

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“ ____ ” _____2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Синтез нейронної мережі прогнозування споживання
електричної енергії гірничо-збагачувальних
підприємств для впровадження енергозберігаючих
режимів»**

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу магістратури, групи ЕНМ-23М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Олег НИЖНИК

« ____ » _____2024 р.

Керівник роботи професор, к.т.н.

_____Петро ПЛЄШКОВ

« ____ » _____2024 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____ Петро ПЛЕШКОВ

«_____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____ *Нижник Олег Іванович*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Синтез нейронної мережі прогнозування споживання електричної енергії гірничо-збагачувальних підприємств для впровадження енергозберігаючих режимів*

Synthesis of a neural network for predicting electricity consumption of mining and processing enterprises for the implementation of energy-saving modes

2. Керівник роботи (проекту) *Плешков Петро Григорович, к.т.н., професор*

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту *12.12.2024 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) _____

Вступ; Теорія використання нейронних мереж; Дослідження нейронної мережі для прогнозування споживання електричної енергії підрозділом ГЗК; Аналіз результатів синтезованої нейронної мережі прогнозування споживання електричної енергії; Політика електрозбереження на підприємстві гірничої промисловості; Розробка енергозберігаючих режимів електрообладнання дробарного відділення гірничого підприємства; Охорона праці на ГЗК; Висновки.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>07.10.24</i>	
2	<i>Теорія використання нейронних мереж</i>	<i>15.10.24</i>	
3	<i>Дослідження нейронної мережі для прогнозування споживання електричної енергії підрозділом ГЗК</i>	<i>22.10.24</i>	
4	<i>Аналіз результатів синтезованої нейронної мережі прогнозування споживання електричної енергії</i>	<i>04.11.24</i>	
5	<i>Політика електрозбереження на підприємстві гірничої промисловості</i>	<i>12.11.24</i>	
6	<i>Розробка енергозберігаючих режимів електрообладнання дробарного відділення гірничого підприємства</i>	<i>18.11.24</i>	
7	<i>Охорона праці на ГЗК</i>	<i>24.11.24</i>	
8	<i>Висновки</i>	<i>02.12.24</i>	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	<i>08.12.24</i>	
10	<i>Оформлення презентаційної частини ВКР</i>	<i>10.12.24</i>	

Дата видачі завдання
Підпис керівника _____

«____» _____ 2024 р.
Петро ПЛЄШКОВ

Завдання прийнято до виконання
Підпис здобувача _____

«____» _____ 2024 р.
Олег НИЖНИК

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 110 с.; 31 рис.; 18 табл.; 15 джерел.

Нижник О.І. Синтез нейронної мережі прогнозування споживання електричної енергії гірничо-збагачувальних підприємств для впровадження енергозберігаючих режимів. – Рукопис.

Магістерська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Енергетичний менеджмент». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Предмет досліджень – прогнозування електроспоживання за допомогою нейронних мереж.

Об'єктом досліджень є гірничо-збагачувальний комбінат.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження використання нейронної мережі для прогнозування споживання електричної енергії гірничо-збагачувального комбінату з впровадженням енергозберігаючих режимів.

Розглянуто завдання створення системи короткострокового та середньострокового прогнозування споживання електроенергії, яке дозволило мінімізувати відхилення фактичного обсягу споживання від запланованого. Проведена розробка системи, яка базується на методах нейромережевого моделювання для нелінійного прогнозування. За допомогою багатofакторного групування проаналізовано одночасний вплив статусу дня та часу доби на споживання електричної енергії.

В результаті проведеного аудиту обладнання дробарного відділення гірничо-збагачувального комбінату проведено визначення можливих шляхів зниження споживання електроенергії в основному технологічному обладнанні та розроблено енергозберігаючі режими з оптимізацією режимів роботи електрообладнання.

Зроблено висновок, що для ефективного управління електроспоживанням на гірничих підприємствах необхідно виконати такі завдання, як впровадження інформаційно-моделюючих систем для аналізу електроспоживання, виявлення закономірностей споживання електроенергії гірничим обладнанням на технологічних етапах, проведення енергоаудиту та реалізація заходів для збереження енергії.

Ключові слова: нейронні мережі, прогнозування енергоспоживання, енергозбереження, енергетичний аудит, паливно-енергетичні ресурси, оптимальність електроспоживання, управління електроспоживанням, енергоефективність.

ABSTRACT

Qualification work: 110 p.; 31 fig.; 18 tables.; 15 sources.

Nyzhnyk O.I. Synthesis of a neural network for predicting the consumption of electricity in mining and processing enterprises for the implementation of energy-saving modes. – Manuscript.

Master's thesis in specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Energy Management". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

The subject of research is forecasting electricity consumption using neural networks.

The object of research is a mining and processing plant.

The purpose of the qualification work is to study the use of a neural network for predicting the consumption of electricity in a mining and processing plant with the implementation of energy-saving modes.

The task of creating a system for short-term and medium-term forecasting of electricity consumption was considered, which allowed minimizing the deviation of the actual consumption volume from the planned one. A system based on neural network modeling methods for nonlinear forecasting was developed. Using multifactor grouping, the simultaneous influence of the status of the day and time of day on electricity consumption was analyzed.

As a result of the audit of the equipment of the crushing department of the mining and processing plant, possible ways to reduce electricity consumption in the main technological equipment were determined and energy-saving modes were developed with optimization of the operating modes of electrical equipment.

It was concluded that for effective management of electricity consumption at mining enterprises, it is necessary to perform such tasks as the implementation of information modeling systems for analyzing electricity consumption, identifying patterns of electricity consumption by mining equipment at technological stages, conducting an energy audit and implementing measures to save energy.

Keywords: neural networks, energy consumption forecasting, energy saving, energy audit, fuel and energy resources, optimality of electricity consumption, electricity consumption management, energy efficiency.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	6
1	ТЕОРІЯ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	7
1.1.	Загальні положення та вибір методу прогнозування.	7
1.2.	Наукове обґрунтування теорії штучних нейронних мереж.	10
2	ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОГНО- ЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПІДРОЗДІЛОМ ГЗК.....	22
2.1.	База даних для нейронної мережі.	22
2.2.	Відбір змінних та скорочення розмірності.....	25
2.3.	Вилучення викидів та перепроцесування.	41
2.4.	Моделювання в полі узагальнено-регресійних мереж	45
2.5.	Побудова архітектури нейронної мережі.....	49
2.6.	Застосування навчання нейронної мережі.....	50
3	АНАЛІЗ СИНТЕЗОВАНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ	53
3.1.	Аналіз прогнозування електроспоживання по даним тестової множини	53
3.2.	Оцінка впливу похибки прогнозування з причини зміни значень ключових параметрів	54
4	ПОЛІТИКА ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ ГІРНИЧОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	62
4.1.	Служба енергоменеджменту підприємства.....	62
4.2.	Управління енергоспоживанням на гірничих підприємствах....	63
4.3.	Інформаційне та технічне забезпечення системи енергоспоживання на підприємстві.....	69
4.4.	Етапи проведення енергетичного аудиту на гірничому підприємстві.....	75

5	РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДРОБАРНОГО ВІДДІЛЕННЯ ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	78
5.1.	Обстеження режимів роботи електротехнічного обладнання.....	78
5.2.	Визначення можливих шляхів зниження споживання електроенергії в основному технологічному обладнанні дробарного відділення.....	86
5.3.	Заходи для зменшення споживання електроенергії.....	87
5.4.	Оцінка потенційної загальної економії витрат електроенергії в енергоємному обладнанні дробарного відділення.....	93
6	ОХОРОНА ПРАЦІ НА ГЗК.....	96
6.1.	Служба охорони праці на підприємстві.....	96
6.2.	Заходи по усуненню шкідливих факторів.....	97
6.3.	Заходи по безпечній експлуатації електроустановок.....	99
6.4.	Заходи безпеки при обслуговуванні кабельних ліній.....	103
	ВИСНОВКИ.....	107
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109

ВСТУП

Одним із ключових завдань для великих підприємств гірничої галузі в умовах енергетичного ринку є складання точної заявки на споживання електроенергії для постачальника на заздалегідь визначений період. Це сприяє суттєвому скороченню фінансових втрат, що виникають через невідповідність між реальними обсягами використання енергії та запланованими обсягами. Зазвичай договір на постачання електричної енергії передбачає обов'язок підприємства щороку подавати план споживання, розділений по місяцях із деталізацією за годинами.

Таким чином, споживачеві необхідно здійснювати як короткострокове, так і середньострокове прогнозування електричного навантаження підприємства. Зокрема, планування на місяць вперед має включати погодинний розподіл енергоспоживання.

Цей процес є доволі складним і трудомістким, особливо для масштабних гірничих підприємств, чия діяльність характеризується високою складністю технологічних процесів і значною кількістю впливаючих факторів. Додаткову складність створює розгалужена та комплексна енергетична структура таких виробництв. Використання методів, таких як кореляційно-регресійний аналіз, часто не дозволяє досягти похибки менше 5%, що ускладнює отримання точних строкових прогнозів. При цьому графіки навантаження формуються під впливом багатьох різнорідних факторів, а відхилення від запланованих технологічних режимів є неминучими.

У зв'язку з цим постає потреба в розробці оптимальної ефективної системи прогнозування споживання електроенергії, яка мінімізувала б розбіжності між запланованим та фактичним обсягом використання електроенергії. Особливо актуальним стає впровадження методів нейромережевого моделювання для прогнозування в умовах нелінійної залежності, що дозволяє підвищити точність планування та врахувати всі ключові аспекти енергоспоживання підприємствами.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРІЯ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

1.1. Загальні положення та вибір методу прогнозування.

Прогноз – це конкретне передбачення про майбутній стан певного об'єкта, який робиться на основі спеціального наукового дослідження, що називається прогнозуванням. Загалом, прогнозування можна описати як процес, направлений на створення коротко- та довгострокових прогнозів, що включає як теоретичні, так і практичні дії. Методи прогнозування класифікуються за наступними ознаками:

1. За інформаційною базою методу:

1.1. Фактографічні методи, які ґрунтуються на вже наявній інформації про об'єкт прогнозування та його попередній розвиток.

1.2. Експертні методи, що базуються на міркуваннях фахівців відповідної галузі, з подальшим аналізом та узагальненням цих оцінок:

- Прямі експертні оцінки, де узагальнюються незалежні думки групи експертів, без взаємного впливу на їх оцінки.

- Експертні оцінки зі зворотним зв'язком, які передбачають можливість урахування попередніх оцінок групи або одного з експертів під час формування нових оцінок.

1.3. Комбіновані методи, які використовують змішану інформаційну базу, поєднуючи фактографічні дані із експертними оцінками.

2. За способом обробки інформації:

2.1. Статистичні методи, які поєднують обробку кількісної інформації про об'єкт прогнозування для виявлення математичних закономірностей і взаємозв'язків між характеристиками об'єкту з метою створення прогнозних моделей.

- Методи екстраполяції та інтерполяції, що використовуються для прогнозування на основі існуючих даних, шляхом їх розширення чи уточнення.

- Методи кореляційно-регресійного аналізу, які визначають взаємозв'язки між змінними для будови математичних моделей.

- Методи, що використовують нелінійні моделі, призначені для опису складних залежностей між змінними, які не є лінійними.

2.2. Методи аналогій, які шукають подібність у розвитку різних процесів і на основі цієї подібності здійснюють прогноз.

- Методи математичних аналогій, де в якості аналога для об'єкта прогнозування використовують інші об'єкти з різних сфер науки чи техніки, але з подібним математичним описом процесу розвитку.

- Методи історичних аналогій, які застосовують аналогічні процеси однієї фізичної природи, що відбулися раніш, для прогнозування майбутнього розвитку об'єкта.

2.3. Випереджальні методи, що базуються на спеціальній обробці науково-технічної інформації, які дозволяють прогнозувати на основі її здатності випереджати розвиток науково-технічного прогресу.

У цьому випадку основний інтерес представляють статистичні методи прогнозування. Використовуючи їх для побудови прогнозних моделей споживання електроенергії у цехах гірничозбагачувального комбінату, можна буде в будь-який момент часу отримувати точні прогнози на основі цих моделей.

З точки зору статистики, споживання електроенергії можна трактувати як часовий ряд — послідовність вимірів, упорядкованих в певні моменти часу. Основна мета аналізу часових рядів полягає у прогнозуванні майбутніх значень цього ряду, базуючись на його минулих та теперішніх значеннях, а також, при необхідності, значеннях інших змінних. Це дозволяє будувати прогнози на основі наявної інформації, що являється ключовою перевагою статистичних методів.

Методи екстраполяції є одними з найпоширеніших та добре розроблених у прогнозуванні. Їх використання базується на припущенні, що

зміна змінної величини визначається двома складовими: регулярною та випадковою. Регулярна складова, або тренд, є функцією часу, яка може описуватися певним набором параметрів, що залишаються стабільними протягом періоду, що передумовлює прогнозу. Випадкова складова, або шум, вважається випадковою величиною із нульовим математичним очікуванням.

Основна суть екстраполяційних методів полягає у виділенні тренда, його математичному описі та подальшому прогнозуванні майбутніх значень шляхом продовження цього тренда у майбутнє. Це дозволяє прогнозувати змінні величини на основі їхніх попередніх закономірностей, що вважаються сталими на короткий період часу.

В цьому випадку прогнозована змінна являється числовою, тому процес прогнозування таких часових рядів можна розглядати як частковий випадок регресії, де як незалежні змінні використовуються попередні значення самого ряду. Загальна мета множинної регресії полягає у аналізі взаємозв'язку між кількома незалежними змінними (регресорами або предикторами) і залежною змінною. Одержана інформація дозволяє побудувати модель цієї залежності, за допомогою якої можливо здійснювати прогнозування залежної змінної.

Найбільш поширеними є методи множинної лінійної регресії, що припускають лінійний характер зв'язку поміж змінними. Хоч на практиці це припущення рідко є абсолютно точним, методи множинної регресії стійкі до невеликих відхилень від лінійності. Це робить їх корисними для побудови моделей навіть у тих випадках, коли реальні залежності мають певні нелінійні риси.

Останнім часом значну популярність здобули методи, які засновані на нелінійних моделях. Більшість таких методів належить до категорії технік штучного інтелекту. Самими відомими з них є штучні нейронні мережі та сучасні методи оптимізації, такі як генетичні алгоритми. Ці методи зазвичай

вимагають великих обчислювальних ресурсів, але розвиток сучасної обчислювальної техніки значно спрощує процес їх розробки і впровадження.

Однією із головних переваг таких методів є значно вища точність прогнозування порівняно з традиційними методами. Це робить їх особливо привабливими для складних завдань, де лінійні моделі не здатні забезпечити достатню точність або ефективність.

Отже, завдання прогнозування зводиться до створення моделі, яка відображає залежність споживання електроенергії від зовнішніх факторів та попередніх значень електроспоживання. Враховуючи сучасні тенденції у вирішенні даної проблеми, планується побудова моделі споживання електроенергії на основі нейронних мереж.

Гірничозбагачувальне підприємство має складну та розгалужену структуру, а його технологічні процеси є надзвичайно складними та багатфакторними. Тому прогнозування на основі кореляційно-регресійного аналізу, яке полягає у виявленні та математичному описі існуючих залежностей між змінними, стає трудомістким та майже неможливим завданням, якщо ми прагнемо утримувати похибку прогнозу в межах не більше 5%. У випадку використання нейронних мереж ми зосереджуємо увагу лише на виявленні зв'язків, залишаючи математичний опис залежностей алгоритму навчання мережі.

В процесі створення штучної нейронної мережі важливо враховувати особливості цього методу, які будуть розглянуті в наступних розділах.

1.2. Наукове обґрунтування теорії штучних нейронних мереж.

1.2.1. Поняття штучний нейрон.

Штучна нейронна мережа – обчислювальна структура, яка моделює елементарні біологічні процеси, зазвичай пов'язані із функціонуванням людського мозку. Основним елементом у цих структурах виступає штучний нейрон (рис. 1.1).

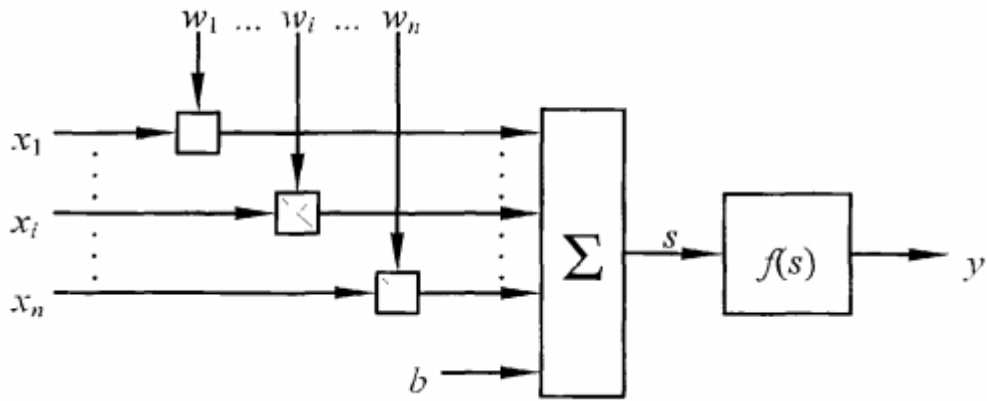


Рисунок 1.1 – Структура штучного нейрона.

Математичний опис нейрона виражається системою рівнянь (1.1)-
(1.2):

$$s = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b; \quad (1.1)$$

$$y = f(s); \quad (1.2)$$

де s – результат додавання;

w_i – значення (вага) синапса;

x_i – компонента вхідного вектора;

n – кількість елементів вхідного вектора;

b – величина зсуву;

y – вихідний нейронний сигнал;

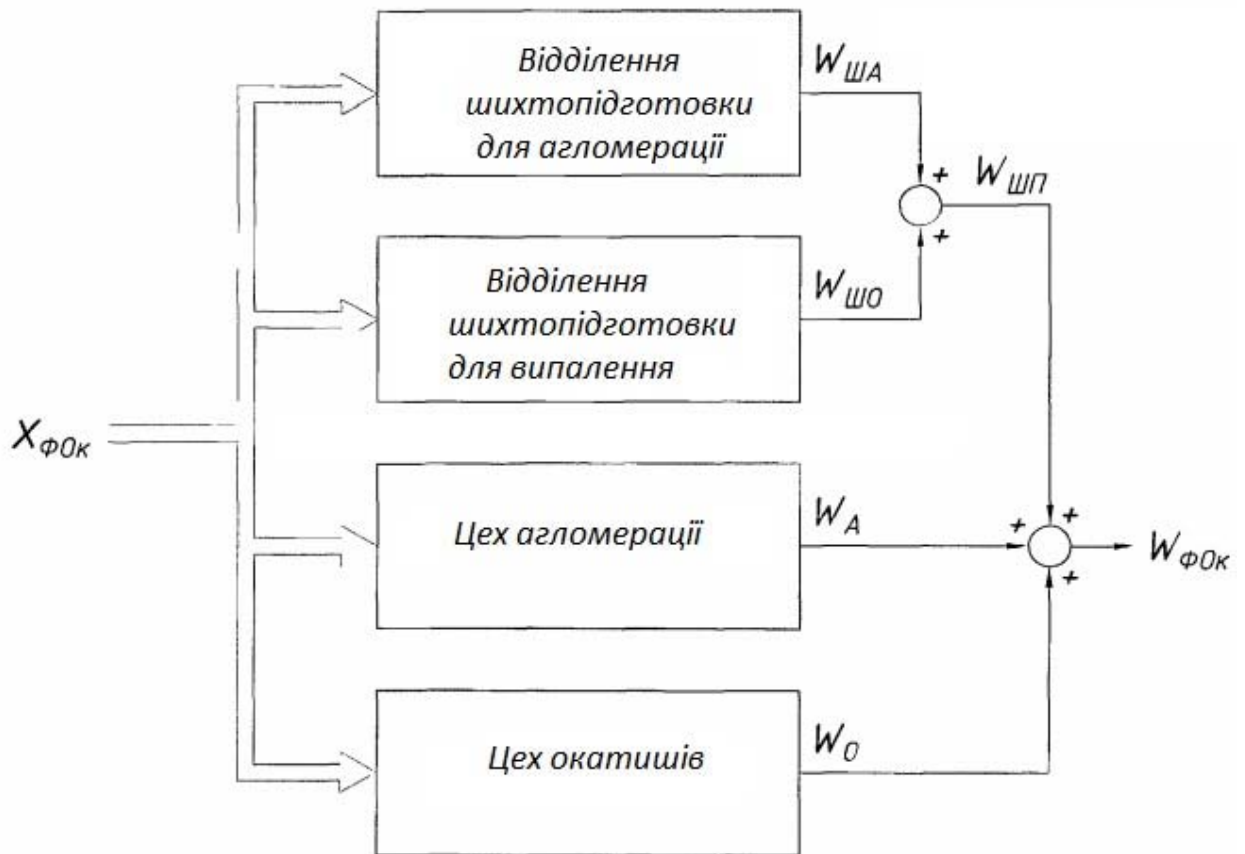
f – функція нейронної активації.

Приклади функцій активації нейронів приведені в таблиці 1.1. Найбільш поширеними є сигмоїдальні функції активації. Це пов'язано з тим, що сигмоїдальна функція є диференційованою по всій осі абсцис, що є важливим для використання алгоритмів навчання нейронної мережі. Крім того, вона має властивість підсилювати слабкі сигнали краще, ніж сильні, що запобігає насиченню мережі від потужних сигналів. Останні відповідають областям аргументів, де сигмоїд має вид пологого нахилу.

На рис. 1.2 наведена декомпозиція моделі споживання електричної енергії цехом виробництва окатишів гірничозбагачувального комбінату.

Таблиця 1.1 – Приклади функції активації нейронів.

Назва функції	Формула	Область значень
Порогова функція	$f(s) = \begin{cases} 0, & s < 0, \\ 1, & s \geq 0. \end{cases}$	$\{0\} \cup \{1,0\}$
Знакова (сигнатурна) функція	$f(s) = \begin{cases} 1, & s > 0, \\ -1, & s \leq 0. \end{cases}$	$\{-1,0\} \cup \{1,0\}$
Лінійна функція	$f(s) = ks$	$(-\infty ; +\infty)$
Напівлінійна функція	$f(s) = \begin{cases} ks, & s > 0, \\ 0, & s \leq 0. \end{cases}$	$[0; +\infty)$
Напівлінійна з насиченням функція	$f(s) = \begin{cases} 0, & s \leq 0, \\ ks, & 0 < s < 1, \\ 1, & s \geq 1. \end{cases}$	$[0;1,0]$
Раціональна (сигмоїдальна) функція	$f(s) = \frac{s}{a + s }$	$(-1,0;1,0)$
Логістична (сигмоїдальна) функція	$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-as}}$	$(0;1,0)$
Гіперболічний тангенс (сигмоїдальна)	$f(s) = \frac{e^{as} - e^{-as}}{e^{as} + e^{-as}}$	$(-1,0;1,0)$
Радіальна базисна (гауссова) функція	$f(s) = e^{-s^2}$	$(0;1,0]$



$X_{\text{Фок}}$ - Вектор вхідних змінних

$W_{\text{Фок}}$ - Загальне споживання електроенергії відділенням

Рисунок 1.2 – Декомпозиція моделі споживання електроенергії цехом виробництва окатишів гірничозбагачувального комбінату.

1.2.2. Типологія нейронних мереж.

