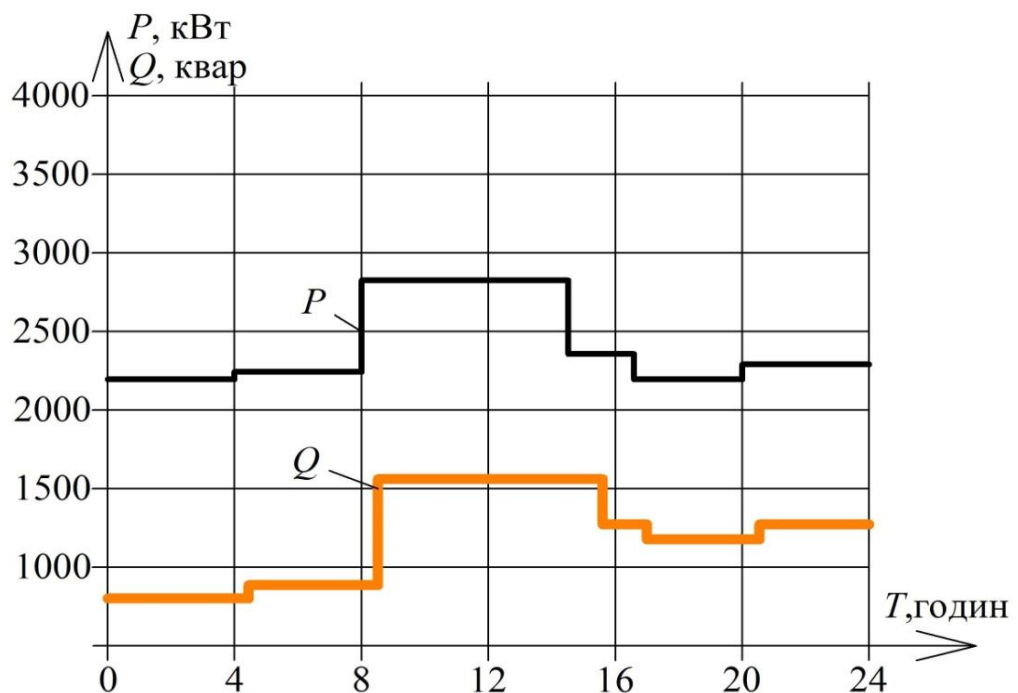


Рисунок 1.8 – Графік добового навантаження підстанції цеху

Для забезпечення надійної та економічної роботи енергосистем і енергетичного обладнання, а також безперебійного електропостачання споживачів встановлені шафи керування та живлення електродвигунів, міксерів, тощо. На ділянці встановлено 4 шафи управління ШУ. В них знаходиться апаратура захисту представлена силовими контакторами, тепловими реле перевантаження, автоматичними вимикачами роз'єднувачами, та трансформаторами струму. Для зразку розглянемо одну із шаф. Характеристика однієї шафи управління представлена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Характеристика обладнання шафи управління.

Найменування	Тип	Кількість, шт.	Номінальна напруга, В	Номінальний струм, А
Силовий контактор	DILM225/22	4	380	225
	DILM150	2	380	150
	DILM65	4	380	65
Теплове реле перевантаження	ZB-150-125	6	380	110
	ZB-65-40	3	380	40
	ZB-65-24	3	380	24
Вимикач-роз'єднувач	DMV1600N/3	7	380	1600
	DMV160N/3	3	690	160
	DMV250N/3	6	690	250
Автоматичний вимикач	NZMN3-ME220	6	380	225
	NZMH-25	2	380	25
	NZMH-50	3	380	50
Трансформатор струму	КТ-200/5А	2	680	5

Кабельні лінії, що здійснюють живлення обладнання цеху прокладені в спеціальних кабельних каналах по території цеху, або в трубах і виконані кабелями ПВ1 (3x2.5), ПВ1 (3x35) АВВГ (3x25).

Річне споживання електроенергії ТОВ «ЗТМК» склало 365 гВт·годин за 2019 рік. Найбільшим споживачем електричної енергії є цех №7, якій поділений на ділянки.

2 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Аналіз режимів роботи електропостачання

Важливою особливістю систем електропостачання є неможливість створення запасів основного використовуваного продукту електроенергії. Вся одержувана електроенергія негайно споживається. При непередбачених коливаннях навантаження необхідна точна й негайна реакція системи керування, що компенсує виниклий дефіцит.

Системі електропостачання великого підприємства притаманна наявність глибоких внутрішніх зв'язків, що не дозволяють розчленовувати системний, комплексний підхід, що враховує взаємовплив факторів, і урахування їхньої динамічності. Під впливом різноманітних збурювань відбувається безперервна зміна стану системи. Головною проблемою в найближчому майбутньому з'явиться створення раціональних систем електропостачання промислових підприємств, що зв'язано з наступним:

– вибором і застосуванням раціонального числа трансформацій. Застосування на промислових підприємствах раціональних систем електропостачання приведе до скорочення числа трансформацій до двох-трьох. У цьому випадку економія електроенергії складе не менш 10-15% усього її витрати (споживання) промисловим підприємством [11];

– вибором і застосуванням раціональних напруг. Застосування раціональних напруг у системах електропостачання промислових підприємств дає значну економію у втратах електроенергії. Нераціональні рішення в цьому напрямку приводять до того, що в експлуатації перебувають системи електропостачання, у яких втрати електроенергії доходять до 35-40%;

– правильним вибором місця розміщення цехових і головних розподільних (знижувальних) підстанцій. Розташування живильних

підстанцій у відповідних центрах електричних навантажень забезпечує мінімальні річні наведені витрати. Усякий зсув живильної підстанції із центра електричних навантажень веде до збільшення цих витрат і підвищеній витраті електроенергії;

– подальшим удосконалюванням методики визначення електричних навантажень. Правильне визначення очікуваних навантажень сприяє рішенню загального завдання оптимізації побудови систем внутрішньозаводського електропостачання;

– раціональним вибором числа й потужності трансформаторів, а також схем електропостачання і їхніх параметрів, що веде до скорочення втрат електроенергії, підвищенню надійності й сприяє здійсненню загального завдання оптимізації побудови систем електропостачання;

– раціональним вибором числа й потужності трансформаторів, а також схем електропостачання і їхніх параметрів, що веде до скорочення втрат електроенергії, підвищенню надійності й сприяє здійсненню загального завдання оптимізації побудови систем електропостачання [11];

– принципово новою постановкою для рішення таких завдань, як, наприклад, вирівнювання електричних навантажень.

Підтримка напруги, близької до номінальної, звичайно провадиться за рахунок регулювання напруги різними додатковими пристроями. При цьому особливо в умовах глибокого регулювання напруги мають місце додаткові втрати електроенергії. У таких випадках ефективніше застосовувати підвищення номінальної напруги, що набагато вигідніше економічно. Загальне завдання оптимізації систем промислового електропостачання крім зазначених вище положень включає також раціональні рішення на вибір перетинів проводів і жили

кабелів, способів компенсації реактивної потужності, автоматизації, диспетчеризації та інше [11].

На промислових підприємствах можуть бути електроприймачі, перерви в електропостачанні яких неприпустимі навіть на порівняно короткий проміжок часу, необхідний черговому персоналу на оперативні переключення, які зв'язані з відновленням живлення після аварійного відключення ушкодженої ділянки мережі. При цьому одні й ті ж самі за своїм характером і призначенням електроприймачі на одних підприємствах можуть зовсім не припускати перерв живлення, а на інші – припускати їх на деякий термін без збитку для виробництва.

Перерва в електропостачанні може приводити до різних несприятливих наслідків. Так, наприклад, на металургійних або хімічних виробництвах, а також на деяких шахтах перерва в електропостачанні приводить до розладів безупинних технологічних процесів, до виходу з ладу основного технологічного устаткування, а в інших випадках - до утворення вибухонебезпечних концентрацій газів при припиненні вентиляції, що загрожує життю людей. Деякі ж виробництва при перервах в електропостачанні несуть тільки витрати від недовипуску продукції [12].

Відповідно до характеру збитку, що може бути нанесений окремому підприємству або народному господарству при раптових перервах електропостачання, усім електроприймачам привласнюють визначену категорію у відношенні забезпечення надійності їхнього електропостачання.

Різноманіття споживачів електроенергії Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) умовно підрозділяють на три основні категорії по безперебійності живлення:

I – електроприймачі, порушення електропостачання яких спричиняє небезпеку для життя людей, значний збиток народному господарству, ушкодження устаткування, масовий брак продукції, розлад складного технологічного процесу, порушення особливо важливих елементів народного господарства;

II – електроприймачі, перерва в електропостачанні яких зв'язана з масовою недовідпусткою продукції, простоем робітників, механізмів і промислового транспорту, порушенням нормальної діяльності значної кількості міських жителів;

III – всі інші електроприймачі, які не підходять під визначення I і II категорій, що допускають перерви в електропостачанні без істотного збитку для споживачів протягом часу, необхідного для ремонту чи заміни електроустаткування, що вийшло з ладу [12].

Електроприймачі I категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних джерел живлення (наприклад, від різних секцій збірних шин підстанції, що нормально працюють роздільно).

Перерва в живленні може бути припущена лише на час автоматичного введення резервного живлення (кілька секунд), або повинно бути не менш двох агрегатів однакового призначення, що одержують живлення від незалежних джерел. Незалежними джерелами є:

- дві електростанції;
- дві підстанції енергосистеми;
- дві секції збірних шин електростанції або підстанції енергосистеми за умови, що кожна із секцій у свою чергу одержує живлення від незалежного джерела і секції не зв'язані між собою чи мають зв'язок, що відключається автоматично при порушенні нормальної роботи однієї секції.

Для живлення електроприймачів особливої групи крім двох основних джерел живлення електроприймачів I категорії повинно передбачатися третє незалежне джерело, достатнє для безаварійної зупинки виробництва. В якості таких джерел можуть бути використані дизельні електростанції, акумуляторні батареї тощо, які включаються автоматично при зникненні напруги на обох основних джерелах живлення. При виході з роботи одного з двох основних джерел живлення незалежне джерело живлення переводиться в режим гарячого резерву. Потужність третього незалежного джерела повинна бути мінімальною, що забезпечує живлення тільки

електроприймачів особливої групи, необхідної для безаварійної зупинки виробництва.

Для електроприймачів II категорії припустима перерва електропостачання на час, необхідний для включення резервного живлення черговим персоналом чи виїзною оперативною бригадою. Припускається живлення приймачів II категорії одним трансформатором.

Для споживачів III категорії припускаються перерви, необхідні для ремонту чи заміни електроустаткування, але не більш доби.

Віднесення споживачів до I категорії спричиняє підвищення вимог у відношенні резервування і, як наслідок, збільшення капітальних витрат на електроустаткування. Внаслідок цього в кожному окремому випадку необхідно ретельно аргументувати віднесення споживачів до тієї чи іншої категорії по безперебійності живлення [12].

2.2 Основні вимоги до системи електропостачання

Вимоги, пропоновані до схем електропостачання, залежать від багатьох факторів, сутність основних з них зводиться до наступного:

1. Джерела живлення необхідно максимально наближати до електроустановок споживачів.

2. Система електропостачання повинна забезпечувати необхідну надійність живлення підприємства й окремих споживачів відповідно до їхньої категорії за ступенем відповідальності.

3. Схеми електропостачання, як правило, повинні будуватися таким чином, щоб усі їхні елементи постійно знаходилися під напругою.

4. Робота всіх елементів схеми (ліній, трансформаторів) повинна передбачатися, як правило, роздільна, тому що при паралельній роботі

збільшуються струми короткого замикання й ускладнюються пристрої релейного захисту.

5. При побудові схем електропостачання необхідно застосовувати глибоке секціонування шин у всіх ланках системи розподілу енергії, починаючи від вузлової підстанції і закінчуючи шинами підстанцій нижчої напруги.

6. Повинні передбачатися заходи щодо забезпечення необхідних показників якості електроенергії (зокрема стабільність, мінімум коливань і припустимі величини відхилень напруги в нормальних, аварійних і після аварійних режимах).

7. Система електропостачання як у схемній, так і в конструктивній частині повинна передбачати і забезпечувати можливість зростання електричних навантажень на найближчі 10 років.

8. Система електропостачання підприємства повинна задовольняти економічності, що відповідає мінімуму розрахункових витрат, простоті, зручності і безпеці експлуатації.

Такі найголовніші вимоги до систем електропостачання на всіх її ступенях [13].

2.3 Види режимів електропостачання

Сукупність процесів, що існують в електричній системі і визначають її стан у будь-який момент часу або в деякому інтервалі часу, називається режимом системи. Режим – це стан системи, обумовлений значеннями потужності, напруг, струмів, частоти й інших фізичних змінних величин, що характеризують процес перетворення, передачі і розподілу енергії. Режим електричної системи може бути сталим або перехідним (несталим). У сталому режимі роботи системи параметри режиму непостійні, вони

безупинно змінюються, однак ці зміни досить малі. Перехідний режим системи характеризується швидкою зміною в часі його параметрів. Окремий випадок перехідного режиму режим хитань, коли періодично змінюються параметри.