Нейронна мережа складається із штучних нейронів, які взаємодіють між собою та із зовнішнім середовищем через зв'язки, що характеризуються певними коефіцієнтами. Нейрони мережі поділяються на три основні типи відповідно до їхніх функцій:

1. Вхідні нейрони - на ці нейрони подається вектор вхідних сигналів. Вони майже не виконують обчислювальних операцій, а лише передають інформацію від входу до виходу через зміну активації.
2. Вихідні нейрони - їхні вихідні значення являються кінцевим результатом обробки даних нейронною мережею.

3. Проміжні нейрони - ці нейрони відповідають за обробку інформації між вхідними і вихідними нейронами.

Перетворення даних, яке виконує мережа, залежить не тільки від властивостей окремих нейронів, але і від її архітектури. Важливими аспектами є топологія зв'язків між нейронами, вибір підмножин нейронів для вводу та виведення інформації, методи навчання мережі, наявність конкуренції між нейронами, а також способи керування й синхронізації інформаційних потоків між ними.

Класифікація нейронних мереж з погляду топології має наступні типи:

1. Повнозв'язні мережі (рис. 1.3 а). В таких мережах кожен нейрон пов'язаний із усіма іншими нейронами в мережі. Це забезпечує максимально можливе число взаємодій між нейронами, що підвищує можливості обробки інформації, але також ускладнює навчання та збільшує обчислювальні витрати.

2. Багатошарові (шаруваті) нейронні мережі (рис. 1.3 б):

2.1. Монотонні нейронні мережі. У таких мережах кожен шар, крім вихідного, розподіляється на два блоки — збуджуючий і гальмуючий. Відповідно, зв'язки між цими блоками поділяються на збуджуючі і гальмуючі. Це призводить до того, що вихідні сигнали нейронів знаходяться в монотонній залежності від вхідних сигналів.

2.2. Мережі без зворотних зв'язків. У таких мережах нейрони одного шару отримують сигнали, які перетворюють їх і передають наступному шару до вихідного. Зв'язки зазвичай встановлюються між нейронами q -го шару і нейронами $(q+1)$ -го шару, хоч можуть існувати й інші варіанти. Виділяють повнозв'язні мережі, де кожен нейрон q -го шару пов'язаний і кожним нейроном $(q+1)$ -го шару, і частково повнозв'язні. Типовим прикладом є мережі прямого розповсюдження, які широко застосовуються для вирішення задач регресії.

2.3. Мережі зі зворотними зв'язками. У цих мережах інформація може передаватися в напрямку назад від наступних шарів до попередніх. Такі

мережі популярні для задач розпізнавання та класифікації образів. Приклади — мережі Хопфілда та Хеммінга, які реалізують асоціативну пам'ять. Різновидами є шарувато-циклічні, шарувато-повнозв'язні та повнозв'язно-шаруваті мережі. Враховуючи, що в цій роботі важливим є вирішення задачі регресії, ці типи мереж не розглядатимуться детально.

3. Слабкозв'язні нейронні мережі (рис. 1.3в). В цих мережах нейрони розташовуються у вузлах регулярних решіток, таких як прямокутна або гексагональна. Кожен нейрон пов'язаний з обмеженим числом сусідів, залежно від типу решітки. Види решіток:

- Площа фон Неймана – нейрон, який пов'язаний з чотирма найближчими сусідами.
- Площа Голея – нейрон, що має шість сусідів.
- Площа Мура - кожен нейрон пов'язаний з вісьмома сусідами.

Нейронні мережі також класифікуються по типу структур нейронів:

- 1) Гомогенні (однорідні) мережі складаються із нейронів одного типу з єдиною функцією активації.
- 2) Гетерогенні мережі включають нейрони із різними функціями активації.

Крім того, нейронні мережі можуть бути:

- 1) Аналогові - вихідні значення нейронів неперервні.
- 2) Бінарні - нейрони мають тільки два стани — збуджений або загальмований.

Залежно від того, як змінюються стани нейронів у часі, мережі поділяють на:

- 1) Синхронні - стан змінюється одночасно тільки у одного нейрона.
- 2) Асинхронні - стан змінюється в цілій групі нейронів одночасно.

Ця різноманітність структури та типів нейронних мереж дозволяє адаптувати їх до різних завдань моделювання, в тому числі до прогнозування споживання енергії у складних системах, як-от гірничі підприємства.

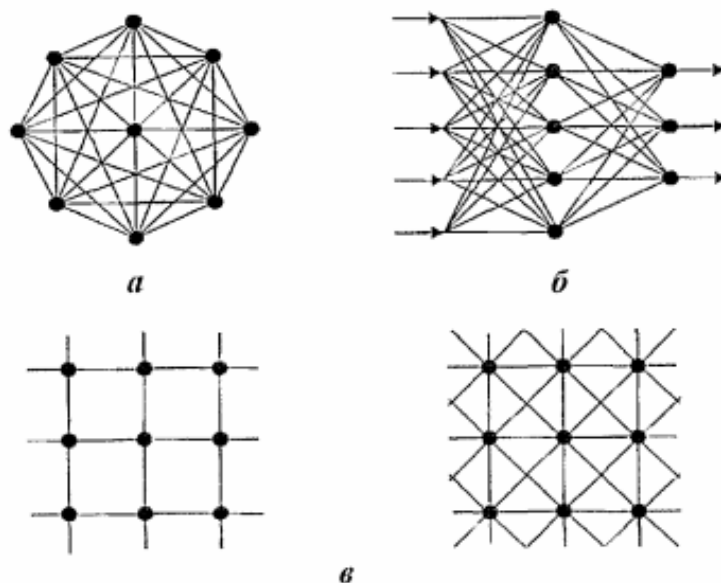


Рисунок 1.3 – Види архітектури нейронних мереж:

a – повнозв'язна мережа; *б* – багатошарова мережа з послідовними зв'язками; *в* – слабкозв'язні мережі.

Вибір структури нейронної мережі є важливим етапом, який визначає ефективність її роботи, а саме для задач прогнозування споживання енергії. При цьому враховуються такі аспекти:

- Збільшення числа нейронів. Чим більше нейронів в мережі, тим складніші закономірності вона може вивчати і відображати. Однак це також збільшує час навчання та потребує більших обчислювальних ресурсів.
- Щільність зв'язків між нейронами. Більша кількість зв'язків дозволяє мережі більш ефективно передавати інформацію між нейронами, що покращує її здатність до навчання, але це також може призвести до збільшення складності навчання і ризику перенавчання (overfitting).
- Число шарів. Глибші (багатошарові) нейронні мережі здатні краще моделювати складні залежності в даних. Однак це також підвищує час навчання та вимоги до обчислювальних ресурсів.
- Зворотні зв'язки. Їх використання збільшує можливості мережі, оскільки вона може навчатися на основі попередніх станів. Однак введення зворотних зв'язків може ускладнити навчання і привести до проблем із

динамічною стійкістю мережі, зокрема в разі надто складних або неправильно налаштованих моделей.

- Алгоритми та типи синапсів. Використання складніших алгоритмів, різних типів синапсів та функцій активації дозволяє мережі адаптуватися до різних типів задач і входів. Це підвищує її ефективність, але водночас ускладнює структуру та збільшує потребу в налаштуванні параметрів.

Отже, вибір архітектури нейронної мережі завжди є пошуком балансу між досягненням необхідної точності прогнозування та витратами ресурсів, які потрібні для її навчання та роботи. Для розв'язання задач регресії найбільш популярною являється класична багатошарова нейронна мережа з прямою передачею сигналу (багатошаровий перцептрон), яка не має зворотних зв'язків. Вона використовується як багатофакторна модель, подібна множинній регресії, і як динамічна багатофакторна модель, що нагадує ARX-модель (авторегресію з урахуванням впливаючих чинників). Основна перевага цієї моделі полягає у тому, що вона ефективна в тих випадках, коли складно описати статистичні закономірності за допомогою традиційних підходів. Крім того, мережа здатна виявляти взаємозв'язки між вхідними параметрами, це дає змогу враховувати корельовані впливаючі фактори на вході.

1.2.3. Теоретичне відображення навчання нейронних мереж.

Функціонування мережі та її активність залежать від значень синаптичних ваг та зсувів. Процес оптимізації цих параметрів називається навчанням нейронної мережі. Протягом виконання завдань мережа обчислює багатовимірну функцію декількох змінних $Y = g(X)$, де Y є вихідним вектором, а X — вхідним. Функція g належить до певного набору G . При стабільній архітектурі тип функції g визначається значеннями синаптичних ваг та зсувів, а G включає всі можливі функції, що відповідають даній архітектурі.

Нехай задача описана функцією $Y = r(X)$, яка визначається через пари вхідних і вихідних векторів. Функція помилки E вказує, наскільки близько g підходить до r . Таким чином, проблема оптимізації за допомогою нейронної мережі певної архітектури полягає в підборі певних значень синаптичних ваг і зсувів, при яких мережа реалізує функцію g , що найкраще відповідає всім парам вхідних і вихідних векторів. Процес навчання нейронної мережі є ітеративним та вимагає значних обчислювальних потужностей. Використовуючи набір навчальних прикладів та обраний метод оцінки функції помилки, завдання навчання трансформується в багатовимірну задачу оптимізації.

Для вирішення цієї задачі використовуються різні алгоритми, серед них:

- Локальна оптимізація із використанням похідних першого порядку, включаючи градієнтний метод, методи одномірної та двовимірної оптимізації в напрямку антиградієнта, метод спряжених градієнтів, а також методи, які враховують антиградієнт на кількох етапах.

- Локальна оптимізація із використанням похідних другого порядку, такі як метод Ньютона, алгоритми з розрідженими матрицями Гессе, квазіньютоніві методи, а також методи Гаусса-Ньютона та Левенберга-Марквардта.

- Стохастичні методи, що включають пошук у випадковому напрямку, імітацію відпалу, алгоритми Монте-Карло та генетичні алгоритми.

Алгоритм зворотного поширення помилки являються ітеративним градієнтним методом, який використовується для оптимізації функції помилки. Він здобув популярність в навчанні багат шарових нейронних мереж без зворотних зв'язків завдяки своїй простоті та швидкості навчання.

Цей алгоритм працює шляхом передачі сигналів помилки від вихідних нейронів до вхідних, рухаючись в напрямку, протилежному звичайному функціонуванню мережі. Це дозволяє коригувати ваги кожного нейрона, зменшуючи розбіжність між фактичним та бажаним виходом.

Відповідно до методу найменших квадратів, мінімізуємою цільовою функцією помилки являється величина:

$$E(w) = \sum_{j,k} (y_{j,k}^Q - d_{j,k})^2, \quad (1.3)$$

де j – номер нейрона в поточному шарі;

k – номер образу, який подається на вхід мережі;

$d_{j,k}$ – потрібний вихідний стан даного нейрона;

$y_{j,k}^Q$ – вихідний стан нейрона у вихідному шарі.

Обчислення функції помилки здійснюється для всіх нейронів вихідного шару і для кожного навчального прикладу. За основу методу градієнтного спуску прийнято корегування синаптичних ваг відповідно наступному виразу:

$$\Delta w_{ij}^q = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}^q}, \quad (1.4)$$

де i – номер нейрона для шару $(q-1)$;

j – номер нейрона для шару q ;

w_{ij} – ваговий коефіцієнт синаптичної зв'язки, який поєднує нейрони i та j ;

$\eta \in (0;1]$ – значення коефіцієнту швидкості навчання.

Із урахуванням (1.1), (1.2) та (1.3) та правилом диференціювання складної функції маємо:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^q} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{\partial y_j}{\partial s_j} \cdot \frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}^q}, \quad (1.5)$$

Другий множник в виразі (1.5) представляє першу похідну функції активації. Це підкреслює значення властивості диференціації функції активації на всій осі абсцис. Крім того, третій множник дорівнює виходу

нейрона попереднього шару із номером i . Перший множник виразу (1.5) можна записати таким способом:

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = \sum_r \frac{\partial E}{\partial y_r} \cdot \frac{\partial y_r}{\partial s_r} \cdot \frac{\partial s_r}{\partial y_j} = \sum_r \frac{\partial E}{\partial y_r} \cdot \frac{\partial y_r}{\partial s_r} \cdot w_{jr}^{(q+1)}, \quad (1.6)$$

де r – порядковий номер нейрона шару $(q+1)$.

Припустимо:

$$\delta_j^q = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{\partial y_j}{\partial s_j}, \quad (1.7)$$

тоді для прихованого (проміжного) шару маємо:

$$\delta_j^q = \frac{\partial y_j}{\partial s_j} \sum_r \delta_r^{(q+1)} w_{jr}^{q+1}, \quad (1.8)$$

а для вихідного шару, згідно формул (1.7) і (1.3),

$$\delta_j^Q = (y_j^Q - d_j) \frac{dy_j}{ds_j}. \quad (1.9)$$

Таким чином, вираз (1.4) можна записати наступним чином:

$$\Delta w_{ij}^q = -\eta \delta_j^q y_i^{(q-1)}. \quad (1.10)$$

Для пом'якшення різких стрибків при переміщенні по поверхні цільової функції формулу (1.10) доповнюють значенням зміни синаптичної ваги із попередньої ітерації, що забезпечує інерційність процесу:

$$\Delta w_{ij}^q(t) = -\eta(\mu \Delta w_{ij}^q(t-1) + (1-\mu) \delta_j^q y_i^{(q-1)}). \quad (1.11)$$

де μ – коефіцієнт інерційності;

t – номер поточної ітерації.

Отже, алгоритм зворотного поширення помилки можна викласти в п'яти етапах:

1. Один з навчальних образів подається на вхід мережі, після чого обчислюються значення нейронів вхідного шару в звичайному режимі.
2. Зміни ваг вихідного шару нейронної мережі обчислюються за формулами (1.9) і (1.10) (або (1.11)).

3. Зміни ваг усіх прихованих шарів розраховуються за формулами (1.8) і (1.10) (або (1.11)).
4. Виконується корекція синаптичних ваг згідно проведеним обчислень.
5. Після обробки всіх навчальних образів перевіряється величина помилки за формулою (1.3). Якщо помилка досягла прийнятного рівня, то алгоритм зупиняється.

Існують також модифікації цього алгоритму, які сприяють прискоренню навчання і допомагають уникати локальних мінімумів функції помилки. Ці модифікації пов'язані із використанням різних процедур для визначення напрямку та величини кроку. Наприклад, деякі алгоритми зворотного поширення помилки мають змінні коефіцієнти швидкості навчання і інерційності, які адаптуються під час роботи алгоритму. Також існують алгоритми адаптації, які обчислюють величину помилки не для всієї навчальної вибірки, а лиш для поточного прикладу. Крім того, в якості цільової функції помилки можна використовувати не лише суму квадратів відхилень, але і інші функції.

Розглянутий алгоритм зворотнього поширення помилки передбачає наявність зовнішньої ланки, що постачає нейронній мережі цільові вихідні образи — це алгоритм навчання із вчителем. Однак існують також методи навчання без учителя, які зазвичай використовуються для класифікації і категоризації. У таких випадках мережа сама виявляє кластери даних та формує певні вихідні образи. Користувачеві залишається лише навчитися інтерпретувати ці результати. Оскільки у даній роботі основну увагу приділено рішенням завдань регресії, алгоритми навчання без вчителя не розглядаються. Слід лише зазначити, що загальна ідея цих методів полягає в посиленні зв'язків між активованими нейронами шляхом корекції вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

ПІДРОЗДІЛОМ ГЗК

2.1. База даних для нейронної мережі.

Згідно з вищенаведеними рекомендаціями, спочатку необхідно обрати всі змінні, які, відповідно до знань у відповідній предметній області, можуть вплинути на прогнозовану величину. В цьому випадку прогнозованою величиною є споживання електричної енергії в цеху виробництва окатишів. Важливими факторами являються: сезонні коливання енергоспоживання, температура навколишнього середовища, типи днів тижня, освітленість, вологість та атмосферний тиск. Далі наведемо обґрунтування впливу кожного із цих факторів на прогнозовану величину.

Вплив температури обумовлений тим, що для нормальної життєдіяльності людей і технологічних процесів на підприємствах необхідно створення спеціальних умов, зокрема підтримка певної температури в приміщеннях. Очевидно, що витрати електроенергії на підтримку температури в приміщенні пропорційні різниці між зовнішньою температурою і цим встановленим рівнем.

Аналіз графіків електроспоживання підприємства протягом доби дає можливість виділити п'ять характерних типів споживання: понеділок, вівторок-четвер, п'ятниця, субота та неділя.

Вплив освітленості на споживання електроенергії найбільш виражений у ранкові та вечірні години. Однак варто зазначити, що цей фактор помітніше впливає на енергоспоживання у великих містах, де споживання населення може зрівнятися з промисловим. Тому можна стверджувати, що на електроспоживання промислових підприємств освітленість немає значного впливу. Крім того, більшість приміщень підприємства розташовані під

землею, тому природне освітлення складає лише невелику частку від загальної кількості.

Вологість впливає на сприйняття температури людьми, і також на теплопровідність повітря. Проте значення цього фактора, як і попереднього, стає помітним переважно у великих містах. Тому при прогнозуванні споживання електроенергії його вплив можливо не враховувати.

Атмосферний тиск і його коливання також впливають на людей. Однак, як і в попередніх випадках, у промислових містах цей фактор має незначний вплив, тому його можна ігнорувати під час прогнозування енергоспоживання підприємств.

Крім того, можна використовувати наявну інформацію про об'єкт прогнозування та доповнити перелік факторів, які впливають на споживання електроенергії в цеху виробництва окатишів. Серед таких факторів варто зазначити фактичне виробництво окатишів, номер зміни (час доби) і пуски технологічних ліній.

Вплив обсягу виробленої продукції на споживання електроенергії являється очевидним: чим більше окатишів виготовляється, тим вищі витрати електроенергії. Цей факт не потребує додаткових пояснень.

Номер зміни безпосередньо пов'язаний з часом доби. В нічні години у цеху немає працюючого персоналу, що призводить до зниження споживання електроенергії для побутових потреб, але одночасно зростають витрати на штучне освітлення, як внутрішнє, так і зовнішнє.

Запуск технологічних ліній викликає різкі коливання в споживанні електроенергії. Більше того, кількість активних технологічних ліній визначає питомі витрати електроенергії на виробництво агломерату, тож цей фактор також варто враховувати.

Також варто враховувати, що споживання електроенергії представлено у вигляді часових рядів, тому існує взаємозв'язок між його значеннями.

На підприємстві зібрано таку інформацію:

- споживання електричної енергії;

- фактичний обсяг виробництва окатишів;
- час роботи виробничого обладнання;
- графік роботи персоналу за п'ятиденним робочим тижнем.

З обласної метеостанції отримано наступні дані:

- середні, максимальні та мінімальні значення температури повітря;
- середньодобовий атмосферний тиск на рівні моря.

Метеорологічні дані зібрані із деталізацією на один день, в той час як інші параметри мають одну зміну. Загалом зібрано 4523 спостереження, що охоплюють споживання електричної енергії, фактичний обсяг виробництва окатишів і час роботи машин. З них 4382 спостереження містять середні, максимальні та мінімальні значення температури повітря, а 2860 спостережень включають середньодобове атмосферний тиск. Цей обсяг даних має забезпечити репрезентативність навчальної вибірки, тобто її здатність адекватно відображати характеристики гіпотетичної генеральної сукупності. Через великий обсяг даних у роботі наводяться лише ті спостереження, які потрібні для ілюстрації розрахунків.

Час доби можна представити номером зміни: перша зміна триває з 20:00 години попередньої доби до 8:00 години поточної, а друга зміна – з 8:00 до 20:00 години поточного дня.

Технологічне обладнання цеху має взаємозалежність, тому при зупинці будь-якого елемента в ланцюзі апаратів відключається вся технологічна лінія. Отже, час роботи окомкователів можна використовувати для моніторингу роботи технологічних ліній.

Статус дня можна визначити за тривалістю робочого часу персоналу, який працює за п'ятиденним графіком. Зазвичай робочий день триває 8 годин 15 хвилин, короткий день – 7 годин, а в вихідні дні зазначений персонал відпочиває. Ця інформація допоможе уникнути кодування цієї змінної методом 3-п.

Максимальна температура вуличного повітря зазвичай фіксується в денний час, що відповідає другій зміні, тоді як мінімальна температура

спостерігається в першій зміні. Середньодобове атмосферний тиск розглядається навмисно, щоб підтвердити його незначний вплив на електроспоживання промислового об'єкта.

тже, для подальшого аналізу враховуються такі фактори:

- кількість окатишів, вироблених за зміну;
- функціонування технологічних ліній;
- температура зовнішнього повітря;
- атмосферний тиск на рівні моря;
- статус дня;
- час доби;
- дата;
- електроспоживання в попередніх змінах.

2.2. Відбір змінних та скорочення розмірності.

Для первинного зменшення кількості незалежних змінних (предикторів) дату, що складається з числа, місяця та року, можна замінити порядковим номером дня в році. Тип дня, як вже зазначалося, варто представити у вигляді його тривалості для співробітників, які працюють за п'ятиденним робочим тижнем.

Вибір незалежних змінних, що будуть враховані, має ґрунтуватися на їх впливі на споживання електричної енергії. Сила взаємозв'язку між змінними може бути описана емпіричним кореляційним коефіцієнтом. Цей показник демонструє, яку частину варіації залежної змінної можна пояснити варіацією певної незалежної змінної. Таким чином, задача виділення найбільш значущих змінних зводиться до обчислень і порівняння емпіричних кореляційних коефіцієнтів, що характеризують взаємозв'язок відповідних незалежних змінних з прогнозованою.

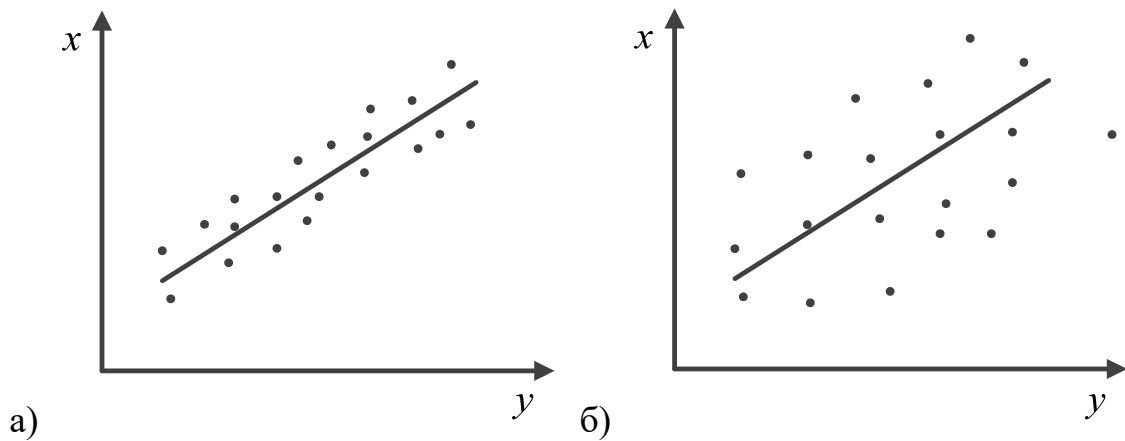


Рисунок 2.1 - Графік регресії при різній кореляції:

а – сильна кореляція; б – слабка кореляція

Реальна генеральна сукупність, що охоплює всі розглянуті фактори, складається з 2860 елементів. Для підвищення точності результатів доцільно використовувати вибірконе спостереження, оскільки зменшення обсягу даних може знизити ймовірність помилок при реєстрації. Вибіркову сукупність буде сформовано шляхом випадкового безповторного відбору 500 елементів з основної генеральної сукупності.

Для оцінки емпіричних кореляційних співвідношень використаємо метод аналітичного групування. Наприклад, розглянемо, як фактичне виробництво агломерату впливає на споживання електричної енергії.

У цьому випадку факторною ознакою являється виробництво окатишів (Q_a), а результативною ознакою – споживання електричної енергії (W_a). Дані об'єднуються в групи залежно від обсягів виробництва окатишів. В результаті отримуємо чотири групи: з обсягами від 0 до 12898, від 12900 до 25798, від 25800 до 38698 і від 38700 до 51600 тонн (табл. 2.1).

Дисперсія результативної ознаки в межах кожної групи, при відносно стабільній факторній ознаці, зумовлена факторами, які не враховані в даному групуванні. Тому внутрішньогрупову дисперсію називають залишковою.

У загальному випадку внутрішньогрупову дисперсію σ_j^2 можна розраховувати в такий спосіб:

$$\sigma_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}{n_j}, \quad (2.1)$$

де j – номер групи;

i – номер спостереження в групі;

n_j – кількість спостережень в групі;

y_{ij} – величина результативної ознаки i -го спостереження j -ї групи;

$\bar{y}_j$ – середня величина результативної ознаки j -ї групи.

Таблиця 2.1. Оцінка кореляції між виробництвом окатишів та споживанням електроенергії

Q_a, T	n_j	$\overline{W_{aj}},$ кВт·год	$\sigma_j^2,$ кВт ² ·год ²	$\overline{\sigma_{W_a Q_a}^2},$ кВт ² ·год ²	$\sigma_{\overline{W_a Q_a}}^2,$ кВт ² ·год ²	$\sigma_{W_a}^2,$ кВт ² ·год ²	$\eta_{\overline{W_a Q_a}}^2,$	$\eta_{W_a Q_a},$
0 - 12898,0	9	79831	83438550,0	971539745	2655191256	2752345228	0,9651	0,9821
12900,0 - 257990,0	256	1169182	636058010,0					
25800 - 38699,0	21	1475752	7084859560,0					
38700 - 51600,0	215	2148129	810308510,0					
0 - 51600,0	500	1581438	27523452290					

У цьому випадку результативною ознакою виступає споживання електричної енергії (W). Результати розрахунків середнього значення цієї ознаки в кожній групі та внутрішньогрупових (залишкових) дисперсій наведені в таблиці 2.1.

Після цього обчислюється середнє значення внутрішньогрупової дисперсії результативної ознаки y в рамках аналітичного групування за факторною ознакою x :

$$\overline{\sigma_{yx}^2} = \frac{\sum_{j=1}^m \sigma_j^2 n_j}{\sum_{j=1}^m n_j}, \quad (2.2)$$

де m – кількість груп.

Значення середньої величини внутрішньогрупової дисперсії для розглянутого прикладу становить, кВт²·год²:

$$\overline{\sigma_{\pi Q}^2} = \frac{83438550 \cdot 9 + 636058010 \cdot 256 + 7084859560 \cdot 21 + 810308510 \cdot 214}{9 + 256 + 21 + 214} = 971539744.$$

Міжгрупова (факторна) дисперсія результативної ознаки σ_{yx}^2 обумовлена варіацією розглянутої факторної ознаки y і обчислюється за формулою:

$$\sigma_{yx}^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (\bar{y}_j - \bar{y})^2 n_j}{\sum_{j=1}^m n_j}, \quad (2.3)$$

де $\bar{y}$ – середня величина результативної ознаки вибіркової сукупності.

Таким чином для даного прикладу міжгрупова дисперсія обчислюється, кВт²·год²:

$$\begin{aligned} \sigma_{\pi Q}^2 = & \frac{(79832 - 1581439)^2 \cdot 9 + (1169183 - 1581439)^2 \cdot 256}{9 + 256 + 21 + 214} + \\ & + \frac{(1475751 - 1581439)^2 \cdot 21 + (2148128 - 1581439)^2 \cdot 214}{9 + 256 + 21 + 214} = 2655191255. \end{aligned}$$

Правило розкладання дисперсій описується слідуючим виразом:

$$\sigma_y^2 = \overline{\sigma_{yx}^2} + \sigma_{yx}^2, \quad (2.4)$$

де σ_y^2 – величина загальної дисперсії результативної ознаки.

Загальна дисперсія споживання електричної енергії становить, кВт²·год²:

$$\sigma_y^2 = 971539744 + 2655191255 = 2752345229 .$$

Отримане значення відповідає дисперсії споживання електроенергії, обчисленим для всієї вибірки (табл. 2.1), що підтверджує коректність проведених розрахунків.

Емпіричне кореляційне співвідношення залежить від коефіцієнта детермінації η^2 , яке визначається відношенням факторної дисперсії до загальної дисперсії результативної ознаки у в.о.:

$$\eta_{yx}^2 = \frac{\sigma_{yx}^2}{\sigma_y^2} . \quad (2.5)$$

А величина емпіричного кореляційного співвідношення η знаходиться як квадратний корень цього значення, в.о.:

$$\eta_{yx} = \sqrt{\frac{\sigma_{yx}^2}{\sigma_y^2}} . \quad (2.6)$$

Отже,

$$\eta_{\pi Q}^2 = \frac{2655191255}{2752345229} = 0,965 \text{ в.о.},$$

$$\eta_{\pi Q} = \sqrt{\frac{2655191255}{2752345229}} = 0,982 \text{ в.о.}$$

Цей показник може змінюватися від нуля до одиниці: чим вищим є його значення, тим більшою є сила зв'язку між змінними. У вивчених джерелах [14] пропонується така оцінка тісноти зв'язку:

- $\eta < 0,3$ – слабкий зв'язок;
- $0,3 < \eta < 0,5$ – помітний зв'язок;

- $0,5 < \eta < 0,7$ – помірковано тісний зв'язок;
- $\eta > 0,7$ – тісний зв'язок.

Отже, можна констатувати, що отримане значення емпіричного кореляційного співвідношення свідчить про тісний зв'язок між виробництвом агломерату та споживанням електроенергії. Подібні оцінки кореляційних зв'язків між споживанням електричної енергії та іншими змінними також виконуються за допомогою формул (2.2) - (2.6). Результати цих розрахунків представлені в таблицях 2.2 - 2.10.

Дослідити спільний вплив часу роботи окомкователя № 1 і окомкователя № 2 на прогнозовану величину шляхом багатфакторного аналітичного групування неможливо, оскільки в деяких групах кількість спостережень є меншою за дві. Тому спільний вплив цих факторів аналізується через взаємозв'язок між споживанням електроенергії та загальним часом роботи обох окомкователів (табл. 2.4).

Таблиця 2.2. Оцінка кореляції між споживанням електричної енергії цехом виробництва окатишів та часом роботи окомкователя №1.

T_l , год	n_j	$\overline{W_{a_j}}$, кВт·год	σ_j^2 , кВт ² ·год ²	$\overline{\sigma_{W_a T_1}^2}$, кВт ² ·год ²	$\sigma_{\overline{W_a T_1}}^2$, кВт ² ·год ²	$\sigma_{W_a}^2$, кВт ² ·год ²	$\eta_{W_a T_1}^2$	$\eta_{W_a T_1}$
0-2	147	1103395	807535788	1793874968	958470263	2752345228	0,349	0,591
3-5	5	1521665	96230052					
6-9	4	1769906	596132241					
10-12	344	1784399	2253965244					
0-24	500	1581438	2752345228					
Примітка – зараз й надалі T_l – час роботи окомкователя №1								

Таблиця 2.3. Оцінка кореляції між споживанням електроенергії цехом виробництва окатишів та часом роботи окомкователя №2

T_2 , год	n_j	$\overline{W_{a_j}}$, кВт·год	σ_j^2 , кВт ² ·год ²	$\overline{\sigma_{W_a T_2}^2}$, кВт ² ·год ²	$\sigma_{\overline{W_a T_2}}^2$, кВт ² ·год ²	$\sigma_{W_a}^2$, кВт ² ·год ²	$\eta_{W_a T_2}^2$, в.о.	$\eta_{W_a T_2}$, в.о.
0 до 4	140	1134051	1061263807	1966037154	785308077	2752345228	0,287	0,533
5 до 8	4	1442428	978955752					
9 до 12	356	1758941	2332937698					
0 до 12	500	1581438	2752345289					
Примітка – зараз і надалі T_2 – час роботи окомкователя №2								

У таблицях 2.5 і 2.6 аналізується вплив середньодобової температури повітря (табл. 2.5) та її крайніх значень (табл. 2.6) на споживання електроенергії. Це дослідження дозволяє з'ясувати, яка інформація буде кориснішою для навчання нейронної мережі. З результатів розрахунків видно, що середньодобове значення температури повітря має більш тісний зв'язок зі споживанням електроенергії в порівнянні з її крайніми значеннями. Отже, під час навчання нейронної мережі варто зосередитися на цьому факторі.

Таблиця 2.4. Оцінка кореляції між споживанням електричної енергії цехом виробництва окатишів та сумарним часом роботи окомкователів №1 та №2.

T_{Σ} , год	n_j	$\overline{W_{af}}$, кВт·год	σ_j^2 , кВт ² ·год ²	$\sigma_{\overline{W_a T_{\Sigma}}}^2$, кВт ² ·год ²	$\sigma_{\overline{W_a T_{\Sigma}}}^2$, кВт ² ·год ²	$\sigma_{\overline{W_a}}^2$, кВт ² ·год ²	$\eta_{\overline{W_a T_{\Sigma}}}^2$, кВт ² ·год ²	$\eta_{\overline{W_a T_{\Sigma}}}$, кВт ² ·год ²
0 до 6	9	79831	8343856	172018178	2580327053	2752345228	0,939	0,968
7 до 12	264	1183943	214893116					
13 до 18	16	1521517	174634308					
19 до 24	215	2140178	125662182					
0 до 24	500	1581438	2752345228					
Примітка – Тут і надалі T_{Σ} – сумарний часпраці окомкователів №1 та №2								

Таблиця 2.5. Оцінка кореляції між споживанням електричної енергії цехом виробництва окатишів та середньодобовою температурою оточуючого середовища.

$t_{cc}, ^\circ C$	n_j	$\overline{W_{a_j}},$ кВт·год	$\sigma_j^2,$ кВт ² ·год ²	$\overline{\sigma_{W_{a_j}^2 t_{cc}}},$ кВт ² ·год ²	$\sigma_{\overline{W_{a_j}^2 t_{cc}}},$ кВт ² ·год ²	$\sigma_{W_{a_j}}^2,$ кВт ² ·год ²	$\overline{\eta_{W_{a_j}^2 t_{cc}}},$ в.о.	$\eta_{W_{a_j}^2 t_{cc}},$ в.о.
від -30,3 до -18,1	29	1562513	2024125098	2671434339	80910891	2752345228	0,029	0,172
від -18,0 до -6,1	98	1751343	2916343061					
від -6,0 до 5,9	161	1557139	3070418383					
від 6,0 до 17,9	163	1548060	2256332261					
від 18,0 до 30,0	49	1443712	26344620482					
від-30,0 до 30,0	500	1581439	2752345229					
Примітка – Тут і надалі t_{cc} – середньодобова температура оточуючого середовища								

Таблиця 2.6. Оцінка кореляції між споживанням електричної енергії цехом виробництва окатишів та крайніми значеннями температури оточуючого середовища.

$t_k, ^\circ C$	n_j	$\overline{W_{a_j}},$ кВт·год	$\sigma_j^2,$ кВт ² ·год ²	$\overline{\sigma_{W_{a_j}^2 t_k}},$ кВт ² ·год ²	$\sigma_{\overline{W_{a_j}^2 t_k}},$ кВт ² ·год ²	$\sigma_{W_a},$ кВт ² ·год ²	$\overline{\eta_{W_{a_j}^2 t_k}},$ в.о.	$\eta_{W_{a_j}^2 t_k}$ в.о.
-30,3 до -18,1	26	1690366	2263518372	2711469321	40875908	2752345229	0,0151	0,122
-18,0 до -6,1	92	1635194	2862759830					
-6,0 до 5,9	178	1620609	2914094453					
6,0 до 17,9	154	1523521	2499432197					
18,0 до 30,0	50	1464839	2597758141					
-30,0 до 30,0	500	1581439	2752345229					
Примітка – Тут і надалі t_k – максимальна температура середовища вдень та мінімальна вночі								

Таблиця 2.7. Оцінка кореляції між споживанням електричної енергії цехом виробництва окатишів та атмосферним тиском на рівні моря.

$\overline{p}$, гПа	n_j	$\overline{W_{a_j}}$, кВт·год	σ_j^2 , кВт ² ·год ²	$\overline{\sigma_{W_{aP}}^2}$, кВт ² ·год ²	$\sigma_{\overline{W_{aP}}}^2$, кВт ² ·год ²	$\sigma_{W_a}^2$, кВт ² ·год ²	$\eta_{W_{aP}}^2$, в.о.	$\eta_{W_{aP}}$, в.о.
970,0 до 993,0	6	1281599	4468380958	2723949036	28396197	2752345228	0,010	0,102
993,1 до 1004,0	58	1548648	2273190960					
1004,1 до 1021,0	296	1562901	2761917376					
1021,0 до 1038,0	124	1636854	2781865772					
1038,1 до 1055,3	16	1726246	2552516049					
970 до 1055,3	500	1581439	2752345229					
Примітка – Тут і далі p – атмосферний тиск на рівні моря								

Таблиця 2.8. Оцінка кореляції між споживанням електричної енергії цехом виробництва окатишів і статусом дня.

T_D , год	n_j	$\overline{W_{a_j}}$, кВт·год	σ_j^2 , кВт ² ·год ²	$\overline{\sigma_{W_{aT_D}}^2}$, кВт ² ·год ²	$\sigma_{\overline{W_{aT_D}}}^2$, кВт ² ·год ²	$\sigma_{W_a}^2$, кВт ² ·год ²	$\eta_{W_{aT_D}}^2$, в.о.	$\eta_{W_{aT_D}}$, в.о.
0	165	1573112	2741705663	2744261392	8083839	2752345228	0,0031	0,0541
7	62	1656874	2662399335					
8,25	273	1569342	2764397446					
від 0 до 8,25	500	1581438	2752345228					
Примітка – Тут і далі T_D –значення статусу дня								

Таблиця 2.9. Оцінка кореляції між споживанням електричної енергії цехом виробництва окатишів та часом доби.

i_{3M}	n_j	$\overline{W_{a_j}}$ кВт·год	σ_j^2 кВт ² ·год ²	$\overline{\sigma_{W_{a^{i_{3M}}}}^2}$ кВт ² ·год ²	$\sigma_{\overline{W_{a^{i_{3M}}}}}^2$ кВт ² ·год ²	$\sigma_{W_a}^2$ кВт ² ·год ²	$\eta_{W_{a^{i_{3M}}}}^2$ в.о.	$\eta_{W_{a^{i_{3M}}}}$ в.о.
1	257	1575735	2692020595	2752001221	344009	2752345229	0,0002	0,0112
2	243	1587472	2815437522					
1,2	500	1581438	2752345228					
Примітка – Тут і далі i_{3M} – номер(індекс) зміни								

Таблиця 2.10. Оцінка кореляції між споживанням електричної енергії цехом виробництва окатишів та номером дня року.

i_d	n_j	$\overline{W_{a_j}}$, кВт·год	σ_j^2 , кВт²·год²	$\overline{\sigma_{W_{a^{i_d}}}^2}$, кВт²·год²	$\sigma_{\overline{W_{a^{i_d}}}}^2$, кВт²·год²	$\sigma_{W_a}^2$, кВт²·год²	$\eta_{W_{a^{i_d}}}^2$, в.о.	$\eta_{W_{a^{i_d}}}$, в.о.
1 до 61	68	1689579	2383607865	2651655654	100689573	2752345228	0,0371	0,1912
62 до 122	86	1656335	2327853465					
123 до 183	87	1402743	1796250288					
184 до 244	81	1499438	2474066706					
245 до 305	91	1614276	4320731686					
306 до 366	87	1643585	2456176248					
1 до 366	500	1581438	2752345229					
Примітка – Тут і далі i_d –порядковий номер дня в році								

Для аналізу впливу кількох факторів на прогнозовані величини створюють багатофакторне аналітичне групування. Найпростіший підхід до формування такого групування полягає в об'єднанні даних у групи спочатку за однією факторною ознакою, а потім, всередині кожної з цих груп, — за другою ознакою, і так далі. Однак варто зазначити, що використання більше ніж двох-трьох факторів у цьому процесі не рекомендується, оскільки це призводить до розширення таблиць і зменшення кількості спостережень у підгрупах, що впливає на достовірність отриманих результатів. У джерелі [2] вказується, що для досягнення надійного результату слід формувати не менше трьох груп, у кожній з яких має бути не менше п'яти спостережень.

Крім того, існують методи багатомірної класифікації, які допомагають зберегти складність опису груп, водночас усуваючи недоліки комбінаційного підходу, але в даній роботі ці методи не розглядаються.

У цій роботі за допомогою багатофакторного групування аналізується одночасний вплив статусу дня (тривалості зміни персоналу цеху на п'ятиденному робочому тижні) та часу доби (номера зміни) на споживання електричної енергії (табл. 2.11). Спочатку вибіркова сукупність ділиться на дві основні групи за номером зміни. Потім кожен з цих груп further розбивають на три підгрупи відповідно до тривалості зміни персоналу. Метод оцінки кореляції в рамках багатофакторного аналітичного групування подібний до раніше описаного, при цьому підгрупа, сформована за останньою факторною ознакою, розглядається як група спостережень.

Варто зазначити, що в [2] підкреслюється важливість забезпечення рівності інтервалів зміни факторної ознаки в групах. Проте під час аналізу зв'язку між часом роботи кожного окомкователя та споживанням електроенергії було відступлено від цієї рекомендації. Це зумовлено нерівномірним розподілом значень часу роботи окомкователя, які більшою мірою зосереджені на крайніх значеннях, що призводить до недостатньої заповненості груп у центральній частині інтервалу загальної зміни фактора.

Таблиця 2.11 - Оцінка спільної кореляції часу доби та статусу дня зі споживанням електричної енергії цехом виробництва окатишів.

Фактори		n_j	$\overline{W_{a_j}}$	σ_j^2	$\overline{\sigma_{W_{a^{i_{зм}}T_{д}}}}^2$	$\sigma_{\overline{W_{a^{i_{зм}}T_{д}}}}^2$	$\sigma_{W_a}^2$	$\eta_{\overline{W_{a^{i_{зм}}T_{д}}}}^2$	$\eta_{W_{a^{i_{зм}}T_{д}}}^2$
$i_{зм}$	$T_{д},$ год		кВт·год	кВт ² ·год ²	кВт ² ·год ²	кВт ² ·год ²	кВт ² ·год ²	в.о.	в.о.
1	0	85	1578279	2558925128	2735317797	17027434	2752345228	0,0061	0,078
	7	34	1580528	3182982264					
	8,25	138	1572988	2652866282					
2	0	80	1567621	2935325021					
	7	28	1749576	1873553649					
	8,25	135	1565611	2878131959					
В цілому		500	1581438	2752345228					

Оцінка надійності виявленого кореляційного зв'язку передбачає перевірку статистичної гіпотези про відсутність зв'язку в дійсності, тобто те, що його наявність могла бути випадковою [2]. Для цього необхідно обчислити ймовірність того, що коефіцієнт детермінації, який характеризує зв'язок між розглянутими змінними, може бути рівним нулю.

Кожен параметр вибіркової сукупності є випадковою величиною. Якщо провести безкінечну кількість вибірок однакового обсягу з однієї й тієї ж генеральної сукупності, результати окремих вибірок утворять ряд значень. При великій кількості елементів у вибірці (вважається, що вибірка з ста та більше елементів є достатньою) її параметри розподіляються за нормальним законом, незалежно від характеру генеральної сукупності. У такому випадку функція щільності ймовірності визначається рівнянням Лапласа-Гаусса, і функція щільності ймовірності нормованого відхилення досліджуваного параметра також описується цим рівнянням:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}. \quad (2.7)$$

де t – величина нормованого відхилення досліджуваного параметра сукупності.

Нормоване відхилення t є співвідношенням між різницею аналогічних параметрів вибіркової та генеральної сукупності і середньою помилкою цього параметра для вибіркової сукупності, тобто в цьому випадку:

$$t = \frac{\eta_s - \eta_{ген}}{s_\eta}, \quad (2.8)$$

де η_s – кореляційне відношення, яке обчислене із вибіркової сукупності, в.о.;

$\eta_{ген}$ – кореляційне відношення, яке обчислене із генеральної сукупності в.о.;

s_η – величина середньої помилки кореляційного відношення за всіма вибірковими сукупностями, в.о.

Коефіцієнт детермінації є вибірковою часткою, оскільки він відображає пропорцію варіації результативної ознаки, яка пояснюється варіацією факторної ознаки, тому середня помилка s_η , в.о., із урахуванням виду вибірки може бути порашована за виразом:

$$s_\eta = \sqrt{\frac{\eta_a^2(1-\eta_a^2)(N-n)}{n(N-1)}}, \quad (2.9)$$

де N – величина обсягу генеральної сукупності, од.;

n – величина обсягу вибіркової сукупності, од.

Ймовірність того, що нормоване відхилення буде приймати значення в деякому інтервалі, може визначатися як інтеграл від виразу (2.8), в.о.:

$$p(t_1 < t < t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (2.10)$$

де t_1 – нижнє крайнє значення інтервалу нормованих відхилень, в.о.;

t_2 – верхнє крайнє значення інтервалу нормованих відхилень в.о.

Отже, критерієм надійності для встановлення зв'язку може служити нормоване відхилення кореляційного коефіцієнта від нульового значення. $t_{\text{крит}}$, в.о., тобто на підставі виразу (2.8):

$$t_{\text{крит}} = \frac{\eta_a^2}{s_\eta}. \quad (2.11)$$

Для оцінки надійності кореляційного зв'язку між змінними в практиці використовують наступні кроки:

1. Спочатку за формулою (2.9) обраховують середню помилку емпіричного кореляційного коефіцієнта, а потім за формулою (2.11) — значення критерію надійності кореляційного зв'язку.

2. Визначають рівень значимості, що є максимально допустимою ймовірністю того, що кореляційне співвідношення генеральної сукупності дорівнює нулю. Якщо ймовірність перевищує рівень значимості, гіпотеза про

випадковий зв'язок не відхиляється. Зазвичай рівень значимості становить 0,05, 0,01 або 0,001.

3. Обчислюють рівень довіри до отриманого за вибірковою сукупністю значення кореляційного співвідношення. У цьому випадку рівень довіри є мінімальною допустимою ймовірністю того, що нульове значення кореляційного коефіцієнта не входить у довірчий інтервал, що дозволяє відхилити гіпотезу про відсутність зв'язку.

Якщо ця ймовірність менша, то припущення про відсутність зв'язку залишається в силі. Згідно з наведеними визначеннями рівнів довіри та значимості, ці події є несумісними та формують повну групу, тому:

$$P_{\text{дов}} = 1 - p_o, \quad (2.12)$$

де $P_{\text{дов}}$ – рівень довіри, у в.о.;

p_o – рівень значимості, у в.о.

4. По рівню довіри за допомогою таблиць величин інтеграла (2.10) визначають межі довірчого інтервалу нормованих відхилень емпіричного кореляційного коефіцієнта. Оскільки при нормальному розподілі значень параметра середнє нормованого відхилення наближається до нуля, довірчий інтервал можна описати лише однією — позитивною — межею $t_{\text{дов}}$. В даному випадку величина інтеграла (2.10) визначається на інтервалі від $-t_{\text{дов}}$ до $t_{\text{дов}}$.