З погляду параметрів режиму системи розрізняють:

1. Нормальні сталі режими, стосовно до яких проектується електрична система і визначаються основні техніко-економічні характеристики.
2. Нормальні перехідні режими, під час яких система переходить від одного робочого стану до іншого.
3. Аварійні сталі і перехідні режими, для яких визначаються технічні характеристики, зв'язані з необхідністю ліквідації аварії і з'ясування умов подальшої роботи системи.
4. Післяаварійні сталі режими викликають у загальному випадку зміну нормальної схеми системи, наприклад відключення якого не будь елемента системи або ряду елементів. У цьому режимі система може працювати з погіршеними техніко-економічними характеристиками в порівнянні з нормальним режимом [14].

У будь-яких перехідних процесах відбуваються закономірні післяаварійні зміни параметрів режиму системи, викликані якими небудь причинами, названими впливами, що збурюють.

Нормальні перехідні процеси виникають при звичайних експлуатаційних операціях: включенні і відключенні трансформаторів і ліній електропередач, включенні і відключенні окремих генераторів і навантажень. При нормальній експлуатації системи завжди діють малі впливи, що збурюють, які викликають малі збурювання режиму, наприклад зміни навантаження.

Аварійні перехідні процеси виникають унаслідок різких і істотних змін режиму системи: при коротких замиканнях у системі і наступному їхньому відключенні, при зміні схеми з'єднання системи.

Під час перехідного режиму система переходить від одного сталого режиму до іншого або після збурювання повертається до вихідного сталого режиму. Перехідні і сталі режими електричних систем повинні задовольняти рядові основних вимог. У нормальному робочому режимі системи (вихідний режим) повинні бути забезпечені [14]:

- якість - постачання споживачів енергією, що відповідає за своїми показниками встановленим нормативам;
- надійність - постачання споживачів енергією без перерви і без зниження її якості, стійке збереження режиму (стійкість);
- економічність - надійне постачання споживачів енергією необхідної якості при мінімальних витратах засобів на її виробництво і передачу.

Перехідні режими електричних систем практично завжди повинні закінчуватися деяким бажаним сталим режимом. Важливо знати, чи буде цей режим здійснений при параметрах, прийнятих у розрахунку, а якщо здійснимо, то чи буде він стійкий і досить надійний для того, щоб система могла довгостроково працювати без порушень її стійкості.

Оцінюючи якість перехідного режиму в цілому, необхідно, щоб зміни параметрів режиму, що відбуваються, не могли істотно знизити якість енергопостачання споживачів.

Умови, що повинні бути виконані при розрахунках перехідних процесів наступні:

- здійсненність режиму, що повинний наступити після загасання перехідних процесів;
- стійкість переходу від режиму до режиму і стійкість режиму;
- задовільна якість перехідного процесу;
- економічність заходів, що забезпечують дотримання вимог до перехідного процесу

Таким чином, у системі електропостачання промислового підприємства частота підтримується енергосистемою постійної й у межах норми. Значні відхилення і розмах коливань частоти можуть виникати на промислових

підприємствах, що мають своє джерело живлення (електростанція і т.д.). У цьому випадку виникають істотні збитки через знижену частоту обертання приводних механізмів [14].

2.4 Структура та енергогосподарство цеху №7

Структура підприємства – це його внутрішня будова, що характеризує склад підрозділів і систему зв'язку, підпорядкованість і взаємодію між ними.

Основними задачами енергетичного господарства підприємства є:

- безперебійне постачання підприємства усіма видами енергії при найменших витратах;
- впровадження новітньої енергетичної техніки і найбільш повне використання потужності енергоустановок;
- підвищення продуктивності праці і зниження собівартості енергетичної продукції;
- спостереження і контроль за виконанням у технологічних і інших цехах правил експлуатації енергетичного устаткування;
- організація техоглядів і ремонту енергетичного устаткування.

Склад і характер часткових виробничих процесів в енергогосподарстві підприємства визначаються його виробничою структурою.

У виробничому відношенні енергогосподарство підприємства можна розділити таким способом:

- загальнозаводське енергогосподарство – генеруючі і перетворюючі установки, загальнозаводські енергомережі, енергоприймачі і розподільні мережі будинків і приміщень загальнозаводського призначення (склади, управління підприємства, їдальні тощо);

– цехове господарство – енергоприймачі виробничих цехів, цехові перетворюючі установки, внутрішньо цехові розподільні мережі, опалювально-вентиляційні пристрої [15].

Виробнича структура енергогосподарства підприємства визначає його організаційну структуру управління рисунок 2.1

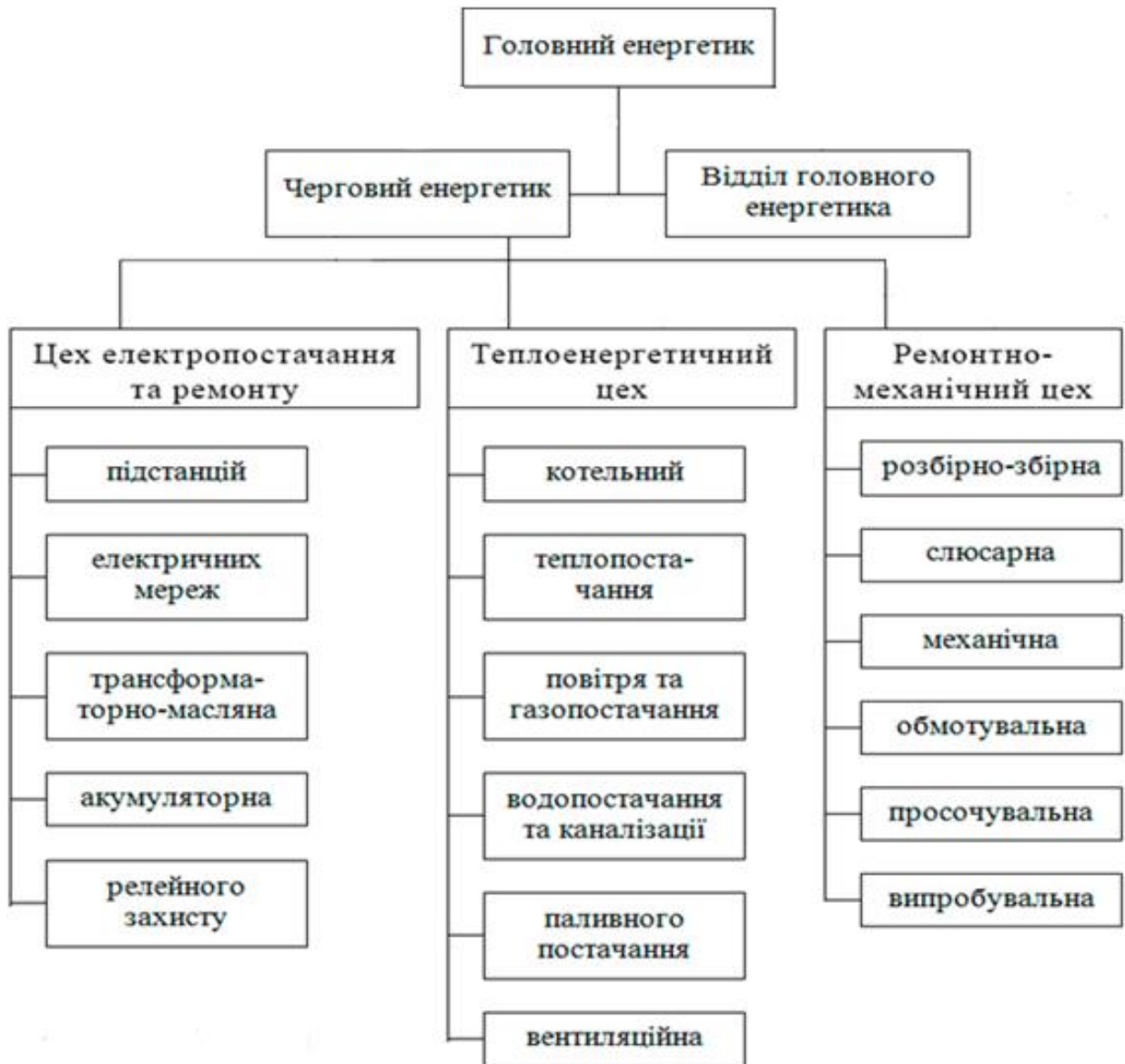


Рисунок 2.1 – Організаційна структура управління енергогосподарством цеху №7

На підприємствах, енергопостачання яких здійснюється за централізованою схемою (електро- і теплова енергія від районної енергосистеми або від ТЕМ суміжних підприємств, а паливо – від відповідних паливостачальницьких організацій), енергогосподарство

підприємства містить у собі тільки енергоприймачі, розподільні мережі і перетворюючі установки і може бути об'єднане в два цехи: електричний (експлуатація і ремонт електроустаткування й електричних мереж) і теплосиловий (експлуатація і ремонт теплосилового устаткування, компресорних і насосних установок, каналізації, а також парових, теплових, водяних і повітряних мереж). енергоустановок і використанням енергоресурсів на підприємстві. Заступники головного енергетика здійснюють безпосереднє технічне й оперативне керівництво відповідними енергоцехами і персоналом енергослужб виробничих цехів.

Відділ головного енергетика вирішує такі задачі:

- виробництво усіх видів енергії на території заводу;
- придбання, перестановка і заміна енергоустаткування;
- складання графіків ремонтів технологічного устаткування;
- аналіз роботи підстанції;
- розробка методів керування режимами;
- розробка проектів будівництва нових об'єктів і реконструкції існуючих цехів.

Виробничий процес в цеху електролізу магнію цеху №7 складається з етапів виробництва, передачі, розподілу і споживання. Споживаючі, перетворюючі і генеруючі установки, пов'язані з мережами енергопостачальних систем району місця розташування підприємства [16].

2.5 Споживання електричної енергії електролізу магнію цехом №7

Цех №7 – це один з найбільших споживачів електроенергії. Усі цехи підприємства поділяються на ділянки. Споживання електроенергії на ділянках цеху №7 приведені у таблиці 2.1. Тому було прийнято рішення провести окремий аналіз цих ділянок.

Таблиця 2.1 – Споживання електроенергії цехом №7, окремих його дільницями, за рік

Дільниці цеху №7	Обсяг споживання електричної енергії, кВт			
	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал
Приймальний склад карналіту	5 720 467	5 789 561	5 856 742	6 897 547
Ділянка електролізу магнію	10 678 631	10 131 480	10 557 211	11 098 123
Ділянка рафінування магнію	8 321 464	8 993 356	9 014 248	8 278 215
Ділянка сери і флюсів	9 325 215	9 881 359	9 987 258	10 069 347
Ділянка газоочищення	8 318 874	9 891 461	9 941 047	9 136 567
Ділянка губчастого титану	8 628 259	9 419 785	9 499 645	9 850 943
Всього	51 992 910	55 107 002	55 856 151	56 330 742
Сумарно споживання за рік	219 286 805			

На рисунку 2.2 видно що ділянка електролізу магнію споживає більше електроенергії ніж інші ділянки.

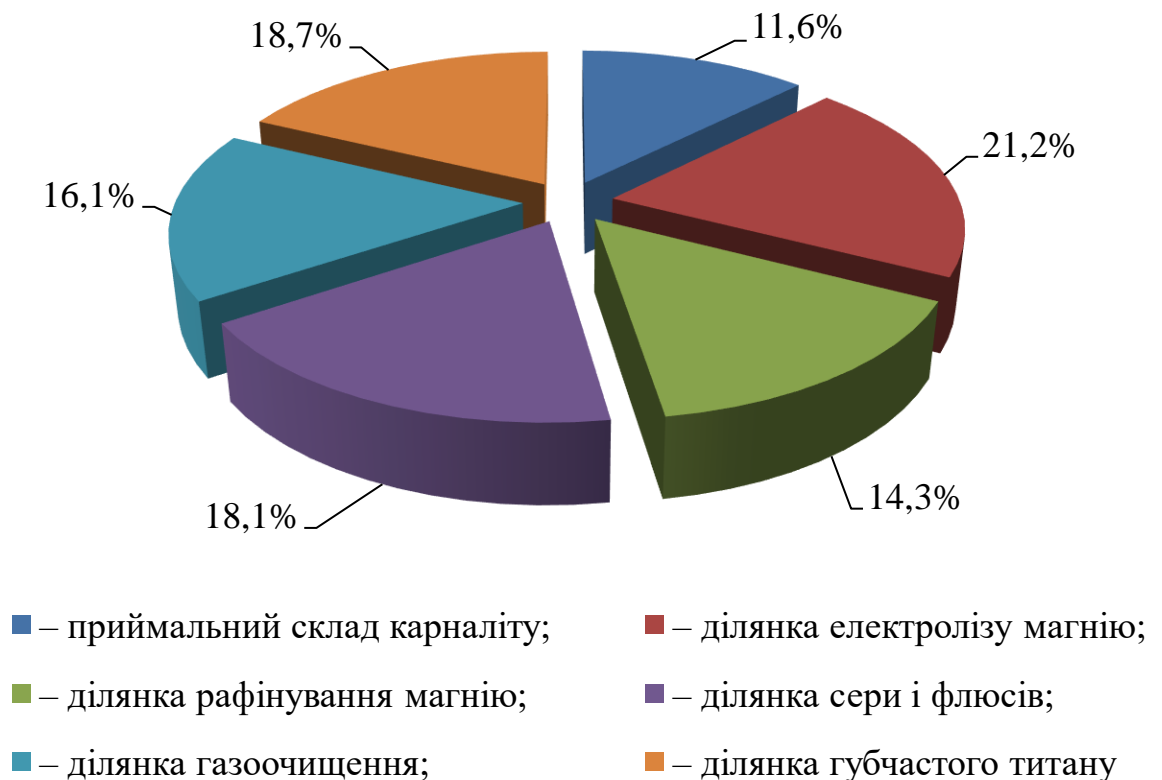


Рисунок 2.2 – Відсоткове споживання електроенергії по дільницям цеху №7

З приведеної таблиці видно, що основними споживачами електроенергії є ділянка електролізу магнію, ділянка губчастого титану, приміщення для розлому сери і флюсів.

Провівши аналіз усіх ділянок було прийнято, що ділянка електролізу магнію є най енергоємним та енергозатратною ділянкою підприємства. Щоб зменшити споживання електричної енергії та втрат в мережі, було прийнято рішення обрати саме цю ділянку для енергетичного обстеження. Провести повний аналіз споживання електричної енергії електричним обладнанням ділянки електролізу за повний рік.

Ділянка електролізу магнію цеху №7 обладнана електролізерами бездіафрагментних типу, призначений для отримання магнію сирцю і анодного хлорозу електролітичним способом з сировини: хлористого.

Сировина надходить на ділянку в розплавленому стані в спеціальних футерованих ковшах з температурою 700-750°C. Продукт виробництва - магній сирець транспортується до відділення рафінування магнію в спеціальних герметичних вакуум – ковшах в рідкому стані. Відділення рафінування магнію служить для очищення магнію - сирцю металевих і не металевих домішок методом рафінування флюсів з подальшим схилом.

Магній рафінування (магній відновник) транспортується на півночній ділянці в вакуум - ковшах.

У відділення рафінування проводиться переробка і плавлення хлористих солей в міксері ШЕС (шламоелектролітна суміш).

Електрообладнання ділянки електролізу магнію цеху №7 працюють на змінному струмі та постійному струмі. Основними споживачами електроенергії є електродвигуни вентиляції, електролізери бездіафрагментного типу, мостові крани 10 т, димососи, металогалогенні лампа (освітлення) на ділянці магнію, міксера ШЕС.

На ділянці встановлено 24 електричні електролізери бездіафрагментного типу потужністю сумарно 10,8 МВт. Технічні характеристики бездіафрагментного електролізера наведені в таблиці 2.2. Витрата

електроенергії на електролізерах становить приблизно 18000-22500 кВт·год сумарно за одну добу – це залежить скільки працюють електролізерів. В середньому працюють 18-20, а інші знаходяться на капітальному ремонті. Кожний електролізер виробляє 30-40 кг на добу магнію. Сумарна продуктивність 0,7 тон магнію на добу. Електролізери працюють на постійному струмі, робоча температура процесу близько 650-700 °С. Робоча напруга – 6-8 В; сила струму 30-40 кА.

Таблиця 2.2 – Характеристика бездіафрагменного електролізера

Назва	Кількість	Потужність, кВт	Продуктивність, кг/добу	Робочий струм, кА	Робоча напруга, В	Температура при роботі, t°С
Бездіафрагменних електролізер	24	450	70-80	30-40	6-8	650-700

Заключна стадія рафінування магнію відправлятися у відділення рафінування проводиться переробка ШЕС і плавлення хлористих солей.

Всього в цеху розміщено два міксери потужністю кожний 500 кВт. Технічні характеристика міксеру ШЕС на ведені в таблиці 2.3.

Переробка ШЕС полягає в очищенні її від оксидних включень корольків магнію шляхом нагрівання до 750-800 °С з подальшим розплавом.

Таблиця 2.3 – Характеристика міксера ШЕС

Назва	Кількість	Потужність, кВт	Продуктивність, кг/добу	Робочий струм, кА	Робоча напруга, В	Температура при роботі, t°С
ШЕС (шламоелектролітна суміш)	2	500	900	16	380	700-750

Після кипіння отримаємо майже чистий магній 99,7%. Далі на електрокарі в вакуум-ковшах транспортується для виготовлення титанової губки.

В цеху застосовують приточну вентиляцію, призначена для потрапляння чистого повітря в приміщення. Також застосовується витяжна вентиляція для виділення та шкідливих примісив, газів від електролізерів В таблиці 2.4 приведені технічні характеристики електродвигунів вентиляції.

Таблиця 2.4– Технічні характеристики двигунів вентиляції

№	Тип двигуна	Кількість	Кратність пускового струму	Перевантажувальна здатність	Кратність пускового моменту	Коефіцієнт потужності	Номінальна частота обертання	Коефіцієнт корисної дії	Потужність
		шт.	$\frac{I_p}{I_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	$\frac{M_p}{M_n}$	$\cos\phi$	об/хв	%	кВт
1	АО2-91-2УЗ	7	7,2	2	2,3	0,85	750	93	75
2	АО2-82-2УЗ	6	7,5	1,8	2,6	0,84	1000	91,5	55
3	АО2-62-4УЗ	9	6	2,1	2,2	0,82	1500	89	17
4	АО2-71-2УЗ	11	6,5	2	2,2	0,83	2000	82,5	22
5	АО2-61-4УЗ	7	7	1,4	2	0,80	1000	79,5	13
6	АО2-51-6УЗ	15	6,5	1,3	1,8	0,78	1200	85	5,5
7	АО2-52-8УЗ	22	7,5	2,2	2,8	0,79	1500	87	5,5
Всього		91							2454,5

Для обслуговування ділянки електролізу магнію розміщено двобалкові мостові крани вантажопідйомністю 10 т в кількості двох штук. Характеристика двигунів мостових кранів наведена в таблиці 2.5.

Мостові крани пересуваються рейками, які прикріплені до нерухомих опор.

Основне призначення мостових кранів для підйому важких предметів та завантаження вакуум-ковшів на електролізери, та інші види діяльності.

Таблиця 2.5 – Характеристика двигунів мостових кранів

№	Тип двигуна	Кількість	Кратність пускового струму	Перевантажувальна здатність	Кратність пускового моменту	Коефіцієнт потужності	Номінальна частота обертання	Коефіцієнт корисної дії	Потужність
		шт.	$\frac{I_{п}}{I_{н}}$	$\frac{M_{max}}{M_{н}}$	$\frac{M_{п}}{M_{н}}$	$\cos\varphi$	об/хв	%	кВт
1	5МТКН512-6	2	6,8	1,8	2,3	0,89	1000	84	55

Для відсмоктування газів від електролізерів застосовують вакуумні насоси. За призначенням насоси відкачують основні газів від електролізерів в хлоропровід, далі суміш іде на газоочисну ділянку. Характеристика насосів представлена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6– Технічні характеристики насосів

№	Тип насоса	Тип двигуна	Кількість, шт.	Номінальна частота обертання, об/хв	Продуктивність, м ³ /год	Залишковий тиск, мм.рт.ст.	Потужність, кВт
1	ВВН1-25	5АМ280S8	13	750	25	0,45	55
2	ЖВН12-Н	5А200V6	11	1000	10,7	0,30	30

На ділянці електролізу освітлювальна техніка представлена металогалогенними лампами типу 400 JLS-T E40 в кількості 56 штук, сумарною потужністю 22,4 кВт · год. Ступень захисту дає витримувати кислотні сполуки не погіршуючи їх роботу. В адмінбудівлі та складі готової продукції освітлення представлено люмінесцентними лампами типу L 58W/830 G13 OSRAM в кількості 176 штук, сумарною потужністю

102,08 кВт·год. Детальна характеристика ламп на ділянці електролізу представлена в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Характеристика освітлення на ділянці електролізу

№	Тип	Кольорова температура, К	Світловий потік, Lm	Потужність, кВт	Позначення кольору
1	L 58W / 830 G13	3000	5200	0,058	Тепло білий
2	400 JLS-T E 40	6000	35400	0,4	Тепло білий

Кабельні лінії, що здійснюють живлення обладнання цеху прокладені в спеціальних кабельних каналах по території цеху, або в трубах і виконані кабелями ПВ1 (3x2.5), ПВ1 (3x35) АВВГ (3x25). Технічна характеристика електрообладнання дільниці електролізу магнію наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічна характеристика електрообладнання дільниці електролізу магнію цеху №7

№	Найменування обладнання	Термін роботи T, год/рік	K_e	Кількість, шт.	Тип	Потужність, кВт
	1	2	3	4	5	6
1	Бездіафрагменний електролізер	5431	0,6	24	–	450
2	Міксер	4613	0,6	2	–	500
3	Вентиляція	4773	0,74	9	АО2-62-4У3	17
				11	АО2-71-2У3	22
4	Вентиляція	4569	0,77	7	АО2-61-4У3	13
				15	АО2-51-6У3	5,5
				22	АО2-52-8У3	
5	Приточна вентиляція	5431	0,75	7	АО2-91-2У3	75
6	Приточна вентиляція	5431	0,75	6	АО2-82-2У3	55
7	Мостовий кран 10 т (двигун)	1489	0,41	2	5МТКН512-6	55

Продовження таблиці 2.8

	1	2	3	4	5	6
8	Вакуумний насос	5431	0,77	13	5AM280S8	55
9	Вакуумний насос	5431	0,77	11	5A200V6	30
10	Металогалогенна лампа на участку магнія (освітлення)	2678	0,72	56	400 JLS-T E40	0,4
11	Люмінесцентна лампа в адмінбудівлі (освітлення)	3695	0,63	124	L 58W/830 G13 OSRAM	0,058
12	Люмінесцентна лампа на складі готової продукції (освітлення)	4568	0,81	108		

За даними ділянки основними споживачами електричної енергії є електролізері, витяжки, приточна вентиляція, міксера ШЕС, вакуумні насоси, освітлення приміщень.

Одним із основних способів визначення споживання енергії, в якому вимірники не використовують, є оцінка споживання. Спосіб застосовують в ситуаціях, коли вимірювання енергії і її потоків лічильниками неможливе, а споживання енергії оцінюють за параметрами і режимом роботи наявного обладнання. На практиці це один з основних методів визначення енергоспоживання електрообладнанням на об'єкті.

Річне споживання електричної енергії визначаємо за формулою:

$$W_i = n \cdot P \cdot k_g \cdot T_{роб}, \quad (2.1)$$

де n – кількість обладнання, шт;

P – номінальна потужність обладнання, кВт;

k_g – коефіцієнт використання за даними обладнанням цеху;

$T_{роб}$ – час використання обладнанням протягом року.

За даними підприємством на ділянки працюють в повну потужність 18 електролізерів, інші проходять капітальний ремонт.

Річне споживання електричної енергії електролізерів:

$$W_1 = 18 \cdot 450 \cdot 0,6 \cdot 5431 = 26\,394\,660 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Річне споживання електричної енергії міксерів ШЕС:

$$W_2 = 2 \cdot 500 \cdot 0,6 \cdot 4613 = 2\,767\,800 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для іншого обладнання річне споживання електричної енергії розраховується аналогічно. Результати розрахунків представлені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Річне споживання електричної енергії обладнанням

№	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Тип	Річне споживання електричної енергії кВт · год
	1	2	3	4
1	Бездіафрагменний електролізер	18	–	26 394 660
2	Міксер	2	–	2 767 800
3	Вентиляція	9	АО2-62-4У3	540 399
		11	АО2-71-2У3	854 748
4	Вентиляція	7	АО2-61-4У3	320 149
		15	АО2-51-6У3	290 245
		22	АО2-52-8У3	425 693
5	Приточна вентиляція	7	АО2-91-2У3	2 276 912
6	Приточна вентиляція	6	АО2-82-2У3	1 067 770
7	Мостовий кран 10 т (двигун)	2	5МТКН512-6	67 153

Продовження таблиці 2.9

	1	2	3	4
8	Вакуумний насос	13	5AM280S8	2 368 730
9	Вакуумний насос	11	5A200V6	1 111 182
10	Металогалогенна лампа на ділянці магнія (освітлення)	56	400 JLS-T E40	43 190
11	Люмінесцентна лампа в адмінбудівлі (освітлення)	124	L 58W/830 G13 OSRAM	16 741
12	Люмінесцентна лампа на складі готової продукції (освітлення)	108		23 162
13	Інші витрати			3 926 905
Всього				42 465 445

За результатами розрахунків, які були проведені в дипломній роботі, можна сказати, що на даній ділянці основним споживачем електричної енергії є бездіафрагменні електролізери. Але технологія не дозволяє зменшувати споживання електричної енергії і потребує постійне живлення обладнання. Тому до уваги беруться двигуни вентиляції та вакуумні насоси, які займають друге місце в споживанні електричної енергії на ділянці. Саме тому в дипломній роботі буде приділятися увага к двигунам щодо оптимізації системи та економії споживання електричної енергії.