5. Встановлюють висновок про надійність встановленого кореляційного зв'язку. Якщо нормоване відхилення емпіричного коефіцієнта від нуля входить у довірчий інтервал, це свідчить про те, що ймовірність випадкового зв'язку перевищує рівень значимості. Якщо це значення виходить за межі довірчого інтервалу, то ймовірність, що емпіричний коефіцієнт генеральної сукупності дорівнює нулю, не перевищує встановлений рівень значимості, що дозволяє відхилити гіпотезу про відсутність зв'язку.

Для обчислення граничного відхилення досліджуваного параметра необхідно скористатися визначенням нормованого відхилення.

Так, на підставі виразу (2.8), визначити граничне відхилення коефіцієнта детермінації Δ_η , в.о., можна в такий спосіб:

$$\Delta_{\eta^2} = t_{\text{доє}} s_{\eta^2}. \quad (2.13)$$

Наприклад, оцінимо надійність встановлення зв'язку між споживанням електричної енергії та виробництвом окатишів. Коефіцієнт детермінації для цих змінних дорівнює 0,965 (табл. 2.1).

Середня помилка даного параметра з урахуванням виду вибірки відповідно виразу (2.9) складе:

$$s_{\eta^2} = \sqrt{\frac{0,965 \cdot (1 - 0,965) \cdot (2860 - 500)}{500 \cdot (2860 - 1)}} = 0,007 \text{ в.о.}$$

Значення критерію надійності для встановлення кореляційного зв'язку — це нормоване відхилення коефіцієнта детермінації від нульового значення, обчислене згідно з формулою (2.11):

$$t_{\text{крит}}^{\eta^2} = \frac{0,965}{0,007} = 128,66 \text{ в.о.}$$

Задамося рівнем значимості $p_o = 0,01$ в.о., тоді рівень довіри відповідно формулі (2.12) складе:

$$P_{\text{доє}} = 1 - 0,01 = 0,99 \text{ в.о.}$$

За допомогою таблиць значення інтеграла (2.10) визначаємо межі довірчого інтервалу, відповідно до прийнятого рівня довіри. В даному випадку вираз (2.10) дорівнює 0,99 при $t_{\text{доє}}=2,58$ в.о. Таким чином, нормоване відхилення емпіричного кореляційного коефіцієнта, що характеризує зв'язок між споживанням електроенергії та виробництвом окатишів, не входить у довірчий інтервал, що відповідає обраному рівню значимості. Отже,

ймовірність того, що емпіричне кореляційне співвідношення дорівнює нулю, становить менше 0,01.

Граничне відхилення емпіричного кореляційного співвідношення на відміну від приведенного в табл. 2.1 відповідно з формулі (2.13) становить:

$$\Delta_{\eta_{aQ_a}^2} = 2,58 \cdot 0,007 = 0,019 \text{ в.о.}$$

Аналогічні оцінки надійності встановлення зв'язку інших незалежних змінних зі споживанням електроенергії також були проведені. Результати розрахунків представлені в табл. 2.12. Дані з цієї таблиці свідчать про наявність 1% або більше ймовірності того, що зв'язок між споживанням електричної енергії цехом виробництва окатишів з атмосферним тиском, статусом дня та часом доби був встановлений випадково. Для інших змінних ця ймовірність не перевищує 1%. Остаточне рішення щодо видалення цих змінних з навчальної множини буде ухвалене після експериментів із узагальнено-регресійними мережами.

Таблиця 2.12 - Оцінка надійності встановлення зв'язку між прийнятими до розгляду незалежними змінними й прогнозованою величиною.

Показник	Значення, у в.о.	s_{η} , в.о.	$t_{\text{крит}}$, в.о.	$t_{\text{дов}}$, в.о.	Δ_{η} , в.о.
$\eta_{W_a Q_a}^2$	0,9650	0,0070	128,660	2,5800	0,0190
$\eta_{W_a T_1}^2$	0,3480	0,0190	17,990	2,5800	0,0500
$\eta_{W_a T_2}^2$	0,2860	0,0180	15,560	2,5800	0,0470
$\eta_{W_a T_{\Sigma}}^2$	0,9380	0,0100	95,3200	2,5800	0,0250
$\eta_{W_a t_{cc}}^2$	0,0290	0,0070	4,2800	2,5800	0,0180
$\eta_{W_a t_k}^2$	0,0150	0,0050	3,0200	2,5800	0,0130
$\eta_{W_a P}^2$	0,0100	0,0040	2,5100	2,5800	0,0110
$\eta_{W_a T_{\text{дл}}}^2$	0,0010	0,0010	0,8900	2,5800	0,0040
$\eta_{W_a i_{234}}^2$	0,0003	0,0010	0,4000	2,5800	0,0020
$\eta_{W_a i_{\text{дл}}}^2$	0,0370	0,0080	4,8000	2,5800	0,020
$\eta_{W_a i_{234} T_{\text{дл}}}^2$	0,0030	0,0020	1,3200	2,5800	0,0060
Примітка – Значення $t_{\text{крит}}$ обчислено для рівня значимості 0,01 в.о.					

Слід зазначити, що виробництво окатишів та час роботи окомкователів мають сильну кореляцію. Це підтверджується даними табл. 2.13, де представлені результати розрахунків емпіричного кореляційного співвідношення для цих змінних на основі попередньої вибірки. Отже, ці дані містять значну кількість спільної інформації.

Проте, при стабільному виробництві окатишів споживання електроенергії може змінюватися через варіації часу роботи окомкователів. Наприклад, з літератури відомо, що питома витрата електроенергії при використанні двох окомкователів нижча, ніж при роботі одного. У свою чергу, при незмінному часі роботи окомкователів можливі зміни в споживанні електроенергії, наприклад, через варіацію швидкості обертання барабанів або чаші охолоджувача, що вплине на кількість готових окатишів.

Таким чином, повноцінна заміна цих змінних одна однією неможлива, і рішення про виключення будь-якої з них із навчальної множини буде ухвалене під час моделювання із узагальнено-регресійними мережами. Як було зазначено раніше, ці мережі особливо страждають від «прокляття розмірності».

Таблиця 2.13 - Оцінювання кореляції між виробництвом окатишів та загальним часом роботи окомкователів №1 і №2

T_{Σ} год	n_j	$\overline{Q_{a_j, T}}$	$\sigma_{j, T}^2$	$\overline{\sigma_{QaT_{\Sigma}}^2}$	$\sigma_{\overline{QaT_{\Sigma}}}^2$	$\sigma_{Q_{\Sigma}}^2$	$\eta_{QaT_{\Sigma}}^2$ в.о.	$\eta_{QaT_{\Sigma}}$ в.о.
0-6	9,0	0,0	0,0	86402	1416413	1502814	0,9431	0,9710
7-12	265,0	24116,0	998834,0					
13-18	12,0	26143,0	645247,0					
19-24	214,0	46604,0	745662,0					
0-24	500,0	33356,0	15028130,0					

2.3. Вилучення викидів та перепроцесування.

Найпростіший спосіб виявлення викидів — це візуальний аналіз діаграм розсіювання. Загалом, діаграма розсіювання представляє собою набір точок, що концентруються поблизу гіперповерхні в просторі,

розмірність якого відповідає кількості аналізованих змінних. Існують також специфічні типи діаграм розсіювання, проте в цій роботі розглядається лише звичайна діаграма. При візуальному аналізі таких діаграм зазвичай беруть до уваги не більше трьох змінних. Зміна кута зору на тривимірній діаграмі може виявитися корисним способом для виявлення структури, яка стає помітною лише під певним кутом повороту скупчення точок.

Споживання електроенергії має істотний зв'язок лише з кількістю вироблених окатишів і часом роботи окомкователів, тоді як з іншими змінними цей зв'язок є слабким (табл. 2.11). Тому доцільно зосередитися на видаленні викидів лише для цих змінних, адже виявити викиди в інших буде складно, і вони не вплинуть на результати навчання. Отже, достатньо створити одну тривимірну діаграму розсіювання.

Тривимірна діаграма розсіювання, що показує споживання електроенергії в залежності від виробництва окатишів і сумарного часу роботи окомкователів, створена за допомогою графічних можливостей системи MATLAB. Для цього в робоче середовище MATLAB були введені вектори Q, T і W, які містять 4382 послідовних значення вироблених окатишів, сумарного часу роботи окомкователів та споживання електроенергії відповідно. Результатом виконання програми є діаграма, представлена на рис. 2.2. На осі абсцис відображені значення вироблених окатишів, на осі ординат — сумарний час роботи окомкователів, а на осі аплікату — значення споживання електричної енергії. Обертання діаграми за допомогою інструмента Rotate 3D дозволяє побачити, що точки зосереджуються поблизу певної опуклої поверхні.

Точки, які значно віддалені від цієї поверхні, є викидами. Їх можна позначити за допомогою інструмента Data Cursor і експортувати в робоче середовище MATLAB у вигляді структури, що містить набір структур, які описують вибрані точки. Кожна з цих структур має поля Target, Position і DataIndex. У цьому випадку особливий інтерес становлять два останні поля: у полі Position знаходиться вектор координат виділеної точки, а в полі

DataIndex — порядковий номер точки на діаграмі (номер точки спостереження).

Під час обертання діаграми розсіювання було виділено вісім точок, які найбільше віддалені від загального скупчення (рис. 2.3). Інформація про ці точки була збережена в робочому середовищі MATLAB у вигляді структури з ім'ям *surges* за допомогою згаданого інструмента. На даному етапі викиди не видаляються; це буде виконано після формування векторів попередніх значень споживання електричної енергії в цеху.

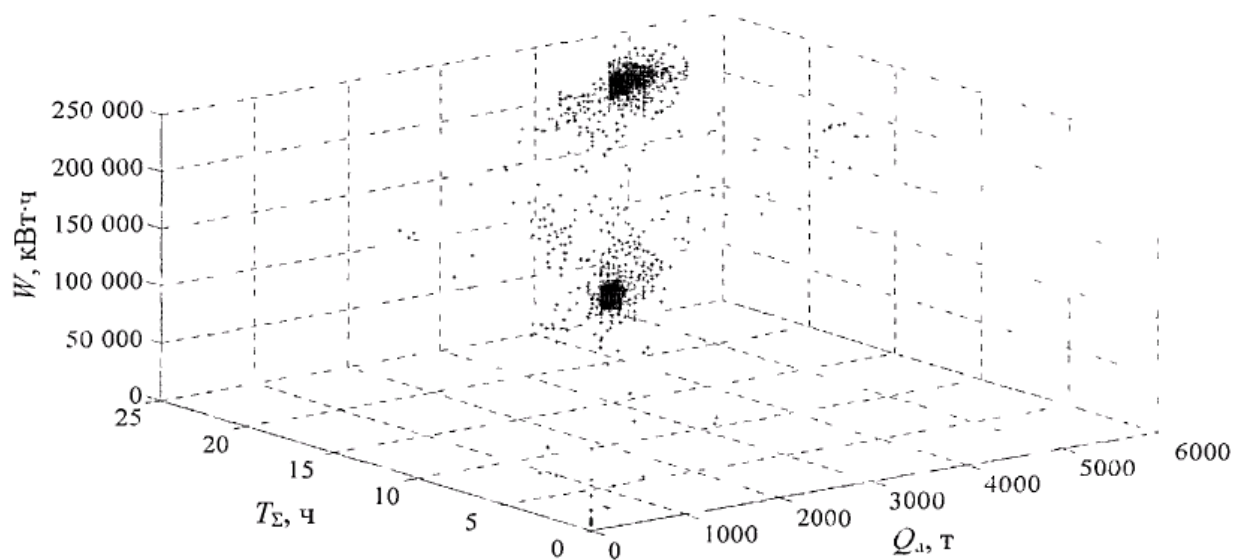


Рисунок 2.2 - Діаграма розсіювання споживання електричної енергії в цеху виробництва окатишів в залежності від загальної роботи окомкователів та числа вироблених окатишів.

Згідно з рекомендаціями підрозділу 1.3, для прискорення навчання нейронної мережі всі вхідні змінні потрібно привести до одного діапазону, а вихідні — до значень, які може приймати функція активації нейронів вихідного шару. Важливо врахувати, що точність обчислень обмежена, тому значне зменшення діапазону зміни якоїсь змінної може призвести до зниження точності результатів.

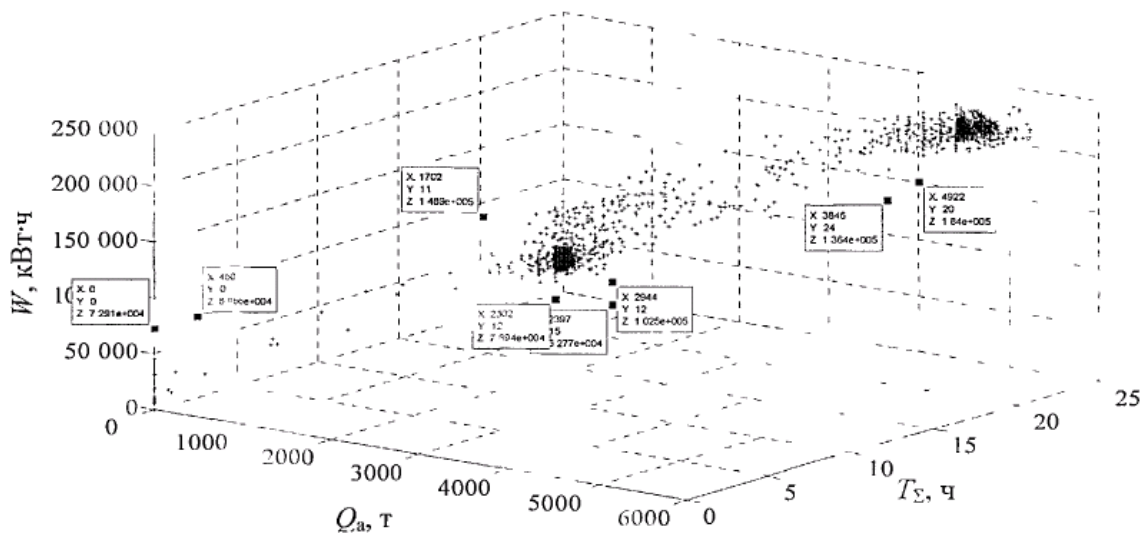


Рисунок 2.3 - Діаграма розсіювання викидів.

Протягом спостережень значення споживання електричної енергії варіювалося від 0 до 246467,09 кВт·год. Межа логістичної функції активації (так само як і раціональної функції активації та гіперболічного тангенсу) при прагненні до нескінченності зваженої суми входів дорівнює одиниці, але це значення функція активації не може приймати. Тому, щоб перевести абсолютні значення споживання електроенергії у відносні одиниці, необхідно вибрати базове значення, яке перевищує 246467,09 кВт·год. Це також забезпечить можливість екстраполяції з боку мережі.

Тому за базисне значення споживання електроенергії цехом виробництва окатишів протягом однієї зміни приймаємо:

$$W_a^{\delta} = 3,0 \cdot 10^5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

До масштабування вхідних змінних не пред'являється таких суворих вимог, як до вихідних, оскільки воно виконує лише функцію прискорення навчального процесу. Під час навчання відбудеться корекція значень коефіцієнтів синаптичних ваг. Операція лінійного масштабування змінної описується виразом:

$$x_* = \frac{x - b}{x_{\delta}}, \quad (2.14)$$

де x_* – величина масштабованої змінної, яка виражається в в.о.;

x – значення масштабованої змінної, в абсолютних одиницях;

b – величина зсуву в абсолютних одиницях;

x_0 – базисна величина значення масштабованої змінної в абсолютних одиницях.

Коефіцієнти даного виразу для різних змінних та значень, що визначаються цією змінною протягом періоду спостережень наведені в табл. 2.14.

Таблиця 2.14 - Масштабування змінних

Змінна величина	Одиниці вим.	Набуваємі значення величин	Значення зміщення	Базисне значення
W_a	кВт·год	[0;246467,091]	0	$3,0 \cdot 10^5$
Q_a	т	[0;5411,0]	0	$6,0 \cdot 10^3$
T_1	год	[0;12,0]	0	12,0
T_2	год	[0;12,0]	0	12,0
t_{cc}	°C	[-34,8;27,11]	40,0	75,0
T_d	год	$\{0\} \cup \{7\} \cup \{8,252\}$	0	8,25
i_{zm}	-	$\{1\} \cup \{2\}$	-1,0	1,0
i_d	-	[1;367]	0	366,0

2.4. Моделювання в полі узагальнено-регресійних мереж.

Суть експериментів з узагальнено-регресійними мережами полягає у виявленні та виключенні з навчальної вибірки малозначимих змінних для зменшення розмірності мережі та підвищення точності прогнозу. Було зазначено, що кореляційний зв'язок між споживанням електроенергії та атмосферним тиском, статусом дня та номером зміни є слабким. Проте дані про статус дня та номер зміни все ж увійшли до навчальної вибірки для оцінки їх впливу на точність прогнозування.

Спочатку всі 4382 спостереження були введені в середовище MATLAB у вигляді структури з назвою Basea. Після масштабування змінних за формулою (2.14) та згідно з таблицею 2.14, ці дані були переписані в структуру Dataa. Далі було додано поле lag, що містить десять векторів

послідовних значень споживання електроенергії цеху виробництва окатишів, отриманих шляхом зсуву вихідного вектора на величину запізнювання від 1 до 10 елементів.

Наступним етапом є видалення елементів векторів, номери яких зафіксовані в полі *DataIndex* структури *surges*. При цьому потрібно врахувати, що в масиви попередніх значень, записаних у полі *lag*, потрапили й значення викидів, тому в усіх полях структури *Dataa* слід видалити елементи з номерами, вказаними в *surges*, а також наступні 10 елементів. Після цього у всіх полях видаляються перші десять елементів, а в полі *lag* – ще й останні десять елементів. Це пов'язано з тим, що перші й останні десять значень у полі *lag* містять некоректні дані.

Опис отриманої в результаті викладених перетворень структури *Dataa* приведений табл. 2.15.

Таблиця 2.15 - Опис структури *Dataa*

Назва поля	Зміст
<i>Q</i>	Виробництво окатишів протягом зміни
<i>T_day</i>	Статус дня
<i>Time1</i>	Час роботи окомкователя №1 протягом зміни
<i>Time2</i>	Час роботи окомкователя №2 протягом зміни
<i>W</i>	Споживання електричної енергії цехом виробництва окатишів протягом зміни
<i>i_change</i>	Номер зміни
<i>i_day</i>	Порядковий номер дня року
<i>i_cc</i>	Середня температура повітря за добу
<i>lag{1}</i>	Споживання електроенергії цехом виробництва окатишів за одну попередню зміну
<i>lag{2}</i>	Споживання електроенергії цехом виробництва окатишів за дві попередні зміни
<i>lag{3}</i>	Споживання електроенергії цехом виробництва окатишів за три попередні зміни
<i>lag{4}</i>	Споживання електроенергії цехом виробництва окатишів за чотири попередні зміни
<i>lag{5}</i>	Споживання електроенергії цехом виробництва окатишів за п'ять попередніх змін
<i>lag{6}</i>	Споживання електроенергії цехом виробництва окатишів за шість попередніх змін
<i>lag{7}</i>	Споживання електроенергії цехом виробництва окатишів за сім попередніх змін
<i>lag{8}</i>	Споживання електроенергії цехом виробництва окатишів за вісім попередніх змін
<i>lag{9}</i>	Споживання електроенергії цехом виробництва окатишів за дев'ять попередніх змін
<i>lag{10}</i>	Споживання електроенергії цехом виробництва окатишів за десять попередніх змін

Структура *Dataa* слугує основою для створення навчальної та контрольної вибірок. У MATLAB навчальна вибірка повинна містити дві матриці: вхідну та цільову. Рядок вхідної матриці представляє вектор значень для вхідної змінної, тоді як цільова матриця містить прогнозовану

змінну. Отже, поля структури Dataa, відповідно до рекомендацій [18], випадковим чином розміщуються в рядках матриці Inputs, яка має розмірність 17x4284 елемента. Поле W структури Dataa записується в цільову матрицю Output.

Контрольна вибірка формується шляхом випадкового видалення стовпців з матриці Inputs, які характеризують певний образ.

В результаті отримуємо навчальну вибірку з 3784 прикладів та контрольну вибірку з 500 прикладів. Після формування обох вибірок можна переходити до експериментів з узагальнено-регресійними нейронними мережами.

Метою експериментів є визначення оптимального набору змінних для навчальної вибірки класичної нейронної мережі прямого поширення. Під час експериментів важливо оцінювати точність прогнозів, які генерує навчена узагальнено-регресійна мережа. Таким чином, критерієм якості прогнозів, що надає нейронна мережа, слугує залишкова дисперсія фактичного споживання електроенергії, що не може пояснюватися нейронною мережею s_w^2 , кВт²·год²:

$$s_w^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{W}_* - W_*)^2 (W^6)^2}{N}, \quad (2.15)$$

де $\bar{W}_*$ – величина споживання електричної енергії на виході з нейронної мережі, в.о.;

W_* – масштабоване фактичне значення споживання електричної енергії, у в.о.;

W^6 – базисне значення споживання електроенергії, кВт·год;

N – кількість елементів контрольної множини.

Результати експериментів представлені в табл. 2.16.

Експерименти з узагальнено-регресійними нейронними мережами (табл. 2.16) повністю підтверджують оцінки кореляційного зв'язку між змінними,

зроблені в розділі 2.2 (табл. 2.12). При видаленні незалежних змінних, які мають сильний кореляційний зв'язок з прогнозованою величиною, спостерігається значне зниження точності прогнозу. Натомість, вилучення малозначимих змінних призводить до підвищення точності. Дані табл. 2.16 також підтверджують, що комбінація змінних Q_a , T_1 і T_2 містить важливу інформацію, якої немає в змінній Q_a або в T_1 і T_2 окремо, тому виключення будь-якої з цих змінних негативно впливає на точність прогнозу.

Зменшення кількості значень уряді, що раніше враховувались, також призводить до зниження точності прогнозу. Відповідно, можна прийняти рішення, що навчальна множина має включати наступні незалежні змінні:

- фактична кількість вироблених окатишів за зміну;
- час роботи окомкователів;
- середньодобова температура вуличного повітря;
- порядковий номер дня в році;
- значення споживання електроенергії за попередні десять змін.

Таблиця 2.16 - Результати експерименту із узагальнено-регресійними нейронними мережами

Q_a	T_1	T_2	t_{cc}	T_d	i_{zm}	i_d	Максимальний зсув ряда τ_{max} , од.	Залишкова дисперсія, кВт ² ·год ²
+	+	+	+	+	+	+	10,0	68502668,51
-	+	+	+	+	+	+	10,0	75673257,11
+	-	-	+	+	+	+	10,0	410452940,21
+	+	+	-	+	+	+	10,0	75712754,01
+	+	+	+	-	-	+	10,0	66817262,32
+	+	+	+	-	-	-	10,0	64645134,61
+	+	+	+	-	-	+	9,0	65388166,23
Примітка – «+» означає наявність фактора в навчальній множині, а «-» - відсутність								

2.5. Побудова архітектури нейронної мережі.

Як зазначалося раніше, прогнозування споживання електричної енергії буде виконуватись за допомогою класичної багат шарової нейронної мережі

з прямим поширенням сигналу, без зворотних зв'язків. Цей тип мереж отримав найбільше застосування для задач регресії. Спершу розглянемо мережу з одним прихованим шаром.