3 ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Передумови оптимального керування нормальними режимами

При нестабільності економічних умов практична потреба в об'єктивному співставленні обсягів виробництва та витрат електроенергії на підприємствах велика, оскільки обумовлена необхідністю, по-перше, аналізувати електроспоживання при значних змінах обсягів виробництва для формування заявки в енергосистему і, по-друге, оцінювати раціональність використання електроенергії.

Задачею керування електричними режимами, що виникають в системі електропостачання і які потребують їх реалізації в реальному масштабі часу.

Характерними ознаками цих задач є:

- потреба в оперативній інформації;
- обмежений проміжок часу на відпрацювання та реалізацію вектора керування [17].

Очевидно, що за час, потрібний для розрахунку та на реалізацію керівного рішення, параметри режиму об'єкта керування повинні мати незначні зміни. До речі, ця обставина може стати вирішальним фактором при виборі технічних засобів для керування об'єктом.

Оперативна інформація може знадобитися, якщо деякі параметри вектора стану мають відхилення від норм. Для цього організують або неперервний їх контроль, або дискретний – через деякий проміжок часу. Оперативна інформація має малий обсяг (порівняно з неоперативною), а також може бути отримана та перероблена за малий проміжок часу.

Задачі керування нормальними режимами в системі електропостачання промислового підприємства, які доцільно реалізувати в системі можна розділити на чотири групи:

– постійний контроль положення комутаційних апаратів в силових колах живлення дає змогу відтворювати на моніторі оперативну інформацію про стан апаратів, про ділянки схеми, що знаходяться під напругою і по яких передається електрична енергія. Таку задачу доцільно мати в складі АСУЕ, коли на підприємстві складна схема електропостачання. Маючи інформацію про стан схеми, можна зменшити ймовірність неправильних дій при виконанні оперативних перемикань. Задача потребує датчиків положення комутаційних апаратів, що зістиковані з ЕОМ, і функціонує в режимі розімкнутої системи керування (в режимі інформатора): автоматизований збір оперативної інформації, її оброблення і видача на монітор або на друк.

– Вимірювання поточних значень параметрів режиму в системі живлення (активні та реактивні потужності, напруги, струми, коефіцієнти потужності), що дозволяє одержати добові графіки навантаження, графіки навантажень за тривалістю, оцінити нерівномірність графіків, слідкувати за перевантаженням деяких ділянок електромережі, отримати та обробити статистичний матеріал різного змісту про режими живлення. Оброблення одержаної інформації виконується автоматизовано. Інформація, яку можна отримати, корисна для будь-якої системи електропостачання, а розглянута задача може мати широке використання [18].

– Виконання оперативних перемикань в мережах, або контроль за їх виконанням. У першому випадку автоматично, за командами ЕОМ, виконується вказане оперативне перемикання на основі інформації про стан схеми електроживлення. Система функціонує в замкнутому режимі: автоматизований збір інформації, її оброблення та автоматизований вплив на об'єкт керування. В іншому випадку система працює в режимі радника, а перемикання виконує черговий диспетчер. Іноді задача функціонує як тренажер для відпрацювання навиків оперативного персоналу.

– Постійний контроль графіка навантаження підприємства та його вирівнювання не дасть змоги споживати електроенергію більше заявленого максимуму потужності. Найбільшого ефекту можна досягнути, якщо є змога

одночасно з контролем вирішувати задачу прогнозу динаміки потужності на основі інформації, що накопичена за час попередніх спостережень. У цьому випадку видається інформація про потужність, що очікується, наприклад, через 10 або 20 хвилин і енергодиспетчер, при потребі, вирішує, які потужності на підприємстві слід вимкнути і вчасно вимикає їх. Задача корисна, якщо підприємство працює в умовах жорстких обмежень з боку енергопостачальної компанії [19].

Найбільш типовими задачами оптимального керування нормальними режимами є регулювання графіків активного та реактивного навантажень підприємства, розподіл потужності між агрегатами, вибір числа та складу енергообладнання, керування якістю електроенергії.

Загальна задача оптимального керування нормальними режимами в системі електропостачання може бути сформульована таким чином: використовуючи всі наявні можливості, слід забезпечити такий сталий режим роботи всіх енергооб'єктів, при якому досягається задоволення потреб електроенергією належної якості та надійності з мінімальними затратами на її отримання, перетворення та передачу.

Звичайно, задача оптимального керування нормальними режимами в такій постановці надзвичайно складна і вирішена бути не може. Тому для вирішення задачі звертаються до принципу декомпозиції, коли замість складної задачі вирішують послідовність локальних задач

Оптимальне керування може мати різний ступінь автоматизації. Це може бути розімкнута система керування: коли збір інформації, реалізація отриманого вектора керування виконується людиною або коли людина виконує тільки збір та введення інформації чи реалізацію вектора керування. Для замкнених систем характерно, що всі зазначені функції реалізуються автоматизовано

Розрахунки сталих електричних режимів виконується для електричних мереж довільного розміру і складності з метою визначення схеми приєднання підстанції або станції до електричної мережі, вибору оптимального розподілу

активних потужностей між генераторами електричних станцій і між електричними станціями всередині електричної мережі, вибору потужностей і місць розміщення компенсуючих пристроїв, вибору коефіцієнтів трансформації силових трансформаторів з урахуванням зменшення сумарних втрат активної потужності в електричних мережах, вибору оптимального складу працюючого устаткування і максимально ефективного його використання, вибору головних схем електричних підстанцій і станцій, вибору номінальних параметрів обладнання, проведення аналізу допустимого струмового завантаження ліній електропередачі і трансформаторів з урахуванням залежно допустимого струму від температури навколишнього середовища, визначення перспектив розвитку району електричної мережі або електричної мережі в цілому на заданій території.

Структурний аналіз втрат електричної енергії та потужності: за характером, типами обладнання, районам і рівнями напруги. Даний аналіз виконується з метою розробки заходів зниження втрат електричної енергії та потужності. Перераховані заходи розрахунків режимів електричної мережі, розрахунків струмів короткого замикання, статичної та динамічної стійкості, комутаційних перенапруг, розробки заходів щодо оптимізації електричних режимів дозволять:

- забезпечити підключення необхідної кількості споживачів при мінімумі витрат;
- визначити параметри оптимізації конфігурації і складу працюючого обладнання;
- підвищити надійність роботи електричної мережі, зменшити втрати електричної енергії та потужності;
- оптимізувати управління існуючих і визначити місця установки нових пристроїв компенсації реактивної потужності;
- розробити рекомендації по оптимальному управлінню режимами роботи електричної мережі [20].

3.1.1 Методика оптимізації сталих режимів електромережі

Розрахунок втрат електроенергії за певний період за результатами розрахунків втрат потужності в обмеженому числі режимів може бути перевірений лише на основі тих чи інших припущень, про зміну втрат потужності в не розрахункові періоди. Відомим наслідком визначення малої величини як різниця двох близьких великих величин.

Тому основний розрахунок втрат електроенергії при оптимізації режимів за періоди будь-якої тривалості є результати їх розрахунку за все характерні періоди, що входять в цей період. Для розрахунку втрат за добу δW_c в свою чергу необхідні розрахунки не менше двох режимів. Як правило, цими режимами є режими найбільших і найменших активних навантажень.

Для розгляду можливих способів розрахунку величини δW_c , якщо зміна втрат потужності при оптимізації режимів склало δP_1 – для режиму найбільших навантажень і δP_2 – найменших. У загальному випадку оптимізація може призвести як зниження, так і збільшення втрат потужності. Останнє відбувається, якщо в початковому режимі напруги в ряді вузлів були вище допустимих. Оптимізація введення режиму на дозволена область, а зниження напруги призводить до збільшення, втрат. Такий результат найбільш характерний для режимів малих навантажень. У режимах великих навантажень, як правило, відбувається зниження втрат потужності. Інтегральна величина – втрати електроенергії – в переважній більшості випадків також знижується.

Спосіб розрахунку представлений вигляді втрат потужності в мережі у вигляді залежності [21]:

$$\Delta P = a_x + a_n \cdot P^2; \quad (3.1)$$

де P – сумарне навантаження системи;

$a_x + a_n$ – коефіцієнти, які визначаються розрахунків.

Вид залежності визначається фізичними наданнями, згідно з якими сумарні втрати потужності складаються з втрат холостого ходу, практично не залежать від навантаження, і навантажувальних втрат, що має залежність від навантаження, близьку квадратичної (рисунку 3.1).

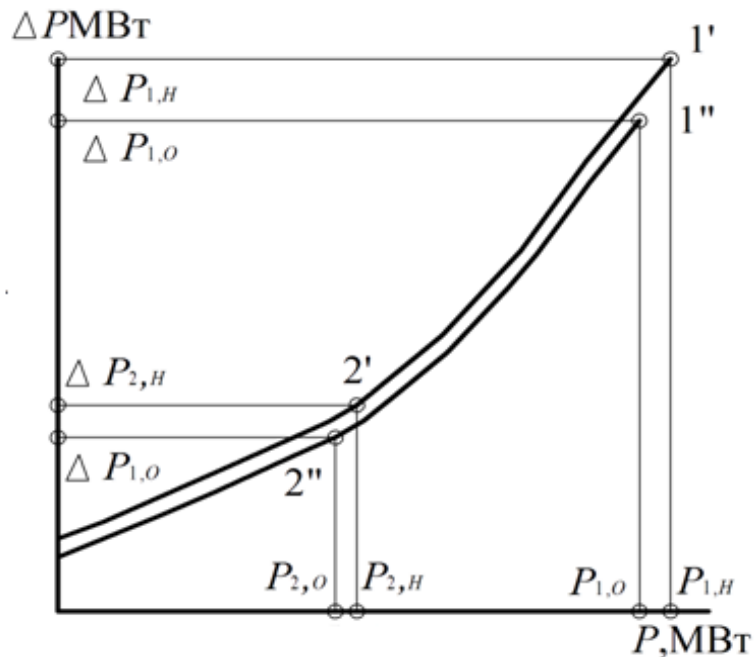


Рисунок 3.1 Залежність $\Delta P = f(P)$

Коефіцієнти a_x та a_n визначають за значеннями сумарного навантаження мережі в зазначених режимах (P_1 і P_2 відповідно) і втрати (ΔP_1 і ΔP_2).

Значення коефіцієнтів, при яких функція (3.1) проходить через точки 1' і 2' (до оптимізації) визначають за загальними формулами [21]:

$$a_x = \frac{P_1^2 \cdot \Delta P_2 - P_2^2 \cdot \Delta P_1}{P_1^2 - P_2^2}; \quad (3.2)$$

$$a_n = \frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{P_1^2 - P_2^2}. \quad (3.3)$$

Тоді втрати електроенергії за розрахункову добу визначаються за формулою [21]:

$$\Delta W_c = \int_0^T |a_x + a_n P^2(t)| dt = a_x T + a_n P_1^2 \tau; \quad (3.4)$$

де T – добовий інтервал (24 годин);

τ – число годин найбільших втрат, визначене за добовим графіком сумарного навантаження енергосистеми.

Якщо коефіцієнти і визначити для вихідного і оптимального режимів (надалі позначені індексами «и» і «о» відповідно), то втрати електроенергії за одну добу визначаються за формулою [21]:

$$\delta W_c = \Delta W_{c,и} - \Delta W_{c,о} = (a_x^и - a_x^о) T + (a_n^и P_{1и}^2 - a_n^о P_{1,о}^2) \tau. \quad (3.5)$$

При довгостроковому плануванні здійснюється розрахунок балансів електричної енергії та потужності на періоди: рік, квартал, місяць, при цьому графіки ремонтів ліній електропередачі та обладнання підстанцій повинні бути розглянуті в частині допустимості режиму роботи електричної мережі.

Отже було прийнято рішення провести технічний аналіз ділянки електролізу магнію цеху №7.

3.1.2 Розрахунок оптимізації сталих режимів електромережі, електролізу магнію цеху №7

Для оптимізації енергосистеми цеху електролізу магнію цеху №7 розрахуємо добове втрати електроенергії, за рахунок оптимізації її режиму.

Якщо в режимі найбільший навантажень енергосистеми сумарне навантаження мережі і втрати в ній склали: до оптимізації режим $P_{1И} = 150$ МВт; $\Delta P_{1И} = 20$ МВт, після оптимізації $P_{1О} = 145$ МВт; $\Delta P_{1О} = 18$ МВт.

За даними підприємства Добовий графік навантаження цеху електролізу магнію наведено на рисунку 3.2.