Для об'єктивної оцінки точності прогнозування необхідно мати тестову множину, що включає значення викидів. Окрім цього, для навчання нейронної мережі та експериментів з її архітектурою знадобляться навчальна та контрольна множини. У підрозділі 2.4 описано процес формування структури Dataa, яка слугує основою для створення навчальної та тестової множин. Цю структуру формують аналогічно, за винятком видалення викидів: елементи з номерами від 4199 і вище не вилучаються, оскільки в тестову множину включають останні 184 спостереження (четвертий квартал останнього року). Використання більшої кількості спостережень призведе до зменшення обсягу навчальної множини, що може вплинути на точність прогнозування.

Після видалення викидів формуються матриці EdInp і EdOut для навчальної вибірки, аналогічно до створення матриць Inputs і Outputs (підрозділ 2.4). Останні 184 елемента з цих матриць переносяться до матриць TestInp і TestOut, які складають тестову вибірку.

Наступним етапом є формування контрольної вибірки, що має бути представлена структурою IV , з полями P і T для вхідних і вихідних значень. Для цього випадковим чином вилучаються ще 185 спостережень з навчальної вибірки.

Таким чином, частина спостережень використовується для створення контрольної та тестової вибірок, що призводить до скорочення кількості прикладів у навчальній вибірці до 3926.

Тоді згідно виразу (1.3) число синаптичних зв'язків:

$$L_{\text{min}} = \frac{1 \cdot 3926}{1 + \log_2 3926} = 304 \quad \text{шт.},$$

$$L_{\text{max}} = (3926 + 1)(15 + 1 + 1) + 1 = 66760 \quad \text{шт.}$$

Тоді число нейронів в прихованому шарі згідно формули (1.4):

$$L_{\min} = \frac{304}{15 + 1} = 19 \text{ шт.},$$

$$L_{\max} = \frac{66760}{15 + 1} = 4172 \text{ шт.}$$

2.6. Застосування навчання нейронної мережі

Щоб мережа могла максимально ефективно апроксимувати, важливо обрати мінімальну кількість нейронів у схованому шарі. Це також сприятиме прискоренню навчання та роботи мережі. Тому в якості першого варіанту розглядається мережа з одним схованим шаром, що містить 19 нейронів із логістичними функціями активації. Навчання буде здійснюватися за методом Левенберга-Марквардта, при цьому цільовою функцією помилки обирається сума квадратів відхилень.

Метою експериментів з архітектурою нейронної мережі є зменшення середнього квадратичного відхилення (СКО) між фактичним значенням споживання електроенергії та результатом, отриманим на виході мережі s_{w_a} , кВт·год. Цезначення обчислюють як корінь із залишкової дисперсії (2.15):

$$s_w = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{W}_* - W_*^e)^2}{N}}, \quad (2.16)$$

В результаті в Matlab було отримано вектор `mistake`, де перший елемент відповідає середньому квадратичному відхиленню на навчальній вибірці, а другий – на контрольній. У цьому випадку середнє квадратичне відхилення склало 57089 кВт·год для навчальної вибірки та 51721 кВт·год для контрольної.

Після проведення численних експериментів була створена нейронна мережа, яка найкраще апроксимує залежність споживання електричної енергії від розглянутих факторів. У першому схованому шарі мережі міститься 12 нейронів з логістичними функціями активації, у другому – 10

нейронів також з логістичними функціями активації, а єдиний нейрон вихідного шару має лінійну функцію активації.

Оцінка точності прогнозу, який надає отримана нейронна мережа, може здійснюватися через відносне середнє квадратичне відхилення ε , в.о., фактичних значень від прогнозованих на тестовій множині. Цей показник дозволяє визначити, наскільки близькі прогнози до реальних значень у порівнянні з загальним рівнем варіації даних:

$$\varepsilon = \frac{1}{\overline{W} \cdot W^{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{W}_* - W_*)^2 (W^{\varepsilon})^2}{N}}, \quad (2.17)$$

де $\bar{W}_*$ – середня величина споживання електроенергії, в.о.

Середнювеличину споживання електричної енергії в тестовій множині визначають за виразом:

$$\bar{W}_* = \frac{\sum_{i=1}^N W}{N}. \quad (2.18)$$

Підставляємо формулу (2.17) в (2.18) і одержуємо:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{N \sum_{i=1}^N (\bar{W}_* - W_*)^2}}{\sum_{i=1}^N W_*}. \quad (2.19)$$

В результаті ми отримуємо нейронну мережу, яка виконує прогнозування споживання електричної енергії в цеху виробництва окатишів. Цю мережу зберігаємо в робочому просторі MATLAB під назвою Aglow. Характеристики мережі представлені в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 - Характеристики показників нейронної мережі Aglow

Найменування показника	Значення
Розмір вхідного сигналу, од.	15,0
Розмір вихідного сигналу, од.	1,0
Кількість схованих шарів, шт.	2,0
Загальна кількість синаптичних зв'язків, шт.	310,0
Середнє квадратичне відхилення на навчальній множині, кВт·год	5556,40
Середнє квадратичне відхилення на контрольній множині, кВт·год	5005,31
Середнє квадратичне відхилення на тестовій множині, кВт·год	6471,31
Відносна помилка прогнозування на навчальній множині, в.о.	0,03402
Відносна помилка прогнозування на контрольній множині, в.о.	0,02971
Відносна помилка прогнозування на тестовій множині, в.о.	0,03754

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ СИНТЕЗОВАНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

3.1. Аналіз прогнозування електроспоживання по даним тестової множини.

Графік споживання електричної енергії цехом виробництва окатишів (W_a) залежно від номера спостереження, побудований у MATLAB за даними тестової вибірки (рис. 3.1), показує, що нейронна мережа досить точно прогнозує це споживання.

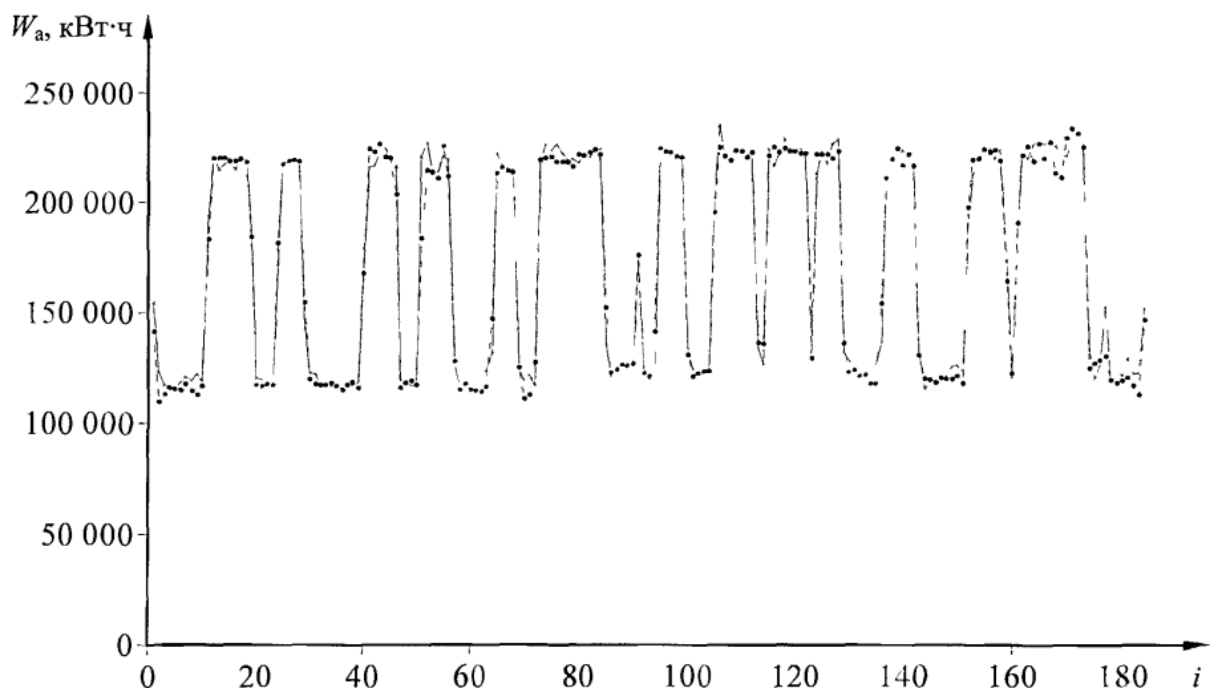


Рисунок 3.1 - Фактичне та прогнозоване споживання електроенергії цехом виробництва окатишів:

- фактичне споживання електричної енергії;
- х-х- прогнозоване споживання електричної енергії

Проте, для покращення точності прогнозу необхідно мати більшу кількість навчальних прикладів, що дозволило б створити складнішу нейронну мережу без ризику перенавчання. У реальних ситуаціях обсяг навчальної вибірки часто перевищує 10,000 прикладів.

Важливо також зазначити, що під час тестування мережі використовувалися фактичні значення виробництва окатишів, часу роботи окомкователів і температури повітря, які на практиці можуть бути невідомими.

Точність прогнозу споживання електроенергії безпосередньо залежить від точності цих параметрів, тому важливо оцінити, як їх похибки впливають на результати мережі.

3.2. Оцінка впливу похибки прогнозування з причини зміни значень ключових параметрів.

Оцінка впливу погрішності прогнозування на результати мережі передбачає аналіз залежності виходу нейронної мережі від кожного з ключових параметрів окремо, з фіксацією інших факторів.

Розглянемо, наприклад, вплив виробництва окатишів на прогноз споживання електроенергії. Для цього будемо змінювати значення кількості вироблених окатишів на вході мережі, використовуючи попередні значення, отримані раніше з виходу мережі. Зокрема, проаналізуємо, як змінюється прогноз споживання електричної енергії в залежності від виробництва окатишів при різних значеннях сумарного часу роботи окомкователів.

Цей підхід дозволить виявити, як коливання в одному з параметрів впливають на результати прогнозування, а також оцінити чутливість мережі до змін у виробничих показниках.

Оскільки система використовує попередні значення свого ж виходу (функціонує в динамічному режимі), на початкових етапах роботи внутрішнього циклу можуть виникати коливання в прогнозах. Результатом виконання цієї частини програми є графік, представлений на рис. 3.2. Криві на графіку мають різну форму, що зумовлено сильною кореляцією між сумарним часом роботи окомкователів і виробництвом окатишів (табл. 2.13). Це призводить до того, що криві плавно переходять одна в іншу.

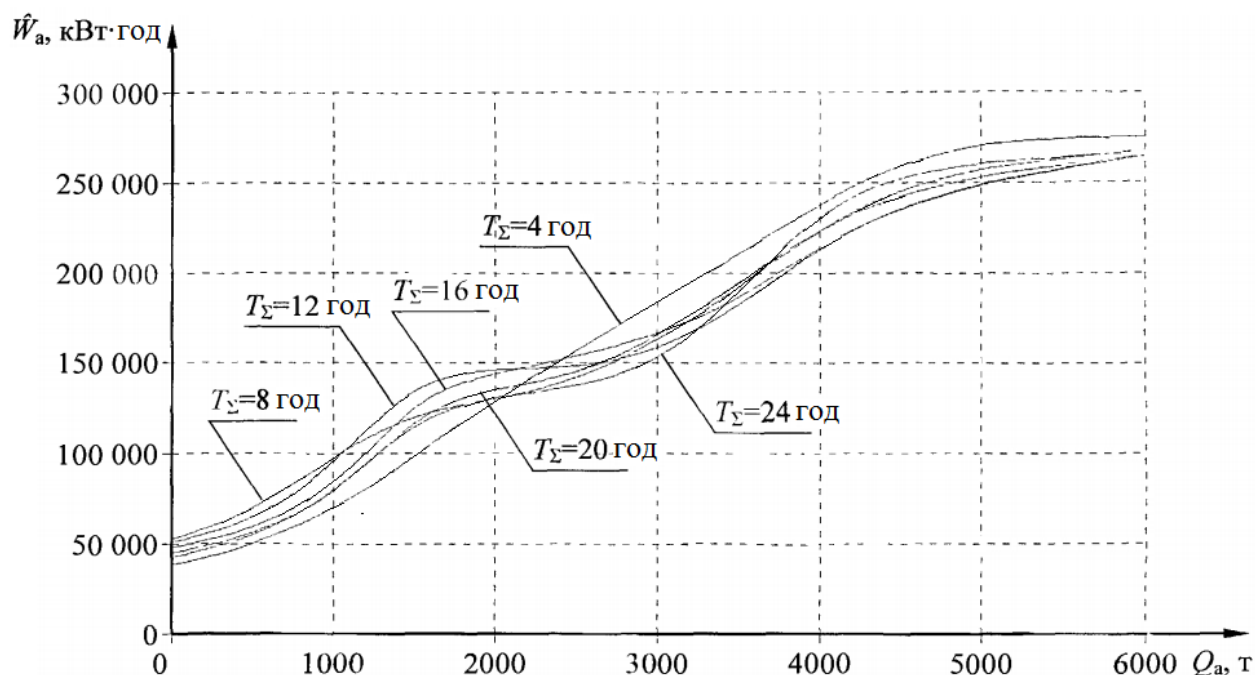


Рисунок 3.2 - Залежність $\hat{W}_a = f(Q_a)$, якщо $t_{cc}=0^{\circ}\text{C}$, $i_d=30$

Аналогічним чином побудовані залежності прогнозованого споживання електроенергії від кількості вироблених окатишів при різних значеннях середньодобової температури повітря (рис. 3.3) і порядковому номері дня в році (рис. 3.4). З рис. 3.3 видно, що при виробництві окатишів менше 20000 т нейронна мережа демонструє пряму залежність споживання електричної енергії від температури, що викликає певні сумніви. Це може бути зумовлено недостатньою кількістю прикладів у навчальній вибірці для значень виробництва окатишів менше 20000 т, що призвело до нестабільності мережі в цій ділянці. Водночас помітно, що вплив температури на споживання електроенергії зменшується при зростанні обсягу виробництва окатишів.

Аналогічно, графіки залежності прогнозованого споживання електричної енергії від сумарного часу роботи окомкователів також були побудовані (рис. 3.5-3.7). Ці графіки демонструють, як змінюється споживання електроенергії в залежності від різних факторів, при закріплених інших параметрах, що дозволяє детальніше оцінити взаємозв'язки між ними.

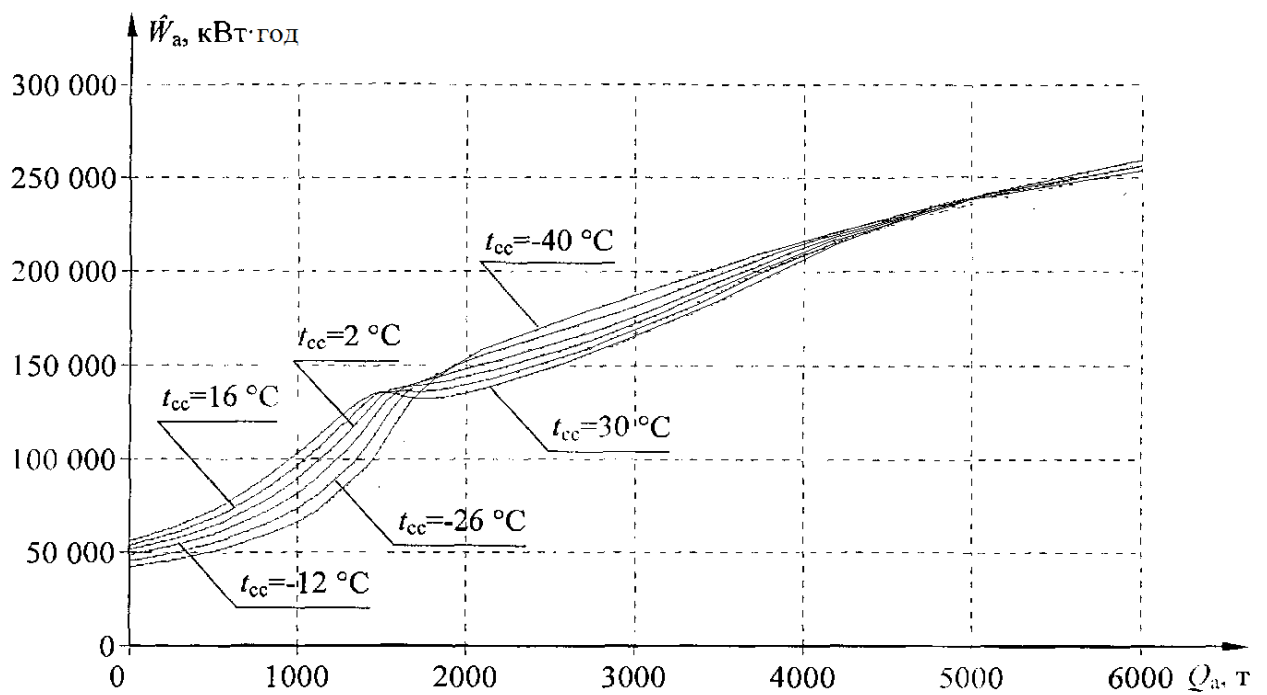


Рисунок 3.3 - Графіки залежності $\hat{W}_a = f(Q_a)$, якщо $T_\Sigma = 12$ год, $i_d = 30$.

При аналізі рис. 3.5 може виникнути враження, що нейронна мережа демонструє убуючу залежність споживання електроенергії від сумарного часу роботи. Проте насправді ці криві плавно переходять одна в іншу через сильну кореляцію між сумарним часом роботи окомкователів і виробництвом окатишів, що розглядається мережею в комплексі. На рис. 3.6 і 3.7 видно, що залежність виходу мережі від сумарного часу роботи має екстремальні точки: спочатку споживання зменшується, потім зростає, а далі знову знижується. Це може викликати питання щодо коректності моделі.

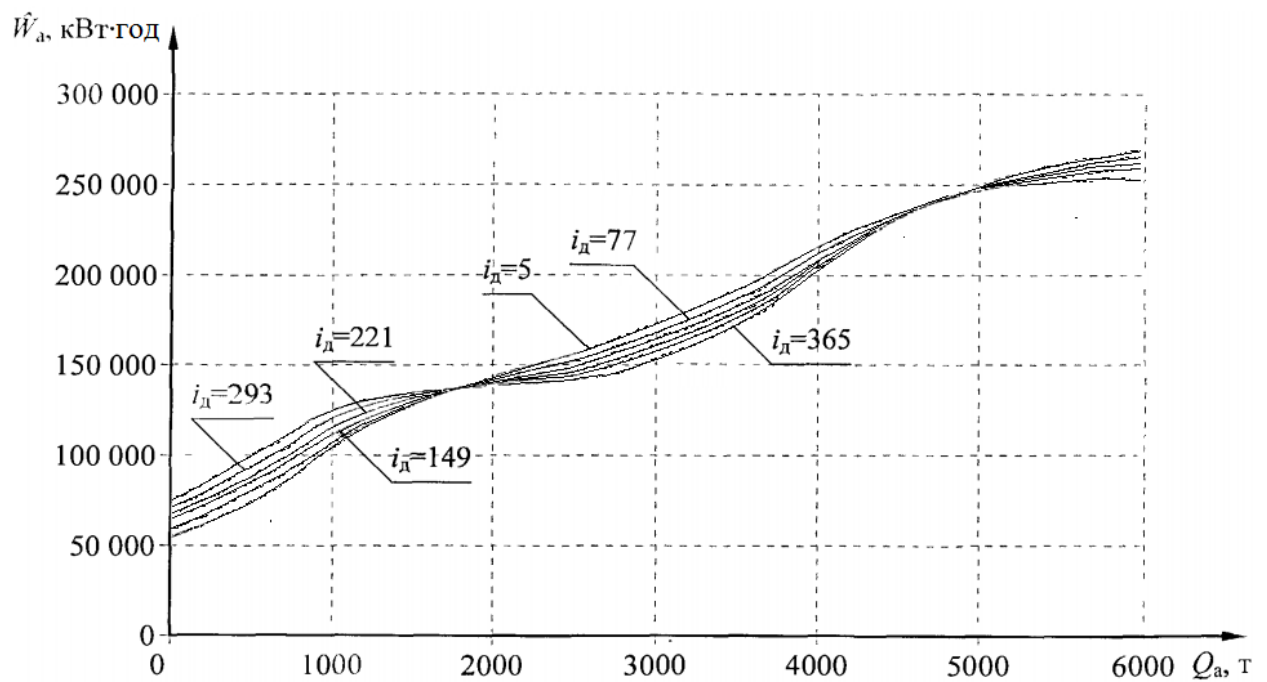


Рисунок 3.4 - Графіки залежності $\hat{W}_a = f(Q_a)$, якщо $T_\Sigma=12$ год, $t_{cc}=0^\circ\text{C}$

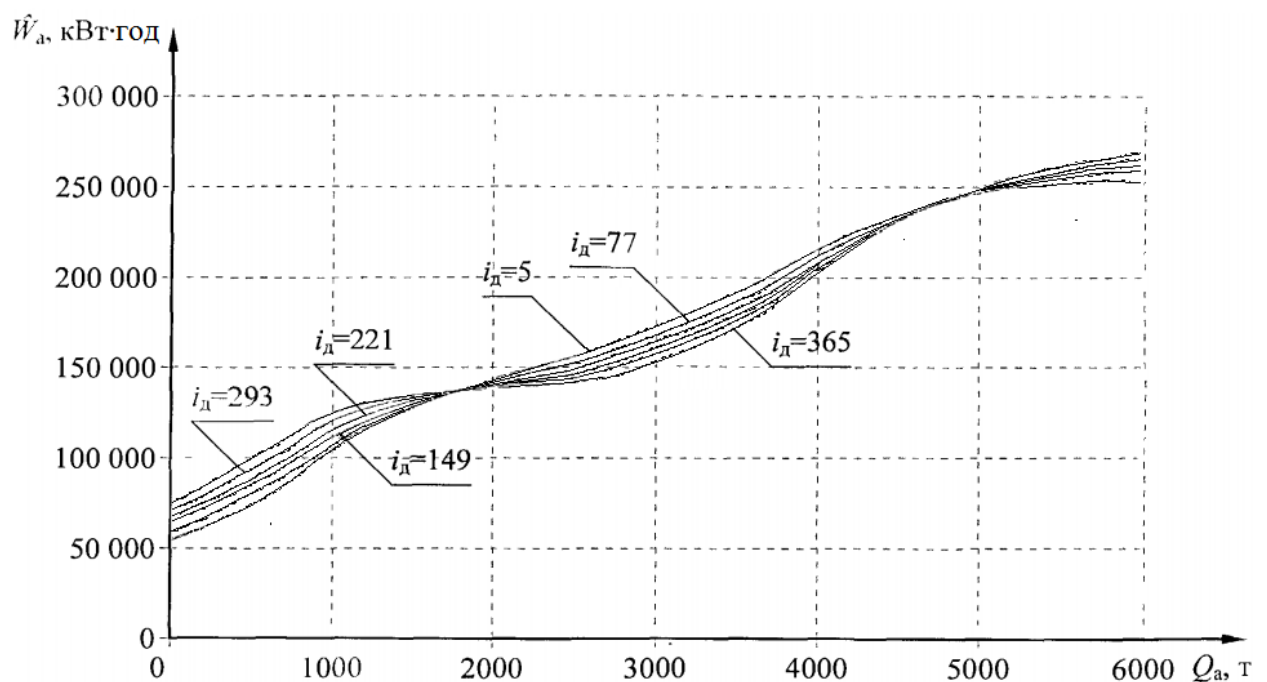


Рисунок 3.5 - Графіки залежності $\hat{W}_a = f(Q_a)$, якщо $T_\Sigma=12$ год, $t_{cc}=0^\circ\text{C}$

Усі аномальні значення у залежності прогнозу споживання електроенергії від сумарного часу роботи окомкователів можна пояснити слабкою кореляцією між цими параметрами. Важливо зазначити, що в підрозділі 2.2 було виявлено кореляційне відношення, яке характеризує не

тільки тісноту, але й статистичну значимість зв'язку, а не його силу. Взагалі, вплив сумарного часу роботи окомкователів на споживання електроенергії реалізується через кількість вироблених окатишів.

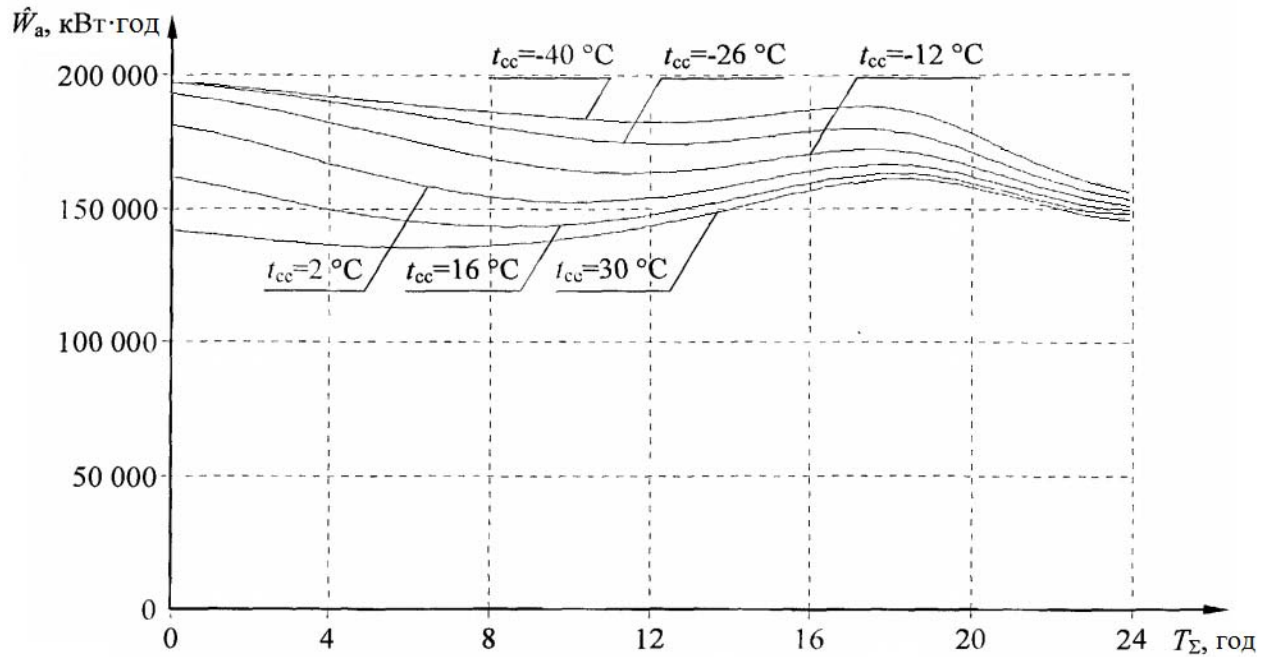


Рисунок 3.6 - Графіки залежності $\hat{W}_a = f(T_\Sigma)$, якщо $Q_o=3000$ т, $i_d=30$

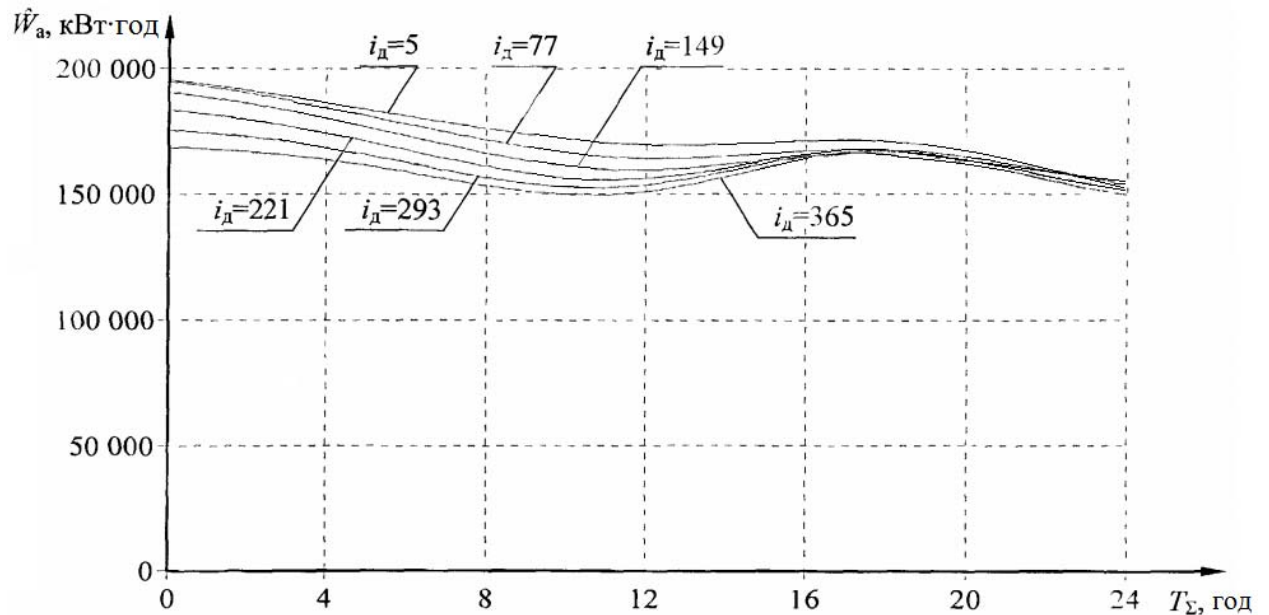


Рисунок 3.7 - Графіки залежності $\hat{W}_a = f(T_\Sigma)$, якщо $Q_o=3000$ т, $i_d=30$

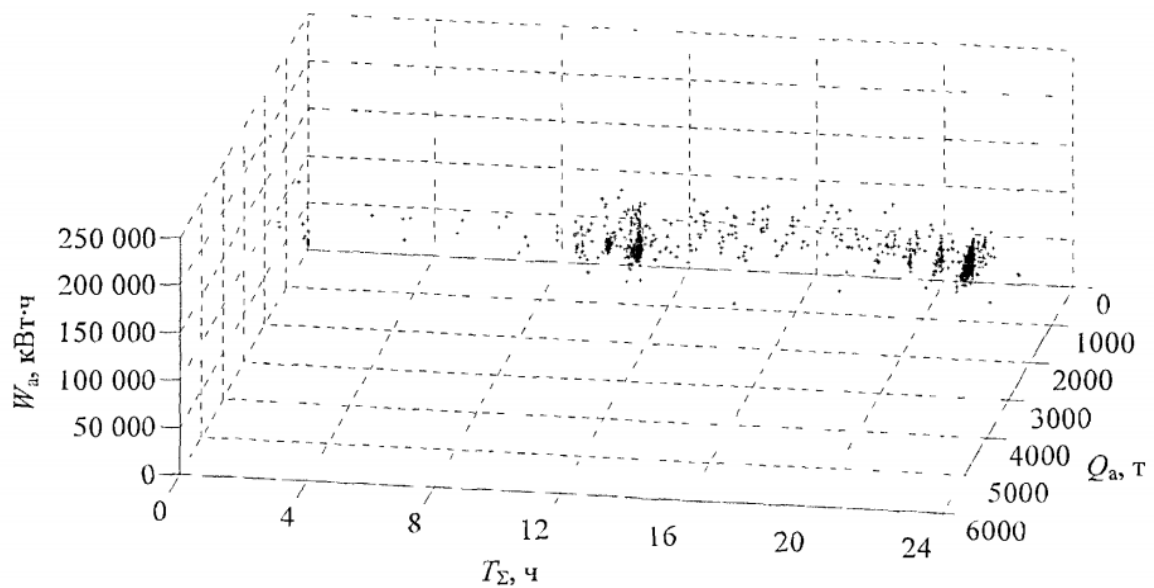


Рисунок 3.8 - Поворот діаграми розсіювання споживання електричної енергії в цеху виробництва окатишів в залежності від сумарної роботи окомкователів та числа вироблених окатишів.

Чистий вплив сумарного часу роботи окомкователів на споживання електроенергії дійсно є незначним. Це можна підтвердити, переглянувши діаграму розсіювання, побудовану в підрозділі 2.3 (рис. 2.2, 2.3). Перетин поверхні, що відображає значення споживання електричної енергії, з координатною площиною, утвореною осями споживання електроенергії і сумарного часу роботи, виглядає як лінія, практично паралельна до осі сумарного часу роботи окомкователів (рис. 3.8). Це пояснює, чому графіки, зображені на рис. 3.5-3.7, повторюють вигляд цієї лінії; мережа працює коректно, незважаючи на видиму невідповідність.

Далі, за допомогою аналогічної методики, побудовані залежності прогнозного значення електроенергії від температури навколишнього середовища (рис. 3.9-3.11). На рис. 3.9 видно, що при зростанні продуктивності цеху знижується чутливість системи до температури повітря. При високих обсягах виробництва навіть спостерігається прямопропорційна залежність виходу мережі від температури.

На рис. 3.10 найбільш виразною є залежність $f(t_{cc})$ при сумарному часі роботи окомкователів рівному 4 години. Це пояснюється тим, що за період

спостережень сумарний час роботи рідко знижувався нижче восьми годин, тому в цій області мережа працює нестійко. Інші лінії графіків щільно лежать один до одного, що підтверджує незначний вплив часу роботи окомкователів на споживання електроенергії.

Рис. 3.11 дозволяє оцінити чутливість системи до зміни температури в різні пори року, що може бути важливим для подальших прогнозів.

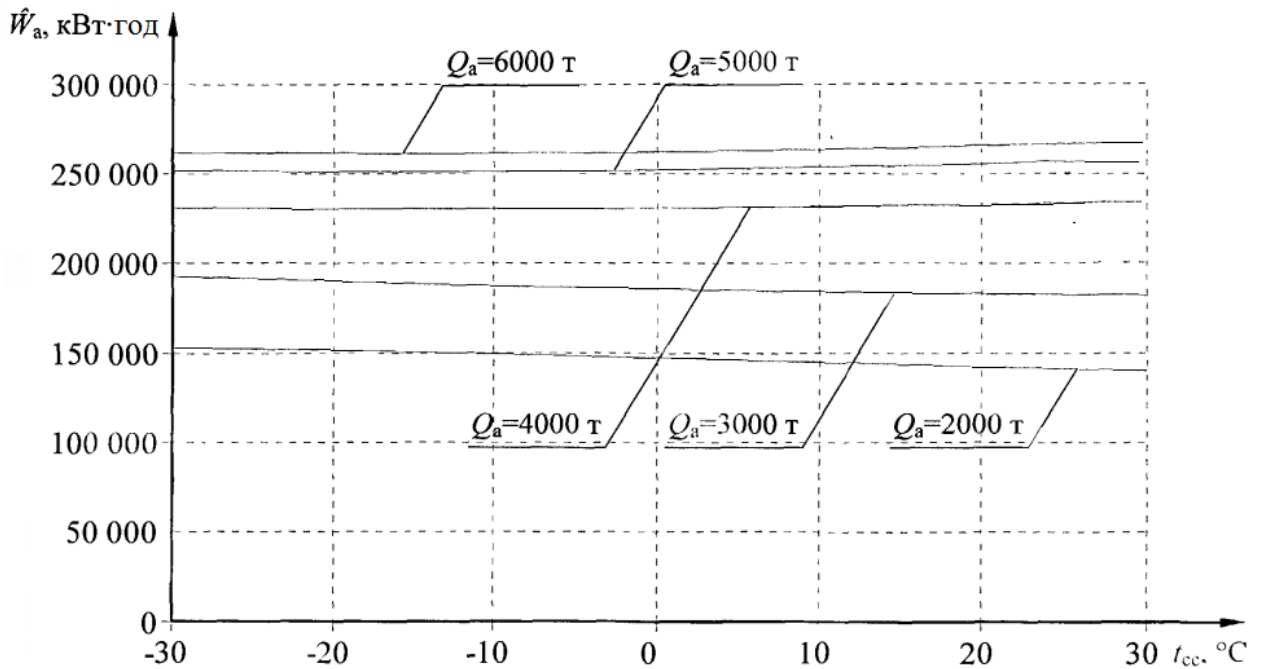


Рисунок 3.9 - Графіки залежності $\hat{W}_a = f(t_{cc})$, якщо $T_z=12$ год, $i_d=30$.

Рисунки 3.2-3.7 та 3.9-3.11 дозволяють користувачеві нейронної мережі оцінити її чутливість до певних входних параметрів у контексті багатомірного простору. Це, в свою чергу, допомагає визначити точність прогнозу, враховуючи відому точність заданих змінних.

Аналіз цих графіків свідчить про те, що найбільший вплив на точність прогнозування має точність завдання кількості окатишів, які планується виробити за зміну. Це підкреслює важливість точного вимірювання та прогнозування цього параметра, оскільки будь-які коливання у значенні кількості вироблених окатишів безпосередньо впливають на результати прогнозування споживання електроенергії.

Таким чином, для підвищення точності прогнозів необхідно зосередитися на вдосконаленні методів вимірювання та прогнозування кількості вироблених окатишів.

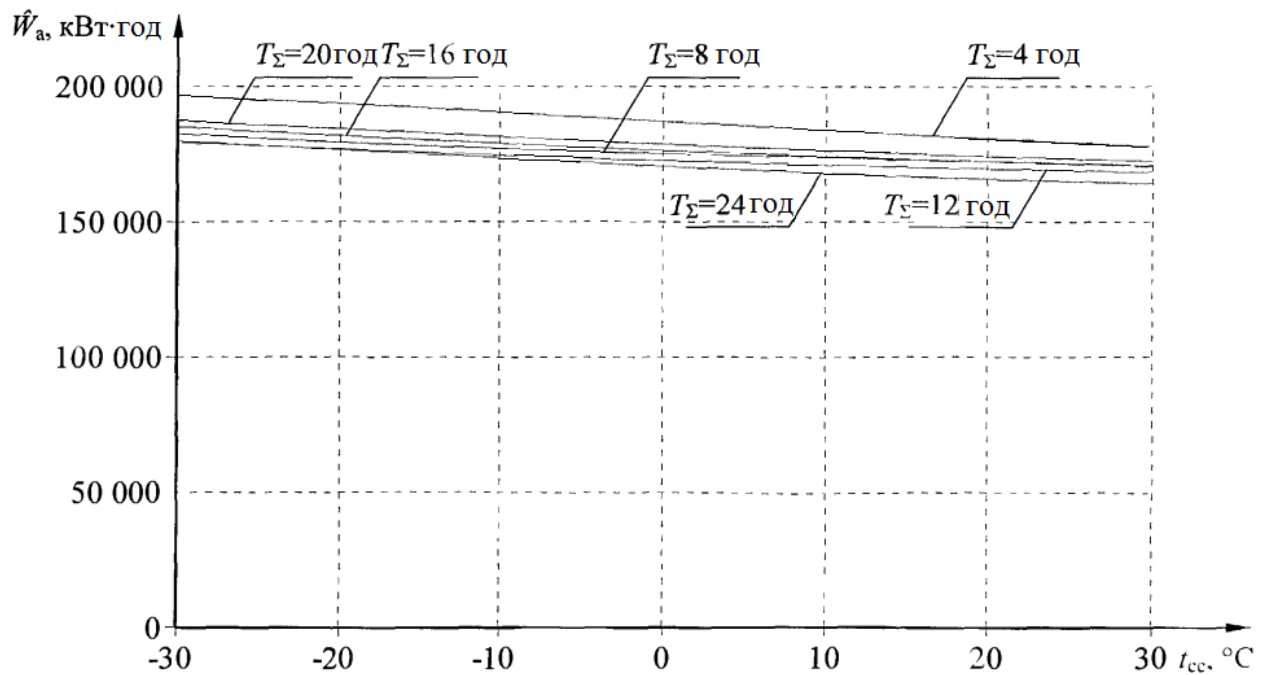


Рисунок 3.10 - Графіки залежності $\hat{W}_a = f(t_{cc})$, якщо $Q_o=3000$ т, $i_d=30$.

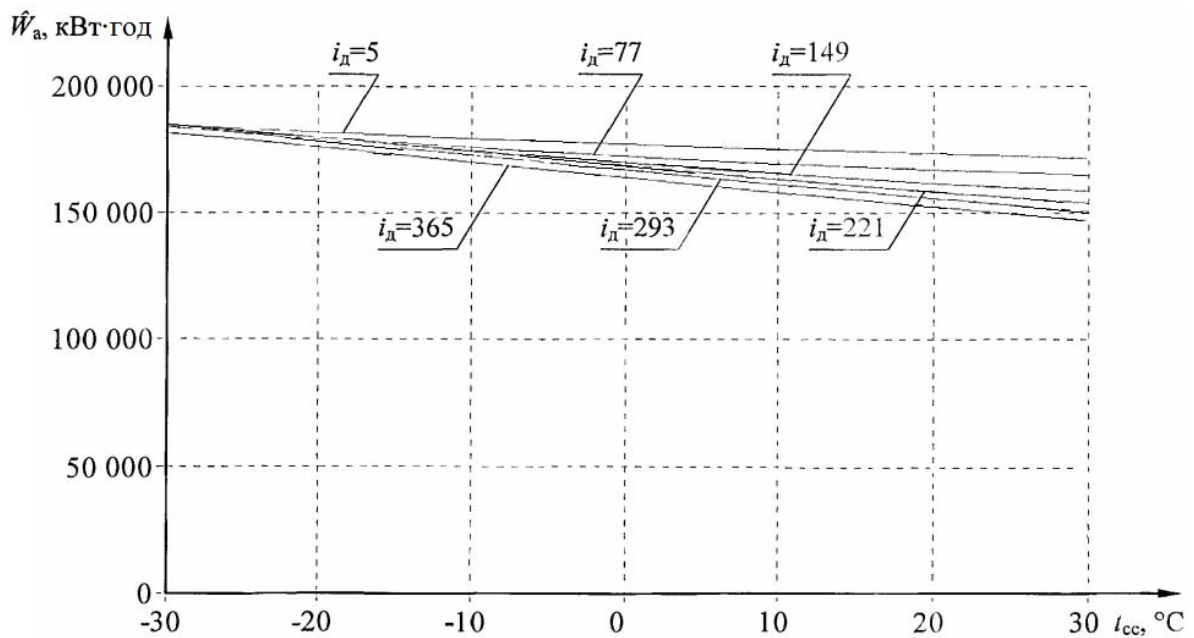


Рисунок 3.11 - Графіки залежності $\hat{W}_a = f(t_{cc})$, якщо $Q_o=3000$ т, $T_\Sigma=12$ год.

РОЗДІЛ 4

ПОЛІТИКА ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ ГІРНИЧОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

4.1. Служба енергоменеджменту підприємства.

Служба енергоменеджменту підприємства, у спрощеному вигляді, є структурним підрозділом, що займається енергозабезпеченням і енергозбереженням. Впровадження таких підрозділів на підприємствах є обґрунтованим, адже, за даними західних досліджень, повноцінна служба енергоменеджменту може скоротити витрати на енергоресурси на 10–15% уже в перший рік роботи. В Україні такі підрозділи здатні досягти економії на рівні 3–5%, що теж є позитивним результатом. Практика показує, що створення служб енергоменеджменту в Україні – завдання цілком реальне: на підприємствах починають обговорювати питання енергозбереження, часто під зовнішнім впливом, і проводять енергоаудити.

В Україні вже накопичено перший досвід у цьому напрямі. Деякі підприємства ведуть відповідну діяльність власними силами, вітчизняні консультанти пропонують послуги зі створення служб енергоменеджменту для великих компаній, з'явилися публікації з цієї теми, активізувалася освітня робота в галузі енергоменеджменту тощо.

При створенні служби енергоменеджменту важливо уникати стереотипів, адже її основним завданням є не просто зниження споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), а радше зменшення витрат на енергоресурси. Це означає, що абсолютний обсяг споживання ПЕР може й не зменшитися, проте витрати будуть оптимізовані.

Досягти цього можна за рахунок розробки та впровадження насамперед організаційних заходів, які є безвитратними або маловитратними і швидко окупаються (період окупності до кількох тижнів).

Створення служб енергоменеджменту з одночасним проведенням самоенергоаудиту.

Створення служби енергоменеджменту разом із проведенням самоенергоаудиту дозволяє досягти таких переваг:

- скоротити витрати на енергоаудит і формування служби енергоменеджменту щонайменше в 1,5–2 рази;
- забезпечити якісне виконання енергоаудиту;
- створити організаційну структуру (службу енергоменеджменту), яка займатиметься питаннями енергозбереження (з передачею необхідного програмного забезпечення);
- отримати методику розрахунку питомих витрат енергоресурсів (також із відповідним програмним забезпеченням);
- підготувати персонал до самостійної роботи (з одночасним навчанням і консультуванням з енергозбереження та бізнес-планування).

4.2. Управління енергоспоживанням на гірничих підприємствах.

Покращення ефективності використання енергетичних ресурсів є одним із чинників, що підтримують стабільність і сталий розвиток економіки в усіх промислових секторах. Гірничозбагачувальне виробництво є однією з найенергоємніших галузей, для якої характерне швидше зростання споживання енергії порівняно з темпами збільшення промислового виробництва. Причиною підвищення енергоспоживання в гірничій промисловості є не лише кількісне зростання виробництва, але також зміни у технологіях, складніші гірничо-геологічні умови видобутку руди та впровадження екологічних заходів.

Споживання електроенергії у гірничій промисловості залежить від багатьох гірничо-технологічних факторів, які наразі часто не враховуються при аналізі та плануванні на всіх рівнях. Через це необхідно визначити взаємозв'язки між технологічними та енергетичними режимами виробничих процесів. У багатьох випадках оптимальне енергоспоживання збігається з

максимальною продуктивністю обладнання при мінімальних питомих витратах електроенергії. Таким чином, інтенсифікація виробничих процесів і вдосконалення їх організації зазвичай сприяють економії електроенергії. Питома витрата електроенергії, у цьому контексті, є узагальнюючим показником техніко-економічного рівня всього виробництва.

Встановлення закономірностей енергоспоживання для енергоємного обладнання та технологічних комплексів є ключовим завданням при аналізі, нормуванні та плануванні витрат електроенергії, а також для оптимізації режимів її використання. Для вирішення цього завдання необхідно створити інформаційно-моделюючу систему, яка базуватиметься на концепції інтегрованого підходу, що охоплює методичне, програмне, інформаційне, технічне й організаційне забезпечення.

Методичне забезпечення має складатися з набору математичних моделей, що описують досліджувані системи на різних рівнях деталізації та ієрархічних рівнях, враховуючи багат шаровий характер цих систем.

Програмне забезпечення повинно включати як загальносистемні, так і прикладні програми для реалізації математичних моделей, проведення обчислень, організації інтерактивної роботи користувача із системою, а також для виведення інформації у зручному форматі.

Інформаційне забезпечення включає в себе базу даних та інструменти для управління нею. У цій базі мають зберігатися всі необхідні довідкові та розрахункові дані, що використовуються і отримуються в процесі вирішення завдань. Ці дані можуть бути згруповані за такими категоріями (рис. 4.1): показники енергетичних ресурсів і споживання енергії; фізико-технічні та технологічні параметри обладнання; економічні показники; інформація, що відображає структурні характеристики системи; регіональні та природні фактори тощо.