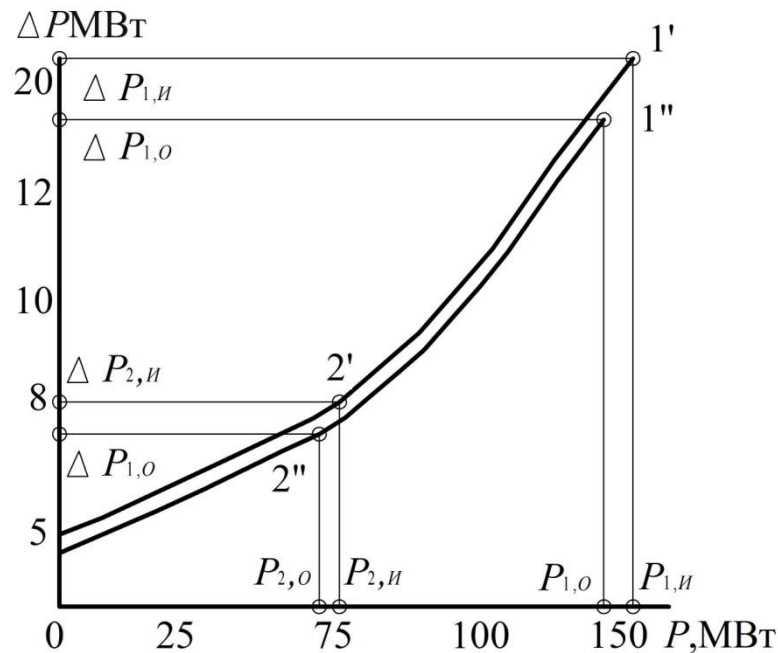


Рисунок 3.2 – Добовий графік навантаження ділянки електролізу

У режимі найменших навантажень аналогічні величини були рівні відповідно до оптимізації режиму $P_{2И} = 75$ МВт; $\Delta P_{2И} = 8$ МВт, та після оптимізації $P_{2О} = 73$ МВт, $\Delta P_{2О} = 7,5$ МВт.

Спосіб розрахунку. Визначаємо за формулами (3.2) та (3.3) коефіцієнти a_x та a_n окремо для вихідного і оптимального режимів:

$$a_x^И = \frac{150^2 \cdot 8 - 75^2 \cdot 20}{150^2 - 75^2} = 4; \quad a_n^И = \frac{20 - 8}{150^2 - 75^2} = 7,1 \cdot 10^{-4};$$

$$a_x^О = \frac{145^2 \cdot 7,5 - 73^2 \cdot 18}{145^2 - 73^2} = 3,93; \quad a_n^О = \frac{18 - 7,5}{145^2 - 73^2} = 6,6 \cdot 10^{-4}.$$

Залежність відповідних обчислених коефіцієнтів, наведені на рисунку 3.2.

За даними підприємства на рисунку 3.3 показана спрощений графік навантаження ділянки електролізу магнію цеху №7

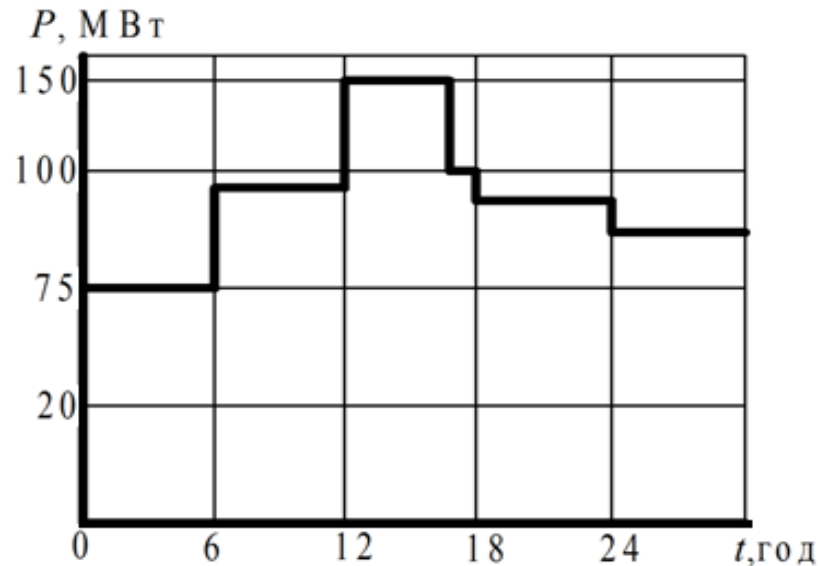


Рисунок 3.3 – Спрощений графік навантаження ділянки електролізу

Втрати електроенергії за добу визначаємо за формулою 3.5 при $\tau = 15,1$ годин, відповідно графіку 3.3

$$\delta W_c = (4 - 3,93) \cdot 24 + (7 \cdot 10^{-4} \cdot 150^2 - 6,6 \cdot 10^{-4} \cdot 145^2) \cdot 15,1 = 33,36 \text{ тис. кВт}\cdot\text{год}$$

Отже для загального уявлення про енергосистему ділянки електролізу магнію цеху №7 можна розрахувати квартальні втрати для точного отримання результату.

Було прийнято рішення розрахувати втрати електроенергії, за рахунок оптимізації її режиму. А саме розрахувати за перший, другий, третій та четвертий квартал, ділянки електролізу магнію цеху №7.

Розрахунок в режимі найбільших навантажень енергосистеми сумарне навантаження мережі і втрати в ній склали за перший квартал: до оптимізації

режим $P_{1H} = 9150$ МВт; $\Delta P_{1H} = 1220$ МВт, після оптимізації $P_{1O} = 8845$ МВт;
 $\Delta P_{1O} = 1098$ МВт.

За перший кварталний графік навантаження цеху електролізу магнію наведено на рисунку 3.4.

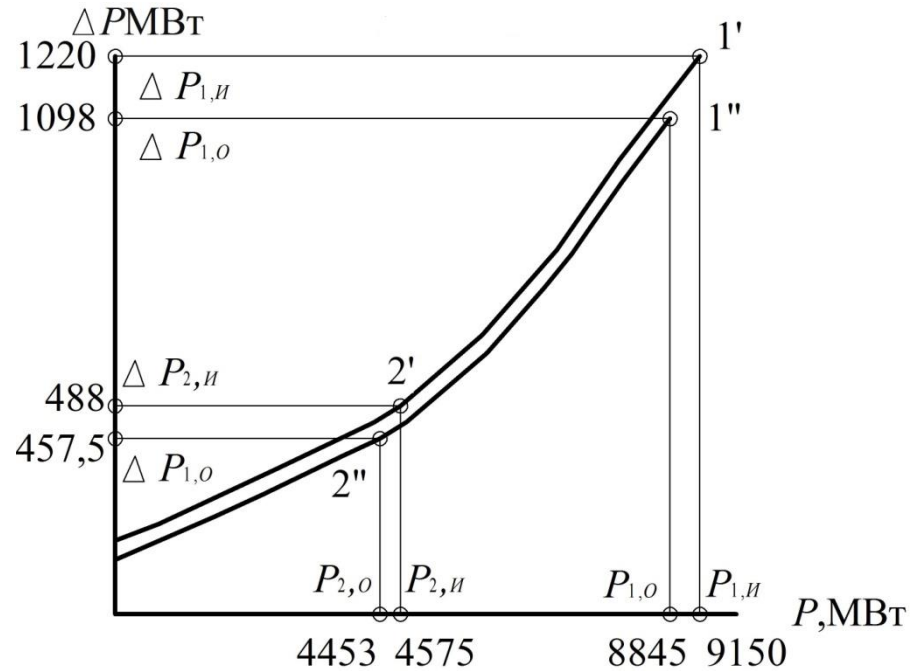


Рисунок 3.4 – Квартальний графік навантаження ділянки електролізу

У режимі найменших навантажень аналогічні величини були рівні відповідно до оптимізації режиму $P_{2H} = 4575$ МВт; $\Delta P_{2H} = 488$ МВт, та після оптимізації $P_{2O} = 4453$ МВт, $\Delta P_{2O} = 457,5$ МВт.

Визначаємо за формулами (3.2) та (3.3) коефіцієнти a_x та a_H окремо для вихідного і оптимального режимів:

$$a_x^H = \frac{9150^2 \cdot 488 - 4575^2 \cdot 1220}{9150^2 - 4575^2} = 244; \quad a_H^H = \frac{1220 - 488}{9150^2 - 4575^2} = 1,16 \cdot 10^{-5};$$

$$x_x^O = \frac{8845^2 \cdot 457,5 - 4453^2 \cdot 1098}{8845^2 - 4453^2} = 240; \quad a_H^O = \frac{1098 - 457,5}{8845^2 - 4453^2} = 1,09 \cdot 10^{-5}.$$

Залежність відповідних обчислених коефіцієнтів, наведені на рисунку 3.4.

За даними підприємства на рисунку 3.5 показана спрощений графік навантаження ділянки електролізу магнію цеху №7

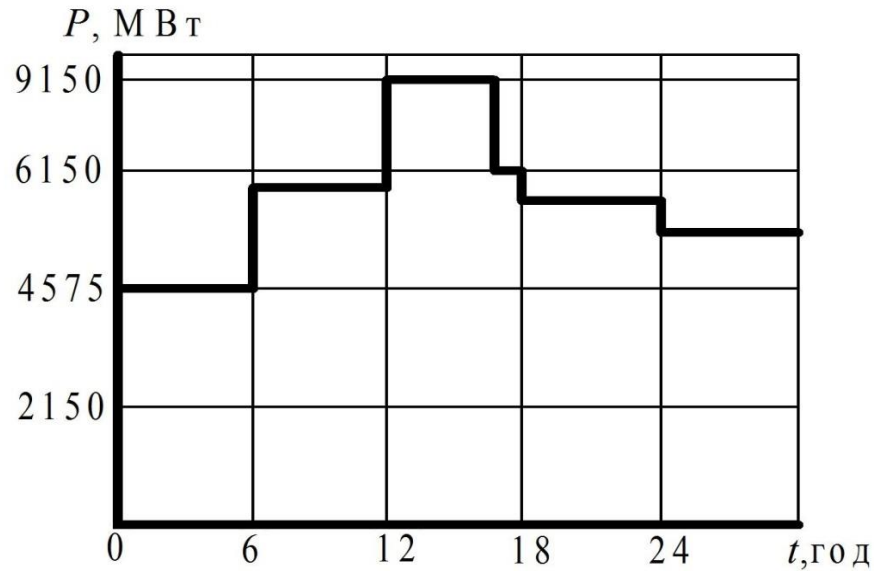


Рисунок 3.5 – Спрощений квартальний графік навантаження ділянки

Втрати електроенергії за квартал визначаємо за формулою 3.5 при $\tau = 15,1$ годин, відповідно графіку 3.5.

$$\delta W_c = (244 - 240) \cdot 24 + (1,16 \cdot 10^{-5} \cdot 9150^2 - 1,09 \cdot 10^{-5} \cdot 8845^2) \cdot 15,1 = 1884,29 \text{ тис.кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахунки сталих електричних режимів виконується для електричних мереж довільного розміру і складності з метою визначення схеми приєднання підстанції або станції до електричної мережі, вибору оптимального розподілу активних потужностей між генераторами електричних станцій і між електричними станціями всередині електричної мережі, вибору потужностей і місць розміщення компенсуючих пристроїв, вибору коефіцієнтів трансформації силових трансформаторів з урахуванням зменшення сумарних втрат активної потужності в електричних мережах, вибору оптимального складу працюючого устаткування і максимально ефективного його

використання, вибору головних схем електричних підстанцій і станцій, вибору номінальних параметрів обладнання, проведення аналізу допустимого струмового завантаження ліній електропередачі і трансформаторів з урахуванням залежно допустимого струму від температури навколишнього середовища [22].

За аналогію проводимо розрахунки для інших кварталів: другого, третього та четвертого та заносимо в таблицю 3.1 для аналізу, до та після оптимізації.