Схема комплексного вирішення проблеми енергоспоживання наведена на рис. 4.2.

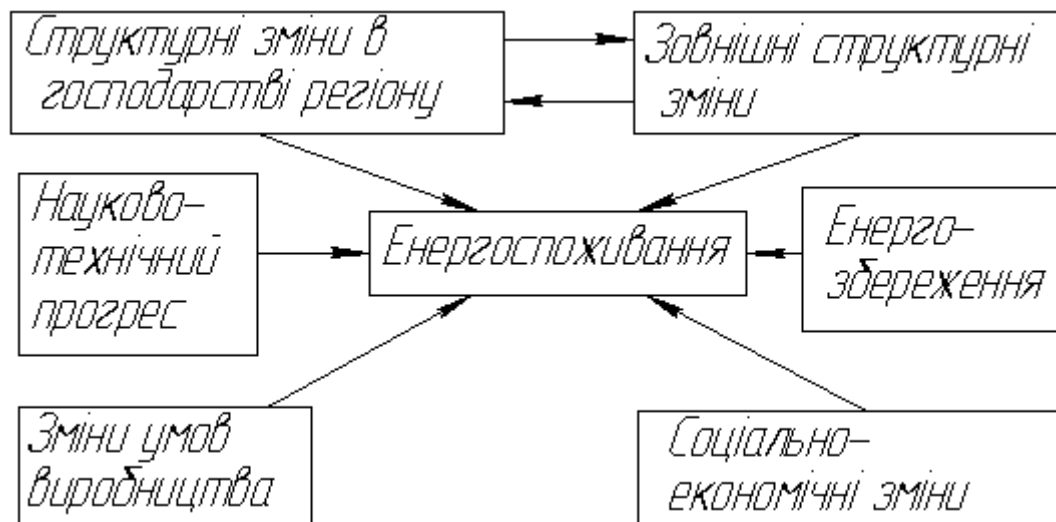


Рисунок 4.1 - Укрупнена схема інформаційної моделі комплексного вирішення проблеми енергоспоживання.

Технічне забезпечення повинно ґрунтуватися на застосуванні сучасної обчислювальної техніки, яка має достатню швидкодію, обсяг пам'яті та широкий спектр сервісних функцій для користувача.

Організаційне забезпечення передбачає чітку взаємодію між розробниками окремих компонентів інформаційно-моделюючої системи енергоспоживання, програмістами та експертами в галузі енергоспоживання.

Інформаційно-моделююча система енергоспоживання має містити великий банк даних щодо енергетичних і технологічних показників підприємства. Вона повинна підтримувати функції агрегування та деталізації інформації, а також включати механізми заповнення відсутніх даних за допомогою експертних оцінок. Система повинна бути універсальною та адаптованою для технологічних систем різних структур (енергетичні установки, виробничі комплекси, підприємства).

Для обґрунтованого прийняття рішень необхідно мати можливість завчасної оцінки їх ймовірних результатів. Тому одне з ключових завдань при формуванні планів і розробці нормативної бази — це підготовка прогнозів.

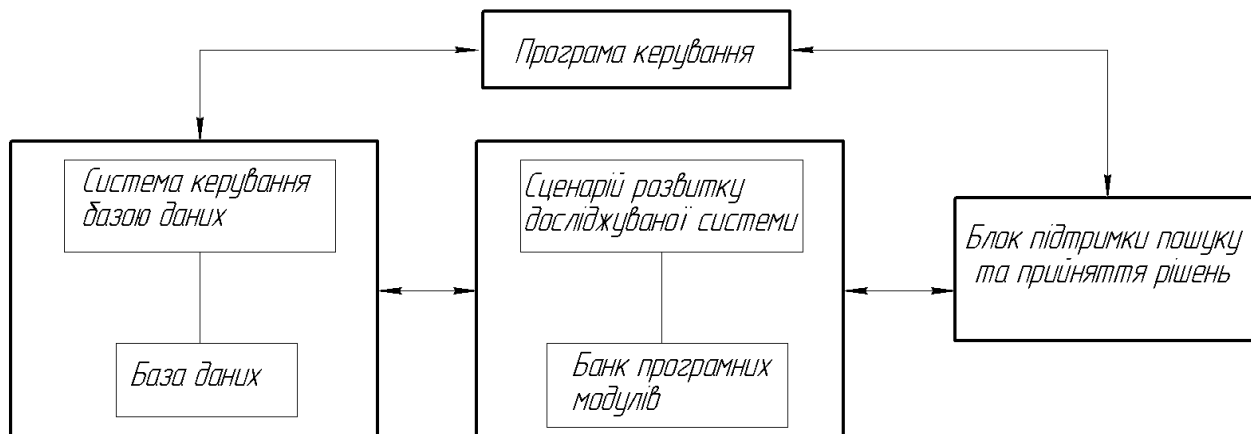


Рисунок 4.2 - Блок-схема інформаційно-моделюючої системи.

Аналіз енергоспоживання підприємства, здійснюваний за допомогою інформаційно-моделюючої системи, дозволяє прогнозувати майбутнє споживання енергії, розробляти рекомендації щодо оновлення технічного обладнання, а також обчислювати як планові, так і фактичні питомі витрати електроенергії у випадку відхилень технологічних параметрів. При цьому система вказує на фактори, які вплинули на зміни у споживанні енергії.

Для аналізу й планування енергоспоживання важливе значення має організація належного обліку витрат електроенергії. Облік енергії є основою для планового управління енергогосподарством і забезпечує здійснення розрахунків між постачальниками та споживачами енергії. Перехід гірничих підприємств на нові умови роботи, впровадження технічно обґрунтованих норм споживання та систем преміювання за зниження витрат енергії, а також використання диференційованих тарифів для стимулювання економії роблять облік електроенергії ще більш важливим.

Облік, проведений за допомогою контрольних лічильників, дозволяє контролювати виконання встановлених норм, складати електробаланси, диференціювати загальні витрати електроенергії, наприклад, для розрахунку витрат по окремих цехах або відокремлення витрат на електроенергію для сторонніх споживачів.

Впровадження автоматизованих систем контролю та обліку електроенергії (АСКОЕ) може стати важливим досягненням у вдосконаленні управління енергоспоживанням на гірських підприємствах, оскільки це сприятиме покращенню обліку та посиленню контролю за використанням енергетичних ресурсів.

Попит на енергію в умовах ринку залежить від розвитку економіки, ефективності використання енергії та динаміки цін на енергоносії (рис. 4.3). Таким чином, одне з ключових завдань у керуванні електроспоживанням на гірничих підприємствах полягає у визначенні обсягу можливого енергозбереження та реалізації проєктів, спрямованих на економію енергії.

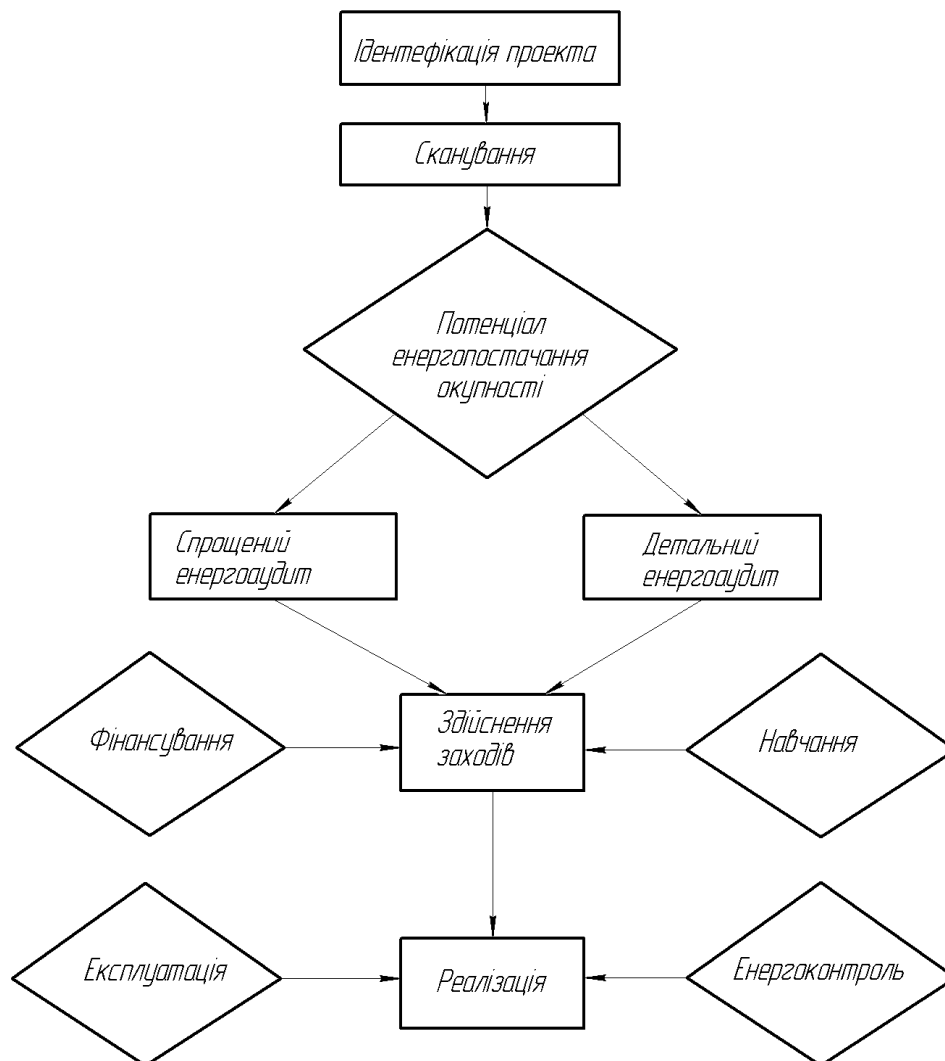


Рисунок 4.3 - Процес енергозбереження.

Процес енергозбереження включає п'ять ключових етапів:

1. Ідентифікація проекту – визначення потенційних напрямків для збереження енергії.
2. Сканування – попередній аналіз поточного стану енергоспоживання та виявлення можливостей для оптимізації.
3. Енергоаудит – детальне обстеження енергетичних витрат, виявлення неефективних процесів і технічних рішень.
4. Здійснення заходів – розробка та впровадження енергозберігаючих заходів та технологій.
5. Реалізація проекту – впровадження проекту в експлуатацію та моніторинг його ефективності.

- етап ідентифікації проекту передбачає:
 - проведення діалогу з фахівцями підприємств, на яких планується реалізація проекту енергозбереження;
 - збір енергетичної та технологічної інформації;
 - оцінку можливостей підприємства та його зацікавленості в реалізації проекту енергозбереження.

Якщо в ході ідентифікації виявиться, що реалізація проекту має позитивні перспективи, процес переходить до стадії сканування, на якій визначаються потенційна економія енергії та очікуваний прибуток.

Якщо приймається рішення продовжити реалізацію проекту енергозбереження, то проводиться етап енергоаудиту. На цьому етапі оцінюється економія та окупність кожного з енергозберігаючих заходів, включених у проект.

Наступним етапом є реалізація запланованих заходів щодо енергозбереження, яка включає кілька ключових елементів: проектування; управління проектом; виконання заходів; контроль за доставкою енергозберігаючого обладнання; навчання персоналу; оформлення будівельної документації; управління енергоспоживанням; моніторинг; підтримка в обслуговуванні енергозберігаючого обладнання.

На основі вищевикладеного можна зробити висновок, що для ефективного управління електроспоживанням на гірських підприємствах необхідно виконати такі важливі завдання:

- впровадження інформаційно-моделюючих систем для аналізу електроспоживання;
- виявлення закономірностей споживання електроенергії гірськими машинами та обладнанням, а також на технологічних етапах;
- проведення енергоаудиту та реалізація заходів для збереження енергії.

4.3. Інформаційне та технічне забезпечення системи енергоспоживання на підприємстві.

Технологічний процес дроблення є невід'ємною частиною основного технологічного процесу збагачення залізистих кварцитів на гірничо-збагачувальному комбінаті (ГЗК), що супроводжується значним споживанням води, електроенергії, теплової енергії та пального. Руда, видобута підричним методом, транспортується автотранспортом до проміжного складу, де проходить стадію великого дроблення. Звідти вона доставляється на збагачувальну фабрику за допомогою думпкарів, де й відбувається основний технологічний процес.

Вихідна руда потрапляє до корпусу дроблення, де проходить кілька стадій: великого, середнього та дрібного дроблення. Після чотирьох стадій дроблення руда надходить у кульові млини. Здробнення є однією з найдорожчих та найенергоємніших операцій у підготовці руди до збагачення. Після зневоднювання сухий концентрат надходить на склад.

Технологічна схема збагачення залізистих кварцитів на ГЗК ілюструється на рис. 4.4.

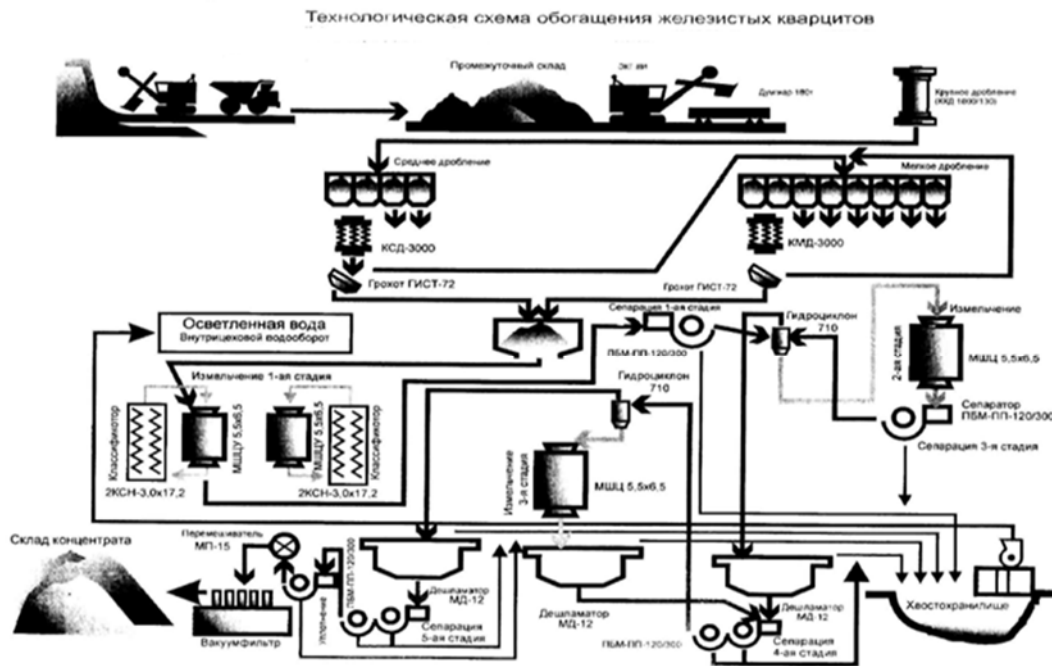


Рисунок 4.4 - Технологічна схема збагачення залізистих кварцитів

У нестійких умовах функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) важливим є аналіз електроспоживання для оцінки витрат електроенергії. Для дослідження та планування електроспоживання, а також для розробки методики нормування витрат електроенергії в гірничій промисловості, необхідно визначити енергоємність кожної технологічної операції. Найбільш енергоємним процесом у цьому контексті є збагачувальне виробництво.

Встановлення закономірностей електроспоживання для технологічних стадій і енергоємних споживачів від виробничих факторів є важливим завданням для аналізу, нормування та планування витрат електроенергії, а також для оптимізації режимів споживання енергії. Вірогідність і точність результатів, отриманих на цьому етапі, значно впливають на обґрунтованість планових розрахунків і економічних показників виробництва в цілому.

Для підвищення наукової обґрунтованості прогнозованих питомих витрат необхідно диференціювати їх за видами продукції та енергетичними процесами, враховуючи основні технологічні та виробничі фактори.

Найбільш точні результати у визначенні залежностей електроспоживання від основних факторів у виробничих умовах забезпечують математичні методи аналізу питомих витрат електроенергії. Багатофакторний кореляційний аналіз дозволяє встановити, як змінюється електроспоживання залежно від основних факторів, а також виявити тісний зв'язок між параметрами та чинниками, які впливають на їх зміни.

Програма розрахунків витрат електроенергії складається з кількох етапів:

1. Складання тимчасових рядів вихідних даних;
2. Визначення рівнянь витрат електроенергії;
3. Розрахунок витрат електроенергії та норм за прогнозною моделлю.

У нових умовах господарювання науковим обґрунтуванням управлінських рішень та автоматизації їх підготовки є впровадження інформаційно-моделюючої системи електроспоживання. Створення такої системи має базуватися на концепції інтеграції методичного, програмного, інформаційного, технічного та організаційного забезпечення (рис. 4.5).

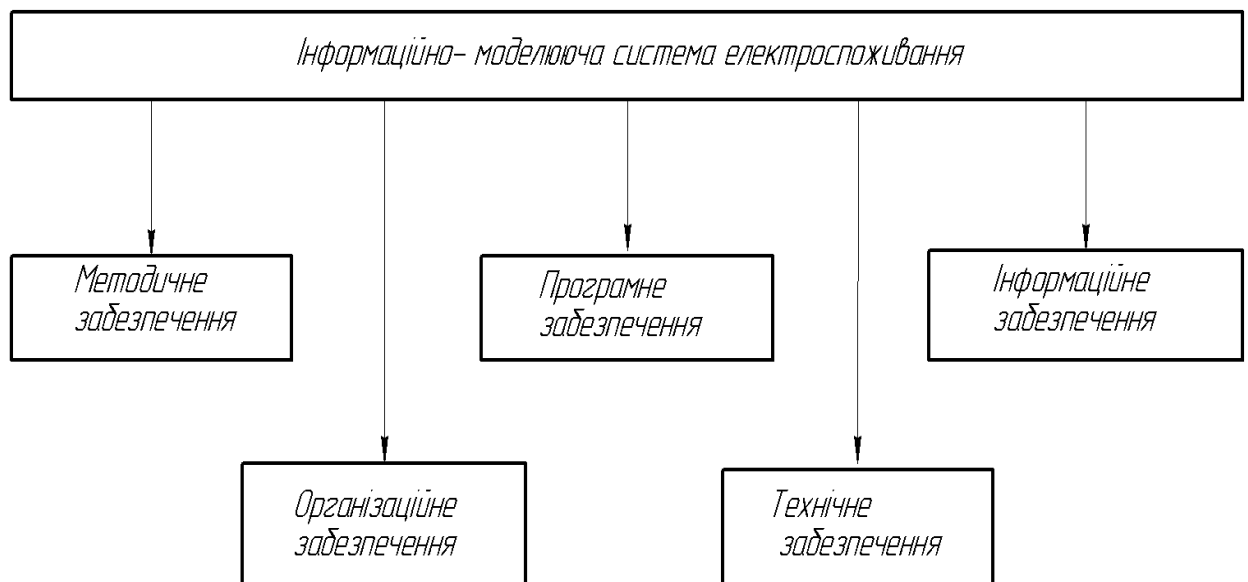


Рисунок 4.5 - Структурна блок-схема автоматизації підготовки управлінських рішень системи електроспоживання.

Методичне забезпечення системи являє собою набір математичних моделей, які описують досліджувані технологічні процеси та електроустановки з різними рівнями деталізації та ієрархії.

Програмне забезпечення складається з загальносистемних і прикладних програм, розроблених для реалізації математичних моделей, організації обчислювальних процедур, забезпечення взаємодії користувача з системою та подання інформації в зручному форматі. Програми мають бути створені за модульним принципом, що забезпечує гнучкість і надійність структури інформаційно-моделюючої системи електроспоживання.

Інформаційне забезпечення включає базу даних і засоби її управління. У цій базі мають міститися всі необхідні довідкові та розрахункові дані, які можуть бути згруповані за такими категоріями: показники енергетичних ресурсів та електроспоживання, енерго-технологічні характеристики устаткування, фізико-хімічні властивості руди, економічні показники підприємства, структурні та соціально-економічні зміни, екологічні фактори тощо.

Технічне забезпечення ґрунтується на використанні сучасних засобів обчислювальної техніки, які забезпечують необхідну швидкість обробки даних, достатній обсяг пам'яті та широкий спектр сервісних можливостей для користувачів.

Організаційне забезпечення передбачає створення чіткої взаємодії між розробниками окремих компонентів інформаційно-моделюючої системи електроспоживання, програмістами та фахівцями в сфері енергоспоживання.

Інформаційно-моделююча система електроспоживання має містити великий обсяг даних щодо енергетичних технологій і виробничих показників підприємства. У цій системі повинні бути реалізовані можливості для агрегування та деталізації інформації, а також механізм для заповнення недостаючих даних експертними оцінками. Крім того, система повинна бути адаптована до технологічних процесів будь-якої структури, будь то енергоустановка, технологічний переділ або підприємство.

Правильна організація обліку витрат електроенергії є ключовим елементом для аналізу та планування електроспоживання, а також для ведення технічно обґрунтованого нормування. Ефективно налагоджений облік дозволяє виявити втрати енергії та нераціональні витрати. Важливість точної організації обліку електричної енергії також полягає в тому, що помилки в її вимірюванні не можуть бути виправлені шляхом повторного виміру.

Приладовий облік електроенергії має забезпечувати необхідну точність вимірювань електричних параметрів при мінімальних витратах. Тому система обліку та вимірювань повинна містити лише найнеобхідніші прилади, уникати необґрунтованого дублювання їх на різних етапах електропостачання.

Технічні засоби для обліку та контролю електроенергії повинні відповідати таким вимогам:

- Забезпечувати точний облік спожитої електроенергії відповідно до чинних тарифів.
- Контролювати витрати електроенергії на окремих виробництвах, у цехах та на технологічних установках.
- Надавати необхідну інформацію для диспетчера з управління електроспоживанням або здійснювати автоматичне регулювання споживання в межах договірних або заданих режимів.
- Забезпечувати контроль і фіксацію перевищень допустимих рівнів споживання електроенергії та максимальної сполученої потужності.
- Виконувати контроль якості електроенергії.
- Фіксувати необхідну інформацію.

Якість управління електроспоживанням визначається обсягом та якістю інформації про зміни в потужності й споживанні електроенергії.

Технічні засоби контролю електроспоживання, що підвищують інформаційну забезпеченість підприємства, повинні реалізовувати такі базисні функції:

1. Зв'язок системи із об'єктом контролю для забезпечення надійного зв'язку між системою контролю та елементами, які підлягають моніторингу.

2. Збір і зберігання результатів виміру - автоматизований збір даних про електроспоживання, їх зберігання та можливість перетворення в зручні для аналізу формати.

3. Візуалізація вихідних значень - представлення вимірюваних параметрів у зрозумілій формі для контролюючої особи, що сприяє прийняттю оперативних управлінських рішень.

4. Контроль і порівняння - моніторинг фактичного споживання електроенергії в порівнянні з гранично припустимими значеннями, що дозволяє виявляти відхилення та вживати необхідних заходів для корекції.

Забезпечення точності дотримання встановлених лімітів споживання електроенергії, з урахуванням графіка колювання загальної потужності підприємства, а також зменшення негативного впливу регулювальних дій на технологічний процес, можливе за умови автоматизації управлінських режимів енергоспоживання установок, які функціонують як споживачі-регулятори потужності під час пікових навантажень енергосистеми.