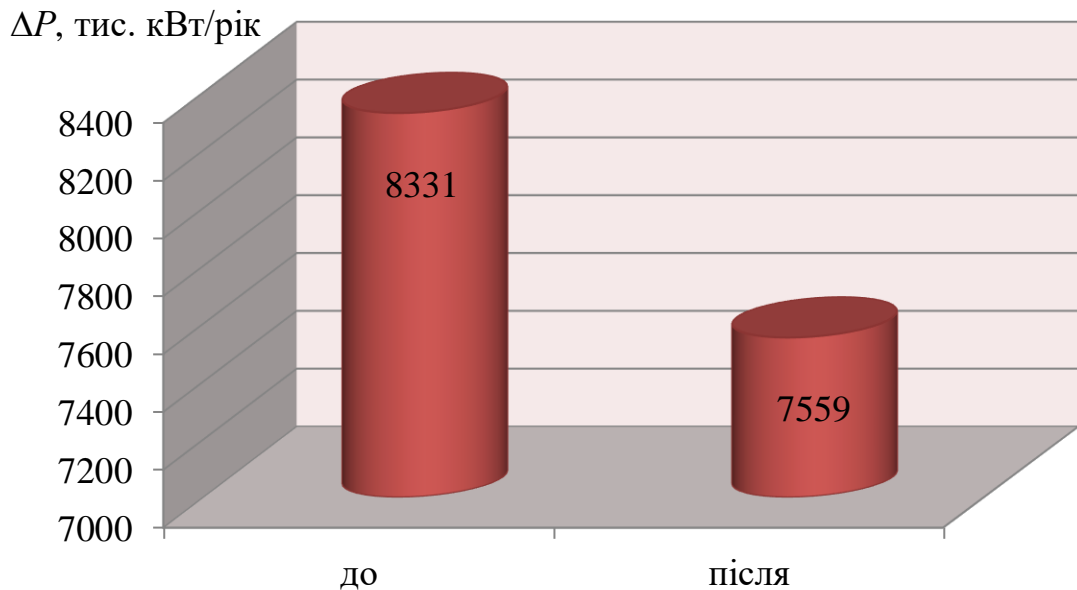
Таблиця 3.1 – Структурний аналіз втрат електричної енергії, до та після оптимізації режиму

Квартал	Місяць	Загальне споживання електричної енергії, тис. кВт · год.	Втрати електричної енергії на ділянці до оптимізації, тис. кВт · год.	Втрати електричної енергії на ділянці після оптимізації, тис. кВт · год.
I	Січень	3 305	646	597
	Лютий	3 406	655	605
	Березень	3 969	725	684
За I квартал		10 680	2 026	1 886
II	Квітень	3 776	704	665
	Травень	3 246	652	593
	Червень	3 111	647	587
За II квартал		10 133	2 003	1 845
III	Липень	3 352	702	630
	Серпень	3 550	711	638
	Вересень	3 657	755	655
За III квартал		10 559	2168	1 923
IV	Жовтень	3 457	698	622
	Листопад	3 653	703	636
	Грудень	3 989	733	647
За IV квартал		11 096	2134	1 905
Разом		42 468	8 331	7 559

При довгостроковому плануванні здійснюється розрахунок балансів електричної енергії та потужності на періоди: рік, квартал, місяць, при цьому графіки ремонтів ліній електропередачі та обладнання підстанцій повинні

бути розглянуті в частині допустимості режиму роботи електричної мережі [23].

Розрахунками електричних режимів визначається робота електричної мережі, що забезпечує допустимі навантаження. На рисунку 3.6 зображено втрати до та після оптимізації сталих електричних режимів ділянки електролізу магнію цеху №7



Рисунку 3.6 – Втрати до та після оптимізації

Даний аналіз виконується з метою розробки заходів зниження втрат електричної енергії та потужності. Отже за розрахунок оптимізації сталих режимів електромережі, вдалося зменшити втрати на 772 тис. кВт/рік.

3.2 Оптимізація режимів електромережі по реактивній потужності

В умовах постійно зростаючих цін на основні види енергоресурсів та значної зовнішньоекономічної залежності від постачальників енергоносіїв, питання покращення показників енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів на підприємствах, набувають особливої

актуальності у зв'язку із нагальною необхідністю економії бюджетних коштів та раціональне використання енергоресурсів.

На підставі розрахунків, які були виконані в другій частині дипломної роботи, значним споживачем електричної енергії на дільниці електролізу магнію цеху №7 є : електролізери, витяжки , приточна вентиляція, міксерів ШЕС, вакуумні насоси.

До недоліків системи електропостачання ділянки можна віднести наступні:

- застаріле електрообладнання ділянки електролізу ;
- немає компенсації реактивної потужності;
- застаріле обладнання підстанції.

До уваги в дипломному проекті буде приділятися увага компенсації реактивної потужності. За даними дільниці електролізу $\cos \varphi$ складає 0,83. Реактивна потужність додатково навантажує лінії електропередачі, що призводить до збільшення перерізів проводів і кабелів і відповідно до збільшення капітальних витрат на зовнішні і внутрішньо майданчикові мережі. Реактивна потужність разом з активною потужністю враховується постачальником електроенергії, а отже, підлягає оплаті по тарифах, що діють, тому складає значну частину рахунку за електроенергію.

3.2.1 Загальні відомості про компенсацію реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності – цілеспрямована дія на баланс реактивної потужності в конкретному вузлі електроенергетичної системи з метою зменшення втрат електричної енергії та регулювання напруги

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації

реактивній потужності (конденсаторних установок). Правильна компенсація дозволяє:

- знизити загальні витрати на електроенергію;
- зменшити навантаження елементів розподільчої мережі (ввідних ліній, трансформаторів і розподільних пристроїв), тим самим продовжуючи їх термін служби;
- знизити теплові втрати струму і витрати на електроенергію;
- знизити вплив вищих гармонік;
- придушити мережеві перешкоди, знизити несиметрію фаз;
- домогтися більшої надійності і економічності розподільних мереж.

Крім того, в існуючих мережах:

- виключити генерацію реактивної енергії в мережу в години мінімального навантаження;
- знизити витрати на ремонт і оновлення електрообладнання;
- збільшити пропускну здатність системи електропостачання споживача, що дозволить підключити додаткові навантаження без збільшення вартості мереж;
- забезпечити отримання інформації про параметри і стан мережі, а в знову створюваних мережах - зменшити потужність підстанцій і перетину кабельних ліній, що знизить їх вартість [24].

Споживач електричної енергії зобов'язаний підтримувати рівень реактивної потужності в розподільчій мережі відповідно до значення економічно оптимальної реактивної потужності, яка може бути передана підприємству в режимах найбільшого і найменшого активного навантаження енергосистеми.

Розглядаючи можливості максимального наближення компенсуючих установок (КУ) до електроприймачів, які споживають велику реактивну потужність, необхідно враховувати наступні чинники:

– за інших рівних умов великий ступінь компенсації реактивної потужності слід забезпечувати у електроспоживачів, розташованих найбільш далеко від ТП;

– найбільш доцільно використання КУ у електроспоживачів з великим числом годин роботи в році;

– при виборі місць установки КУ необхідно прагнути до підключення їх під загальний комутаційний апарат з електроприймачем, щоб уникнути витрат на додатковий апарат;

– відповідно до вимог електропостачальної організації необхідно забезпечувати не тільки задане споживання в максимум активного навантаження енергосистеми, але і витримувати необхідне споживання в її мінімум. З цієї умови випливають вимоги до регулювання КУ.

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 перетвориться в корисну – механічну, теплову та ін. 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 [24].

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.

Реактивний струм додатково навантажує лінії електропередачі, що призводить до збільшення перерізів проводів і кабелів і відповідно до збільшення капітальних витрат на зовнішні і внутрішньо майданчикові мережі. 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 реактивної потужності (конденсаторних батарей, синхронних двигунів і синхронних компенсаторів). За рахунок приєднання до мережі компенсуючого пристрою КП зменшуються втрати потужності і напруги. На

практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,93 до 0,99.

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

Щоб знизити ці втрати, необхідно біля споживачів встановлювати додаткові джерела РП, основними серед яких є конденсатори.

Одинична компенсація – краща там, де: потрібна компенсація потужних (понад 20 кВт) споживачів; потужність, яка споживається постійна протягом тривалого часу.

Групова компенсація – застосовується для випадку компенсації декількох індуктивних навантажень, які розташовані поруч і вмикаються одночасно, під'єднаний до одного розподільного пристрою і які компенсуються однією конденсаторною батареєю [25].

Централізована компенсація. 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 $\cos\phi$ від заданого значення контролер під'єднаний або відмикає ступені конденсаторів. Перевага централізованої компенсації полягає в наступному: ввімкнена потужність конденсаторів відповідає спожитій в конкретний момент часу реактивній потужності без перекомпенсації або недокомпенсації.

Але обладнання на компенсацію потребує витрат на придбання та експлуатацію. Тому остаточне рішення про встановлення такого обладнання приймається після техніко-економічного обґрунтування [25].

3.2.2 Розрахунок реактивної потужності для електрообладнання, вибір компенсуючого пристрою

На ділянці основним споживачем електричної енергії є електролізери, але технологія не дозволяє зменшувати споживання електричної енергії і потребує постійне живлення обладнання. Також електролізери працюють на постійному струмі, тому це обладнання не приділяється до уваги. Живлення електролізерів здійснюється від іншої ділянки трансформаторної підстанції.

Загальне навантаження групи споживачів визначаємо за формулою:

$$\sum P_H = P_H \cdot n, \quad (3.6)$$

де P_H – номінальна потужність, кВт;

n – кількість споживачів у групи, шт.

Визначаємо сумарну потужність групи міксерів:

$$P_H = 500 \cdot 2 = 1000 \text{ кВт.}$$

Визначаємо сумарну потужність групи вентиляція:

$$P_H = 17 \cdot 9 = 153 \text{ кВт,}$$

$$P_H = 22 \cdot 11 = 242 \text{ кВт.}$$

Аналогічно визначаємо сумарну потужність груп іншого обладнання, результати розрахунків заносимо в таблицю 3.2.

За даними підприємства заносимо коефіцієнт використання K_B , та коефіцієнт реактивної потужності $\cos \varphi$ в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2– Електричне навантаження обладнання

№	Найменування обладнання	Кількість шт.	Номінальна потужність, кВт	Сумарна номінальна потужність групи, кВт	Тригонометрична функція	Коефіцієнт використання	Середньозмінна активна потужність, кВт	Середньозмінна Реактивна потужність, кВАр
		n	P_H	$\sum P_H$	$\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi}$	K_B	P_{3M}	Q_{3M}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Панель №1								
1	Вентиляція	9	17	153	$\frac{0,82}{0,69}$	0,74	113,22	78,12
		11	22	242	$\frac{0,83}{0,67}$		179,08	119,8
2	Приточна вентиляція	6	55	330	$\frac{0,84}{0,65}$	0,79	260,7	169,45
Разом		26	-	725	-	0,76	553	367,37

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Панель №2								
3	Вентиляція	7	13	91	$\frac{0,80}{0,75}$	0,77	70,07	52,55
		15	5,5	82,5	$\frac{0,81}{0,72}$		63,5	45,72
		22	5,5	121	$\frac{0,79}{0,78}$		93,2	72,7
4	Мостовий кран 10 т (двигун)	2	55	110	$\frac{0,89}{0,51}$	0,41	45,1	22,8
Разом		46	-	404,5	-	0,59	271,87	193,77
Панель №3								
5	Приточна вентиляція	7	75	525	$\frac{0,85}{0,61}$	0,75	393,7	240,15
6	Вакуумний насос	11	30	330	$\frac{0,81}{0,72}$	0,77	254,1	182,9
Разом		18	-	855	-	0,76	647,8	423,05
Панель №4								
7	Міксер ШЕС	2	500	1000	$\frac{0,88}{0,54}$	0,7	700	378
8	Вакуумний насос	13	55	715	$\frac{0,85}{0,61}$	0,77	550,5	335,8
Разом		15	-	1715	-	0,73	1250,5	713,8
Всього		105	-	3699,5	-	0,71	2723,17	1697,99

Розрахунок змінної активної потужності P_{3M} , кВт виконуємо за формулою [26]:

$$P_{3M} = P_H \cdot K_B, \quad (3.7)$$

де K_B – коефіцієнт використання електроприймача.

$$P_{3M} = 1000 \cdot 0,7 = 700 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків за формулою (3.7) приведені в таблиці 3.2.

Розрахунок змінної реактивної потужності Q_{3M} , кВАр, виконуємо за формулою [26] :

$$Q_{3M} = P_{3H} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.8)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності.

$$Q_{3M} = 700 \cdot 0,54 = 378 \text{ кВАр.}$$

Результати розрахунків за формулою (3.8) приведені в таблиці 3.2.

Визначаємо сумарну номінальну активну потужність $\sum P_H$, групи електричного обладнання за формулою:

$$\sum P_H = n \cdot P_H, \quad (3.9)$$

$$\sum P_H = 2 \cdot 500 = 1000 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків за формулою (3.9) приведені в таблиці 3.2

Розрахунок середнього коефіцієнта використання K_B , за формулою [26]:

$$K_B = \frac{\sum P_{3M}}{\sum P_H}, \quad (3.10)$$

де $\sum P_{3M}$ – сумарна активна потужність споживачів, кВт;

$\sum P_H$ – сумарна номінальна потужність групи, кВт;

K_B – коефіцієнт використання обладнання за рік.

$$K_B = \frac{2723,17}{3699,5} = 0,73.$$

Вибираємо найбільш потужний приймач і визначаємо ефективну кількість електроприймачів n_p шт, за формулою [26]:

$$n_p = \frac{2 \cdot \sum P_{3M}}{P_{\max}}, \quad (3.11)$$

де $\sum P_{3M}$ – сумарна номінальна потужність групи, кВт;

P_{\max} – потужність найбільшого споживача, кВт.

$$n_p = \frac{2 \cdot 2723,17}{1000} = 5 \text{ шт.}$$

Розрахунок коефіцієнту максимуму K_{\max} кВт, визначається за формулою [26]:

$$K_{\max} = 1 + \frac{1}{\sqrt{n_p}} \cdot \left(\frac{0,5}{K_B} - 0,4 \right), \quad (3.12)$$

$$K_{\max} = 1 + \frac{1}{\sqrt{5}} \cdot \left(\frac{0,5}{0,73} - 0,4 \right) = 1,12 \text{ кВт.}$$

Розраховуємо максимальне активне навантаження P_{\max} кВт, ділянки електролізу [26]:

$$P_{\max} = K_{\max} \cdot \sum P_{3M}, \quad (3.13)$$

де K_{\max} – коефіцієнт максимуму, який є функцією ефективної кількості обладнання.

$\sum P_{3M}$ – сумарна активна потужність, кВт.

$$P_{max} = 1,12 \cdot 2723,17 = 3049,95 \text{ кВт.}$$

Розраховуємо максимальну реактивну потужність Q_{max} кВАр, ділянки електролізу [26]:

$$Q_{max} = L_M \cdot \sum Q_{3M}, \quad (3.14)$$

де L_M – коефіцієнт максимуму за реактивною потужністю; $L_M = 1$ [26].

$$Q_{max} = 1697,99 \text{ кВАр.}$$

Розраховуємо максимальну повну потужність S_{max} кВт, на ділянці електролізу за формулою [26]:

$$S_{max} = \sqrt{P_{max}^2 + Q_{max}^2}, \quad (3.15)$$

$$S_{max} = \sqrt{3049,95^2 + 1697,99^2} = 3490,75 \text{ кВт.}$$

Через розрахунковий коефіцієнт реактивної потужності визначаємо коефіцієнт потужності $\text{tg } \varphi_{max}$, за формулою [26]:

$$\text{tg } \varphi_{max} = \frac{Q_{max}}{P_{max}}, \quad (3.16)$$

$$\text{tg } \varphi_{max} = \frac{1697,99}{3049,95} = 0,556;$$

$$\cos_{\varphi} = 0,83.$$

Знаходимо реактивну потужність яку треба зкомпенсувати за формулою [26]:

$$Q_M = P_{max} \cdot (tg\varphi_{max} - tg\varphi_B), \quad (3.17)$$

$tg\varphi_{max}$ – оптимальний кут, який відповідає значенню, $tg\varphi_B = 0,2$ [26].

$$Q_M = 3049,95 \cdot (0,556 - 0,2) = 1085,78 \text{ кВАр.}$$

$$Q_{KV} \leq \sum Q_{3M}, \quad (3.18)$$

$$1000 \text{ кВАр} \leq 1085,78 \text{ кВАр.}$$

Для компенсації реактивної потужності пропонується взяти з каталогу одну комплектну конденсаторну установку типу АКУ-КРМ 58-0,4-1000-50 УЗ. Автоматична конденсаторна установка компенсації реактивної потужності (АКУ-КРМ) – слугує для зниження обсягів споживання реактивної потужності. Також впровадження конденсаторних установок допоможе уникнути просадки напруги на лініях електроживлення віддалених споживачів, дозволить зменшити розмір оплати за електроенергію. Основна технічна характеристика установки типу АКУ-КРМ 58-0,4-1000-50 УЗ. Наведена в таблиці 3.3. Встановлення однієї установки планується розмістити на трансформаторній підстанції яка знаходиться біля ділянки.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики установки типу АКУ-КРМ 58-0,4-1000-50 УЗ.

Тип	АКУ-КРМ 0,4
1	2
Ступінь захисту	IP-31
Номінальний струм, А	1584
Номінальна потужність, кВАр	1000
Номінальну напругу, В	400

Продовження таблиці 3.3

1	2
Кількість ступенів	50/22
Висота, мм	1800
Ширина, мм	1800
Глибина, мм	450
Вага, кг	380

На обладнання потребуються витрати на придбання та експлуатацію. Тому остаточне рішення про встановлення такого обладнання приймається після техніко-економічного обґрунтування.

3.3 Техніко-економічне обґрунтування проекту

Виконуємо техніко-економічне обґрунтування проекту щодо застосування установок типу АКУ-КРМ 58-0,4-1000-50 УЗ.

Визначаємо вартість втрат активної енергії на компенсацію за формулою [27]:

$$B_g = \Delta P \cdot T \cdot B_o \cdot Q_{ном}, \quad (3.19)$$

де ΔP – питомі витрати на компенсацію кВт, $\Delta P = 0,045$ [27];

T – річне число годин роботи, залежить від кількості і подовженості змін $T = 5435$;

B_o – вартість електроенергії за тарифом, ($B_o = 3,12$ грн/кВт·год, без ПДВ, згідно постанови НКРЕКП від 10.12.2019 № 2676 на IV квартал 2019 року), грн/кВт·год [28].

$$B_g = 0,045 \cdot 5435 \cdot 3,12 \cdot 1000 = 763074 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування визначаються за формулою [27]:

$$B_A = K \cdot \frac{\varphi}{100}, \quad (3.20)$$

де K – капітальні витрати на АКУ-КРМ 0,4, $\sum K = 131\,713$ грн.

φ – процент відрахувань, % ; $\varphi = 7,5\%$ [27].

$$B_A = 131\,713 \cdot \frac{7,5}{100} = 98\,785 \text{ грн.}$$

Знаходимо повні річні витрати за формулою [27]:

$$B_{\text{ку}} = B_{\text{е}} + B_A + 0,15 \cdot K, \quad (3.21)$$

$$B_{\text{ку}} = 763\,074 + 98\,784,75 + 0,15 \cdot 131\,713 = 881\,616 \text{ грн.}$$

Річна економія за рахунок зниження втрат активної енергії при зменшенні реактивної потужності визначається за формулою [29]:

$$B_p = K_{\text{е}} \cdot T_{\text{роб}} \cdot B_o \cdot Q_{\text{ном}}, \quad (3.22)$$

де $K_{\text{е}}$ – коефіцієнт використання втрат, для системи, для якої виконується проектування 0,10-0,15, приймаємо: 0,15 [29];

$T_{\text{роб}}$ – час роботи обладнання за рік;

B_o – ціна за електроенергію = 3,12 грн/кВт · год.

$$B_p = 0,15 \cdot 5435 \cdot 3,12 \cdot 1000 = 2\,543\,580 \text{ грн.}$$

Для знаходження річної економії електричної енергії визначаємо за формулою [29] :

$$W = \frac{B_p}{B_o}, \quad (3.23)$$

де B_p – річна економія в грошовому еквіваленті;

$$W = \frac{2\,543\,580}{3,12} = 815\,250 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Для знаходження терміну окупності запропонованого проекту визначаємо за формулою [27]:

$$T = \frac{B_{ку}}{B_p}, \quad (3.24)$$

де $B_{ку}$ – повні річні витрати;

B_p – річна економія.

$$T = \frac{881\,616}{2\,543\,580} = 0,35 \text{ років.}$$

За розрахунками видно, що після впровадження АКУ-КРМ 0,4 економія електроенергії складе $W = 815250$ кВт·год, а в грошовому еквіваленті $B_p = 2\,543\,580$ грн. Термін окупності складе 0,35 роки. В таблиці 3.4 представлені економічна ефективність запропонованих заходів.

Таблиця 3.4 – Економічна ефективність заходів

Заходи	Економія, тис. грн.
Оптимізація графіку навантаження	772 тис. кВт/рік
	2408 тис. грн/рік
Оптимізація реактивної потужності	897 тис. кВт/рік
	2798 тис. грн/рік

На рисунку 3.7 представлена споживання електроенергії до та після впровадження заходів

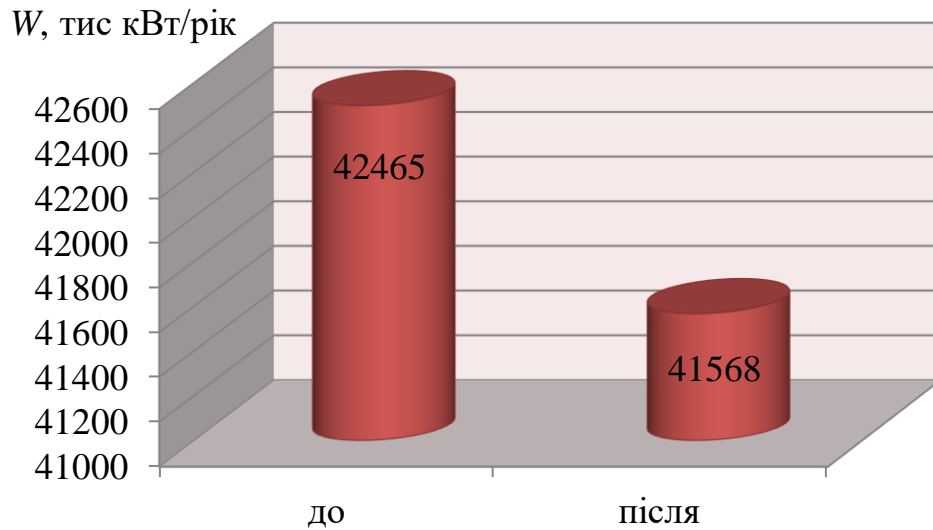


Рисунок 3.7 – Споживання електричної енергії до та після запропонованих заходів

На рисунку 3.8 представлена економія електричної енергії в грошовому еквіваленті до та після запропонованих заходів.

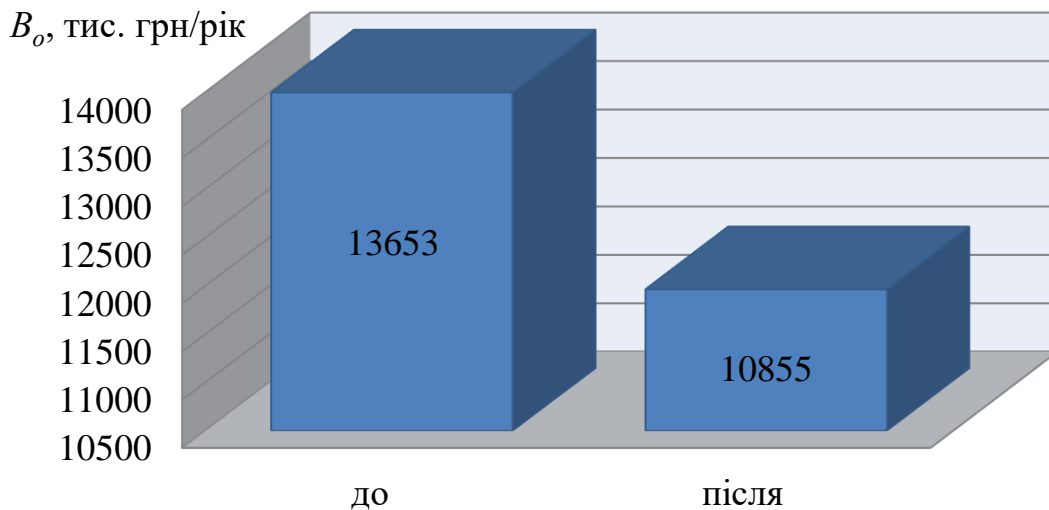


Рисунок 3.8 – Економія електроенергії в грошовому еквіваленті

В ході роботи запропоновано технічний захід, який дозволить оптимізувати та знизити споживання електричної енергії електрообладнанням, що в свою чергу підвищить ефективність використання електроенергії. Дані заходи є економічно вигідними та мають невеликий термін окупності.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Основним завдання роботи ділянки електролізу магнію цеху №7 ТОВ «ЗТМК» отримання магнію сирцю і анодного хлоргазу електролітичним способом з сировини: хлористого магнію.

Ділянка електролізу магнію обладнаний електролізерами бездіафрагменних і біполярного типу, призначеними для отримання магнію-сирцю і анодного хлоргазу електролітичним способом з сировини: хлористого магнію.

Сировина надходить на ділянку в розплавленому стані в спеціальних футерованих ковшах з температурою 700-750 °С. надходить на УЕМ з пічного ділянки.

Продукт виробництва - магній-сирець транспортується до відділення рафінування магнію в спеціальних герметичних вакуум-ковшах в рідкому стані. У розплавленому стані магній є пожежонебезпечним продуктом.

До потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів приміщення ділянки електролізу належать:

- недостатня освітленість робочої зони;
- небезпека ураження електричним струмом;
- рухомі частини механізмів і приводів;
- вібрація від технологічного обладнання та вентустановок;
- шум, створюваний обладнанням [30].

Технологічний процес здійснюється при температурах 690-800 ° С. Вибухонебезпечними і пожежонебезпечними операціями є операції з його використанням в якості покривного флюсу при відборі проб магнію-відновника.

Ділянка електролізу є приміщенням категорії середньої важкості (виконуються роботи середньої важкості), тому повинні дотримуватися такі вимоги:

- оптимальна температура повітря – 22–24 °С (допустима – 19–21 °С);
- оптимальна відносна вологість – 40–60% (допустима – не більше 75%);
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с [31].

Таким чином, 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.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

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.

У зв'язку з тим, що природне освітлення цеху здійснюється через віконні отвори і є дуже слабким, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення. Штучне освітлення створюють електричним джерелом світла, яке включають в міру необхідності, регулюють інтенсивність світлового потоку і його спрямованість.

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, Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації – ДСН 3.3.6 039-99, Державні санітарні 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.

4.3 Електробезпека

Приміщення ділянки електролізу магнію цеху №7 згідно ПУЕ можна віднести до I класу — з підвищеною небезпекою ураження струмом (відносна вологість повітря понад 45%; струмопровідний пил; температура понад 350С або короткочасно 400С незалежно від пори року; можливість одночасного дотикання людини до металевих корпусів електрообладнання і заземлених металевих конструкцій будівлі; наявність струмопровідних підлог земляних, залізобетонних, цегляних та ін.) [33].

Для захисту від електричного струму передбачається надійне захисне заземлення електростаткування. Заземлюючі пристрої забезпечують безпеку

людей і захист електроустановок, експлуатаційні режими роботи. Для тієї частини електроустаткування, яка може виявитися під напругою внаслідок порушення ізоляції, забезпечено надійний контакт із заземлюючим пристроєм. Запропоновано проводити інструментальну перевірку стану захисного заземлення не рідше одного разу на рік, а також після монтажу або ремонту.

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 і навчання безпечним методам праці, перевірка знань правил безпеки та інструкцій відповідно до виконуваної роботи [33].

4.4 Пожежна безпека

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 – Ша) [34].

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 покажчиків 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 [34].

4.5 Засоби індивідуального захисту

На робочих місцях, де не вдається знизити шум і вібрацію допустимих рівнів технічними засобами, або де це недоцільно з техніко-економічних міркувань, застосовують засоби індивідуального захисту (далі – ЗІЗ).

ЗІЗ не тільки сприяють профілактиці захворювань, прямо або побічно пов'язаних з впливом шуму (приглухуватість, шумова хвороба, порушення нервової, серцево-судинної систем тощо), але і підвищують працездатність людини.

У залежності від конструктивного виконання ЗІЗ поділяються на протишумові навушники, що закривають вушну раковину зовні; протишумові вкладиші, що перекривають зовнішній слуховий прохід або прилегли до нього; протишумові шоломи і каски; протишумові костюми.

Протишумові вкладиші роблять з твердих, еластичних і волокнистих матеріалів. Вони бувають одноразового та багаторазового користування.

Щодо ефективності захисту від шуму, маси і сили притиснення до привушної зони навушники й вкладиші діляться на три групи: А, Б та В. ЗІЗ вибирають виходячи з частотного спектру шуму на робочому місці і

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 руйнування сольового хлоратора та викиду хлору в робоче приміщення і атмосферу.

Засоби індивідуального захисту не тільки сприяють профілактиці захворювань, а і підвищують працездатність працівників.

Таким чином, приміщення ділянки електролізу магнію цеху №7 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» відповідає всім вимогам з охорони праці та техногенної безпеки.

ВИСНОВОК

В магістерській роботі були розглянути фактори, які визначають вибір методів керування нормальними режимами системами електропостачання та вибрані найбільш дієві фактори для оптимізації.

За основу була взята ділянки електролізу магнію цеху №7 ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат». В роботі використовувались оптимізація електричних і енергетичних режимів: розрахунок граничних режимів по переданої потужності енергосистеми і визначення небезпечних перетинів, оптимізація електричної мережі за рівнями напруги, втрат потужності і розподілу реактивної потужності, розрахунок оптимальних положень стану.

Метою магістерської роботи є зниження витрат на придбання електричної енергії за рахунок оптимального керування нормальними режимами системи електропостачання, та споживання на перспективний період в залежності від об'ємів виготовленої продукції.

Таким чином, в процесі дослідження вирішено задачу щодо оптимального керування нормальними режимами системи електропостачання за рахунок методу оптимізації сталих режимів електромережі, та визначення джерел реактивної потужності в електричній мережі.

Загальна задача оптимального керування нормальними режимами в системі електропостачання може бути сформульована таким чином:

1) Використовуючи всі наявні можливості, слід забезпечити такий сталий режим роботи всіх енергооб'єктів, при якому досягається задоволення потреб електроенергією належної якості та надійності з мінімальними затратами на її отримання, перетворення та передачу. Найбільш типовими задачами оптимального керування нормальними режимами є регулювання графіків активного та реактивного навантажень підприємства, розподіл

потужності між агрегатами, вибір числа та складу енергообладнання, керування якістю електроенергії.

При довгостроковому плануванні здійснюється розрахунок балансів електричної енергії та потужності на періоди: рік, квартал, місяці. Розрахунками електричних режимів визначається робота електричної мережі, що забезпечує допустимі навантаження.

Було запропоновано розрахунок оптимізації сталих режимів електромережі, ділянки електролізу магнію цеху №7. За рахунок методики вдалося вирівняти пікове навантаження мережі, яка складала до оптимізації 8331 тис. кВт/рік, а після розрахунків склала 7559 тис. кВт/рік. За розрахунками вдалося зменшити втрати на 772 тис. кВт/рік.

2. В роботі були виявлені основні недоліки ділянки, та з точки зору ефективності споживання електричної енергії, запропоновані заходи з оптимізації джерел реактивної потужності в електричній мережі. Для оптимального керування нормальними режимами було розраховано активну потужність яка склала $P_{зм} = 2723,17$ кВт, та реактивну потужність $Q_{зм} = 1697,99$ кВАр електричного обладнання. Для компенсації реактивної потужності було розрахована потужність яку треба компенсувати 1085,78 кВАр. Для компенсації запропоновано встановити автоматичну компенсаційну установку, яка дозволить підвищити енергоефективність електрообладнання та $\cos \varphi$, який складав до компенсації 0,83, а після заходу склав 0,95. За рахунок компенсації реактивної потужності вдалося зменшити споживання електричної енергії на 897 тис. кВт/рік, та зкомпенсувати 1000 кВАр реактивної потужності.

3. За рахунок впровадження даних заходів дозволили скоротити річне споживання електричної енергії сумарно 1669 тис. кВт/рік, а грошовому еквіваленті зекономити підприємству сумарно 5206 тис. грн/рік, при капітальних затратах 131,1 тис. грн/рік. Термін окупності при капіталовкладень становить – 0,35 роки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Запорізький титано-магнієвий комбінат [Електронний ресурс] / Group DF. – Режим доступу : \WWW/ URL: <https://groupdf.com/ru/nash-biznes/titanovyy-biznes-rus/metallicheskiy-titan/> – 04.11.20 р. – Загол. з екрану.
2. Гармата В. А. [Текст] : Учебное пособие / Гармата В.А., Петрунько А.Н., Галицкий Н.В., Олесов Н.В., Сандлер Р.А, – Металлургия титана. М.: Металлургия, 1968. – 443 с.
3. Лебедев, В. А. Металлургия титана. [Текст] : Учебное пособие / В. А. Лебедев, Д. А. Рогожников, – Екатеринбург : Издательство УМЦ УПИ, 2015. – 194 с.
4. Запорожский городской совет [Електронний ресурс]/ Муніципальний енергетичний план Запоріжжя. – Режим доступу : \WWW/ URL: https://zp.gov.ua/upload/editor/1-1-_municipalnij_energetichnij_plan_zaporizhzhya.pdf – 04.11.20 р. – Загол. з екрану.
5. Послуга с розподілу електроенергії [Електронний ресурс] / ПАТ Запоріжжяобленерго – Режим доступу : \WWW/ URL: <http://www.zoe.com.ua/> – 08.11.20 р. – Загол. з екрану.
6. Комплектные трансформаторные подстанции 35кВ [Электронный ресурс] / РЗВА – Режим доступу : \WWW/ URL: http://www.rzva.ua/modules/pages/files/01_КТПБР_35_220_УХЛ1.pdf – 09.11.20 р. – Загол. з екрану.
- 7 Продукция [Электронный ресурс] / Запорожский титано-магниевоый комбинат. – Режим доступа: \WWW/ URL: <http://ztmc.zp.ua/ru/produktsiya> – 11.11.20 г. – Загол. с экрана.
- 8 Политика комбината [Электронный ресурс] / Запорожский титано-магниевоый комбинат. – Режим доступа : \WWW/ URL: <http://ztmc.zp.ua/ru/kachestvo/politika> – 11.11.20 г. – Загол. с экрана.

9 Склад і структура виробничого процесу [Електронний ресурс] / Учебные материалы – Режим доступу : \WWW/ URL: <https://works.doklad.ru/view/buxu9vGhhDk.html> –13.11.20 р. – Загол. з екрану.

10 Бездіафрагмовий електролізер для виробництва магнію [Електронний ресурс] / База патентів України. – \WWW/ URL: Режим доступу: <http://uapatents.com/2-48303-bezdiafragmovijj-elektrolizer-dlya-virobnictva-magniyu.html> – 15.11.20 г. – Загол. с екрана.

11. Шкрабець Ф.П. [Текст] : Учебное пособие / Електропостачання:/ Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015.

12. Правила устройства электроустановок [Текст] : Учебное пособие / ПУЭ . – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

13. Иванов В.С. [Текст] : Учебное пособие / Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий / В.С. Иванов, В.И. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

14. Рюденберг, Р. [Текст] : Учебное пособие / Эксплуатационные режимы электроэнергетических систем и установок: пер. с нем. / Р. Рюденберг / под ред. К.С.Демирчяна. – Л.: Энергия. Ленингр. отд., 1980.

15. Організаційна структура управління енергогосподарством підприємства [Електронний ресурс] / Студопедія. – Режим доступу : \WWW/ URL: https://studopedia.su/5_17720_organizatsiyna-struktura-upravlinnya-energogospodarstvom-pidpriemstva.html – 09.11.2020 р. – Загол. з екрану.

16. Склад і структура виробничого процесу [Електронний ресурс] / Учебные материалы – Режим доступу : \WWW/ URL: <https://works.doklad.ru/view/buxu9vGhhDk.html> –09.11.20 р. – Загол. з екрану.

17. Терешкевич Л. Б. [Текст] : Учебное пособие / АСУ режимами систем електропостачання, навчальний посібник / Терешкевич Л. Б. – Вінниця : ВДТУ, 1998. – 125 с.

18. В. А. Веникова. [Текст] : Учебное пособие / Электрические системы: Автоматизированные системы управления режимами энергосистем

/ [Богданов В. А., Веников В. А., Лугинский Я. Н., Черня Г. А.] ; под ред. В. А. Веникова. – М. : Высшая школа, 1979.

19. Черемісін М. М. [Текст] : Учебное пособие / Автоматизация обліку та управління електроспоживанням / М. М. Черемісін, В. М. Зубко. – Х. : Факт, 2005. – 192 с.

20. Табак Д. [Текст] : Учебное пособие / Оптимальное управление и математическое программирование / Д. Табак, Б. Куо. – М. : Наука, 1975. – 280 с.

21. Воротницкий В.Э. [Текст] : Учебное пособие / Потери электроэнергии и электрических сетях энергосистем Железко Ю.С., Казанцев В.Н. и др. Под редакцией В.Н. Казанцева. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 368 с., ил.

22. Афонин, В. В. [Текст] : Учебное пособие / Электрические системы и сети : учебное пособие : в 2 ч. / В. В. Афонин, К. А. Набатов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – Ч. 2.

23. Соловьева И. А. [Текст]: Учебное пособие / Прогнозирование электропотребления с учетом факторов технологической и рыночной среды / И. А. Соловьева, А. П. Дзюба / Научный диалог. 2013. № 7 (19): Экономика. Право. Политология.

24. Соколов В.И. [Текст] : Учебное пособие / К задачам оптимизации распределения и баланса реактивной мощности в энергетической системы. – Электричество, 1974, №8, с 22–25.

25. Железко Ю.С. [Текст] : Учебное пособие / Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах – М.: Наука ,1978 – 420с .

26 Липкин Б.Ю. [Текст] : Учебное пособие / Электроснабжение промышленных предприятий и установок / 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1990.

27. Зонов В.Д. [Текст] : Учебное пособие / Методика визначення економічної ефективності заходів з енергозбереження, що впроваджуються

на залізницях України. Далько М.І., Кулешов В.М., Данько В.М. - К.: Мін-во трансп. України. Держ. адмін. заліз. трансп. України. Укрзалізниця, 2005.

28. ПАТ Зароріжжяобленерго [Електронний ресурс] / НКРЕКП від 10.12.2019 № 2676 на IV квартал 2019 року – Режим доступу \WWW/ URL: <https://www.zoe.com.ua/тарифи-населення/> – 1.12.20 р. – Загол. з екрану.

29. Климова, Г. Н. Энергосбережения на промышленных предприятиях [Текст] Учебное пособие / Климова, Г. Н. Томский политехнический университет. – 2 издание – Томск: Издательство томского политехнического университета, 2014.

30. Раздорожный А.А. [Текст] Учебное пособие / Охрана труда и производственная безопасность / А. А. Раздорожный. – М.: Экзамен, 2007. – 512 с.

31. Шалагина М. А. . [Текст] Учебное пособие / Охрана труда и техника безопасности / М. А. Шалагина. – Москва: Экзамен. – 2008. – 346 с.

32. ДСН 3.3.6.037-99 [Електронний ресурс] / «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». – Режим доступу \WWW/ URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html> - 4.12.20 р. – Загол. з екрану.

33. Березюк О. В. [Текст] Учебное пособие / Безпека життєдіяльності: навчальний посібник / О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с.

34. ГОСТ 27331-87 [Електронний ресурс] / «Пожежна техніка. Класифікація пожеж». – Режим доступу \WWW/ URL: <http://prometey.in.ua/ua/usloviya/> - 6.12.20 р. – Загол. з екрану.