Система управління, яка порівнює реальну потужність підприємства з обмеженими значеннями, активує споживачі-регулятори лише тоді, коли фактичне споживання електроенергії залишається в межах допустимого рівня. В інших випадках кількість одночасно активних споживачів-регуляторів зменшується автоматично, аж до їх повного відключення.

Аналіз споживання електроенергії, здійснений інформаційно-моделюючою системою, дасть змогу прогнозувати витрати на електрику, формулювати рекомендації щодо вдосконалення політики технічного переозброєння, а також проводити розрахунки як планових, так і фактичних питомих витрат електроенергії при відхиленнях технологічних параметрів від запланованих значень, визначаючи при цьому фактори, що вплинули на зміни питомих витрат.

4.4. Етапи проведення енергетичного аудиту на гірничому підприємстві.

Під час проведення енергетичного аудиту (ЕА) підприємств згідно з ДСТУ 4065-2001 “Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги” потрібно дотримуватись наступного алгоритму, що складається із семи кроків:

1. Збір первинних економічних і технічних даних та навчання (консультування) персоналу підприємств із високим і середнім рівнем споживання енергії.
2. Аналіз зібраної інформації, побудова енергетичних балансів та визначення питомого енергоспоживання.
3. Проведення необхідних обстежень і вимірювань та складання первинного списку потенційних енергозберігаючих заходів (ЕЗЗ).
4. Розробка та обґрунтування проєктів ЕЗЗ.
5. Остаточний відбір та погодження з керівництвом підприємства ЕЗЗ, які буде реалізовано.
6. Розробка кінцевої версії заходів для реалізації, вибір постачальників обладнання та організація тендерів на його закупівлю.
7. Участь у реалізації ЕЗЗ та забезпечення авторського контролю або самостійне виконання заходів (за наявності відповідної угоди з підприємством).

Перший і третій етапи енергоаудитори здійснюють безпосередньо на території підприємства. Другий крок енергетичного обстеження виконують як у офісі спеціалізованої організації (для підприємств з високим рівнем споживання енергії), так і на підприємстві (для підприємств малого та середнього рівнів енергоспоживання). Четвертий етап найчастіше також проводять на підприємстві, хоча для великих підприємств доцільно продовжувати розроблення енергозберігаючих заходів після завершення основних робіт на місці. П'ятий крок проводять або на підприємстві (для підприємств з малим та середнім рівнем споживання), або в офісі

спеціалізованої організації для великих підприємств, з використанням письмових методів чи сучасних засобів комунікації. Шостий і сьомий етапи зазвичай виконуються в офісі спеціалізованої організації, за винятком випадків, коли необхідний авторський нагляд чи впровадження енергозберігаючих заходів. При цьому ці етапи не завжди виконують енергоаудитори або за їх безпосередньої участі. У таких випадках замовник енергоаудиту може доручити виконання цих робіт іншим фахівцям або організаціям для додаткової перевірки, а також організувати закупівлю обладнання та впровадження заходів самостійно, що допомагає знизити витрати. За таких умов авторський контроль у процесі реалізації енергозберігаючих заходів дозволяє забезпечити досягнення запланованих показників.

Рекомендації щодо аналізу результатів енергоаудиту.

1. Замовникам енергоаудиту не варто очікувати надзвичайно оригінальних рекомендацій — найефективнішими, як правило, є прості заходи. Сюди належать: поліпшення герметизації вікон та дверей; заміна розбитих шибок; впровадження сучасних систем обліку енергоресурсів; встановлення якісної запірної арматури на водопостачальних кранах тощо.

2. Впровадження обладнання з високим рівнем енергоефективності не завжди є економічно доцільним. Його широке застосування на Заході часто зумовлене державними й регіональними нормативними вимогами. В Україні ж іноді більш раціональним є використання звичайного місцевого обладнання, яке не завжди має імідж "євро" або "енергоефективного". Наприклад, замість дорогої системи "перетворювач частоти – асинхронний двигун" можна застосувати менш дорогі системи плавнорегульованого приводу або електроприводи з пошаговим регулюванням швидкості, чи навіть ті, що забезпечують плавний запуск. В Україні впровадження енергозберігаючих двигунів часто є недоцільним через зниження їх ККД при невеликому навантаженні, високу вартість, а також потребу у

високоякісному захисті. Подібна ситуація й із енергоефективними лампами, які іноді окупаються лише по завершенні свого експлуатаційного ресурсу, тобто період окупності перевищує їхній термін служби.

Досвід проведення енергетичних обстежень на Північному гірничо-збагачувальному комбінаті показав таке:

Багатодвигунні стрічкові конвеєри:

Підприємство “Електромеханіка” здійснило обстеження та налаштування пускових і робочих режимів понад 40 багатодвигунних стрічкових конвеєрів (на деяких установках роботи виконувалися двічі на рік — перед початком зимового та літнього сезонів). У результаті було виявлено:

- На більшості двобарабанних приводних станцій стрічкових конвеєрів спостерігався режим стійких коливань із періодом 0,5–2,0 с, який супроводжувався періодичним прослизанням другого приводного барабану за ходом стрічки.

- Амплітуда коливань тягового зусилля приводу досягала 15–45% від середнього рівня.

- При запуску через помилки проектування і роботи обслуговуючого персоналу пускове зусилля перевищувало номінальне в 5–6 разів.

- Навантаження між приводними двигунами розподілялися нерівномірно.

- У деяких двобарабанних приводних станціях перший приводний барабан за ходом стрічки працював у режимі рекуперативного гальмування.

Після завершення досліджень і налагодження пускові зусилля знизилися до рівня 1,3–1,35 відн. од., а навантаження між приводними двигунами розподілилися рівномірно, з точністю, що відповідає можливостям вимірювальних приладів.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ РЕЖИМІВ

ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДРОБАРНОГО ВІДДІЛЕННЯ ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

5.1. Обстеження режимів роботи електротехнічного обладнання.

5.1.1. Дослідження режимів роботи основного обладнання 1-2 стадії.

Дробарки 1-ї та 2-ї стадій подрібнення працюють майже безперервно. Планова зупинка здійснюється раз на тиждень для огляду та заміни броні на внутрішніх стінках. Важливо зазначити, що витрати броні в дробарках досягають десятків тонн щомісяця.

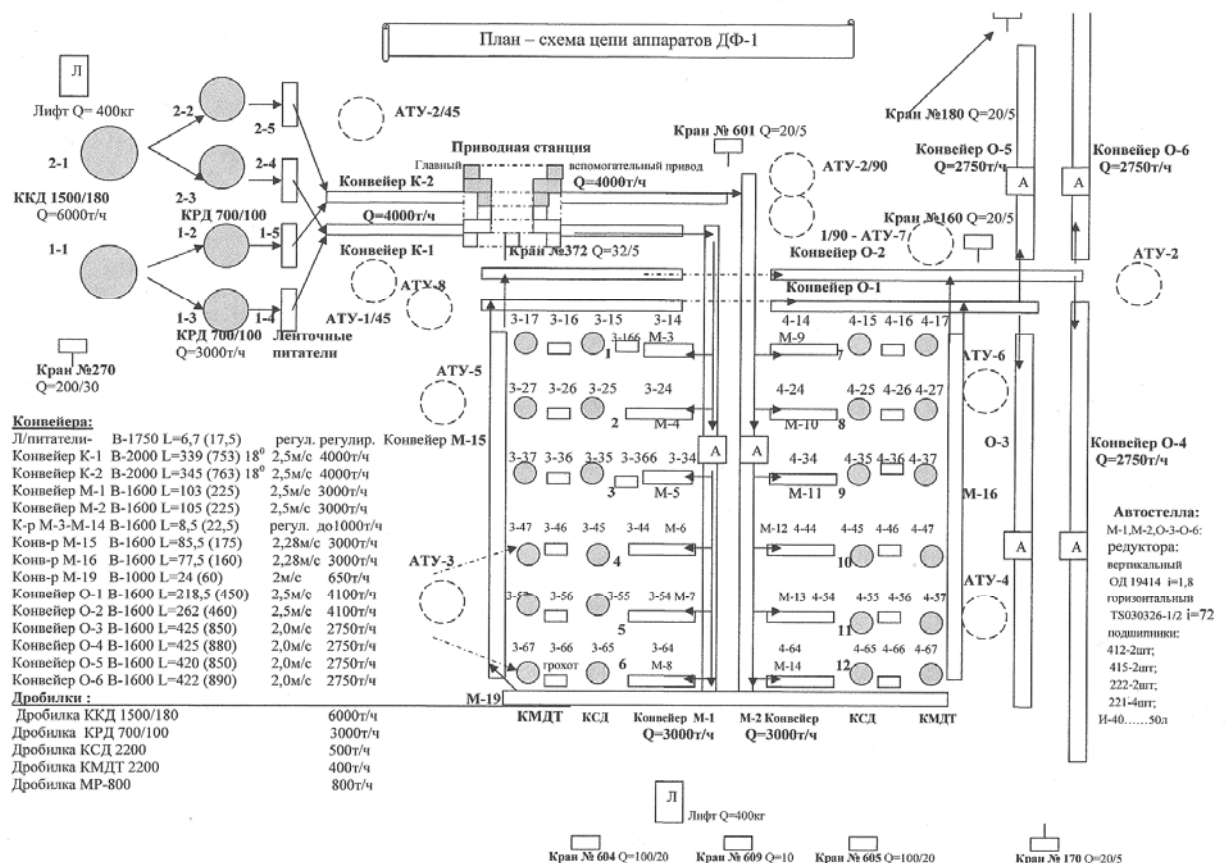


Рисунок 5.1 - План схема електрообладнання ДВ-1.

Технологічна схема переробки руди першої черги дробарного відділення представлена на рисунку 5.2.

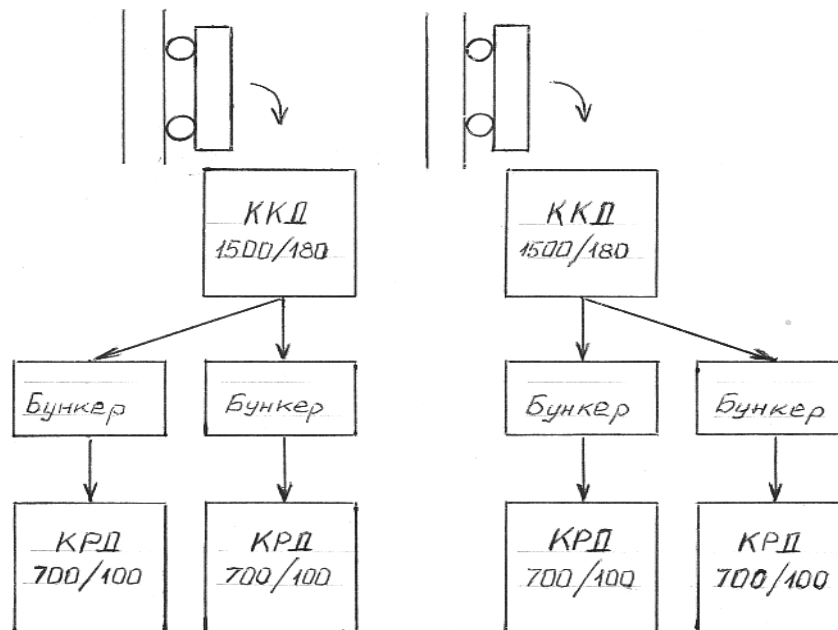


Рисунок 5.2 - Технологічна схема переробки руди першої черги дробарного відділення ДВ-1

Обстеження режиму роботи дробарок виявило, що навантаження на дробарку має періодичний характер, що пов'язано з циклічністю роботи транспорту. Вивантаження руди з думпкарів відбувається кожні 2–2,5 хвилини. Час проходження гірничої маси через дробарку крупного подрібнення становить приблизно 30–35 секунд. Пікове навантаження спостерігається на 10-й секунд, а пауза між проходженням гірничої маси триває 1,5–2 хвилини.

В дробарках першої стадії подрібнення ККД-1500/180 встановлено асинхронні двигуни потужністю 320 кВт.

- Струм холостого ходу двигуна становить 19 А.
- Номінальний струм двигуна дорівнює 40 А.
- Максимальний зафіксований струм навантаження складає 24 А.

Графік навантаження приводу дробарки ККД-1500/180 показано на рисунку 5.3.

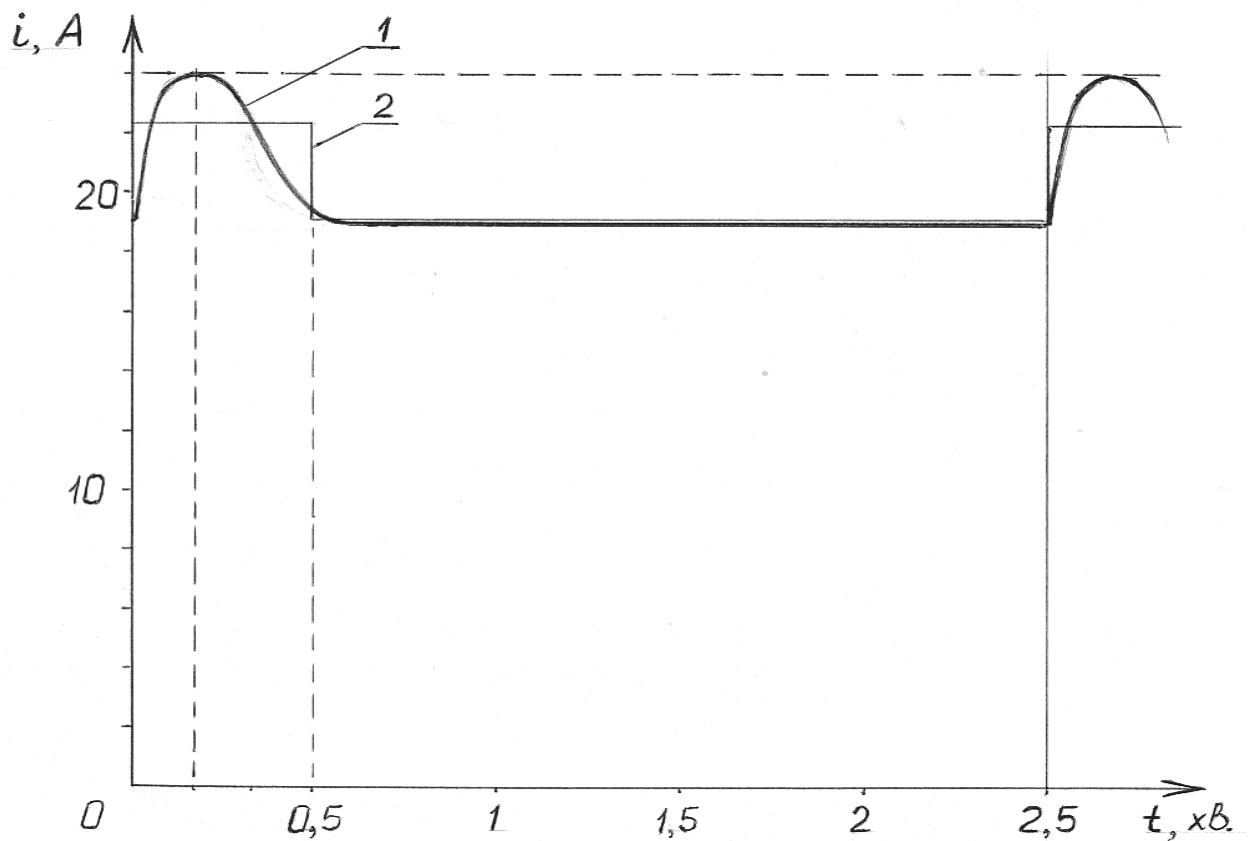


Рисунок 5.3 - Графік навантаження приводу дробарки ККД-1500/180.

На рисунку 5.3 крива 1 відображає залежність струму від часу в двигуні дробарки. Оскільки точність розрахунків не є критичною, для спрощення обчислень витрат електричної енергії будемо ступінчасту характеристику 2, яка відповідає апроксимованій залежності навантаження від часу.

Витрати електроенергії в електроприводі обчислюємо за формулою:

$$W = U \cdot i \cdot t \text{ кВА} \cdot \text{год} \quad (5.1)$$

Визначимо приблизні витрати електричної енергії в приводі дробарки першої стадії (1ст.) ККД-1500/180 за один період (цикл=2,5 хв.) роботи, за годину і за рік.

Витрати енергії за один цикл можна розрахувати так:

$$W_{\text{ц}} = P \cdot t$$

2,5 хвилин переводимо в години:

$$t=2,5/60=0,042$$

Витрати електричної енергії за один цикл:

$$W_{\text{ц}}=P \cdot t=320 \cdot 0,042=13,3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

За годину дробарка пропрацює:

Кількість циклів за годину:

$$i=3600 \text{ сек}/150 \text{ сек}=24$$

Тоді витрати електричної енергії за годину:

$$W_{\text{г}}= W_{\text{ц}} \cdot i=13,3 \cdot 24=320 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Припустимо, що дробарка працює 24 години на добу і 365 днів на рік:

$$W_{\text{р}}= W_{\text{г}} \cdot 24 \cdot 365=320 \cdot 24 \cdot 365=2803200 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Оскільки в першій стадії одночасно працює дві дробарки, кожна з яких має по два однакових двигуни, розрахуємо сумарні витрати електричної енергії за рік:

$$W_{\text{р1ст.}}= W_{\text{р}} \cdot 2 \cdot 2=2803200 \cdot 2 \cdot 2=11212800 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

При обстеженні роботи дробарок КРД другої стадії подрібнення було з'ясовано, що навантаження на дробарку має періодичний характер, це пов'язано з циклічністю роботи транспорту. Цикл вивантаження руди з бункерів, який відповідає вивантаженню думпкарів, відбувається через кожні 2–2,5 хвилини. Час, необхідний для проходження гірничої маси через дробарку середнього подрібнення, становить приблизно 1–1,5 хвилини.

Після цього спостерігається пауза між проходженнями гірничої маси, що триває від 1,0 до 1,5 хвилини. Ця перерва дозволяє дробарці адаптуватися до зміни навантаження та запобігти перевантаженню.

Крім того, важливо відзначити, що такі коливання в режимі роботи можуть негативно впливати на ефективність дроблення та споживання електричної енергії. Зокрема, під час пікових навантажень може збільшуватися споживана потужність, що в свою чергу призводить до підвищення витрат на електроенергію.

Аналіз цих параметрів є важливим для оптимізації роботи дробарок, адже зменшення часу пауз і підвищення продуктивності дозволить підвищити загальну ефективність дробильної установки. У подальшому доцільно провести детальний енергоаудит для визначення можливих енергозберігаючих заходів, які допоможуть знизити витрати та поліпшити продуктивність.

На дробарках другої стадії подрібнення моделі КРД-700/100 встановлено асинхронні двигуни потужністю 400 кВт. Відомі такі параметри:

Струм холостого ходу двигуна дробарки КРД становить - 21 А;

Номинальний струм двигуна дробарки КРД становить - 55 А;

Максимальний фіксований струм навантаження становить - 25 А.

Графік навантаження привода дробарки КРД-700/100 наведено на рисунку 5.4.

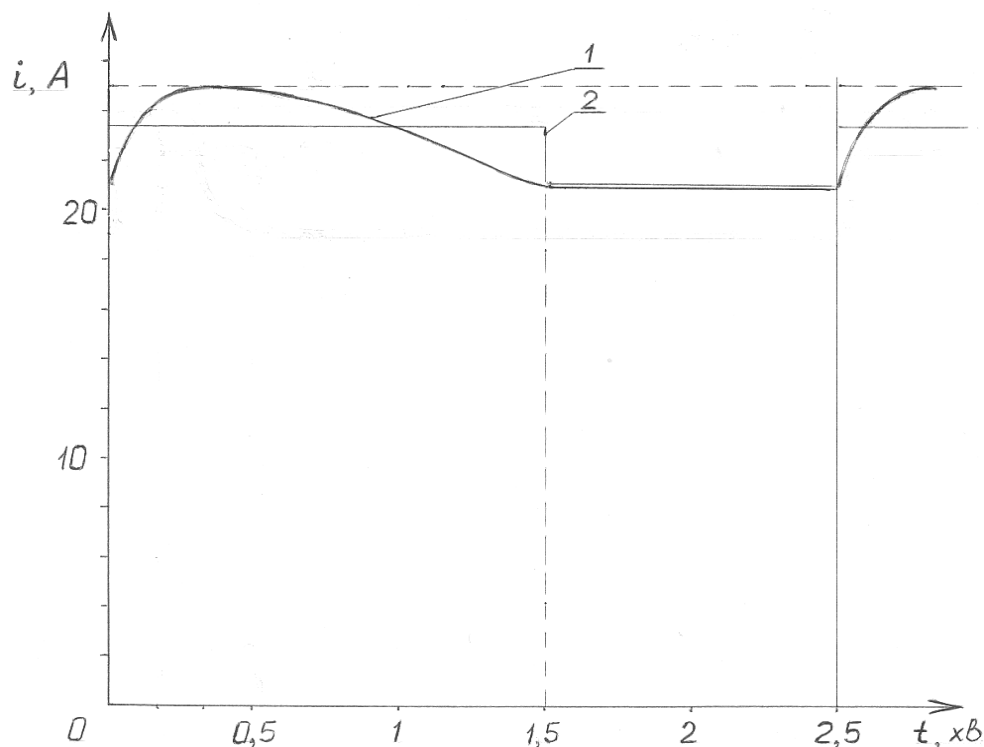


Рисунок 5.4 - Графік навантаження привода дробарки КРД-700/100

Щоб визначити приблизні витрати електричної енергії в приводі дробарки другої стадії (2ст.) КРД-700/100 за один період (цикл = 2,5 хв), за

годину і за рік, можна скористатися такими розрахунками:

Витрати енергії за один цикл:

$$W_{\text{ц}} = P \cdot t$$

2,5 хвилини переводимо в години:

$$t = 2,5/60 = 0,042$$

Витрати електричної енергії за один цикл:

$$W_{\text{ц}} = P \cdot t = 400 \cdot 0,042 = 16,67 \text{ кВА} \cdot \text{год}$$

За годину дробарка пропрацює:

Кількість циклів за годину:

$$i = 60 \text{ хв} / 2,5 \text{ хв} = 24$$

Тоді витрати електричної енергії за годину:

$$W_{\text{г}} = W_{\text{ц}} \cdot i = 16,67 \cdot 24 = 400 \text{ кВА} \cdot \text{год}$$

Припустимо, що дробарка працює 8760 год протягом року.

$$W_{\text{р}} = W_{\text{г}} \cdot 8760 = 400 \cdot 8760 = 3504000 \text{ кВА} \cdot \text{год}$$

Оскільки на другій стадії одночасно працює чотири дробарки, то сумарні витрати за рік:

$$W_{\text{гп2ст.}} = W_{\text{р}} \cdot 2 \cdot 2 = 3504000 \cdot 2 \cdot 2 = 14016000 \text{ кВА} \cdot \text{год}$$

Сумарні витрати електроенергії в обох дробарках 1-2 стадії подрібнення протягом року становлять:

$$W_{\text{гп1,2ст.}} = W_{\text{гп1ст.}} + W_{\text{гп2ст.}} = 11212800 + 14016000 = 25228800 \text{ кВА} \cdot \text{год}$$

5.1.2. Обстеження режимів роботи магістральних конвеєрів К-1 та К-2.

При аналізі роботи магістральних конвеєрів К-1 та К-2, які перевозять подрібнену руду з другої стадії подрібнення до корпусу третьої та четвертої стадій, було виявлено, що циклічність навантаження на ці конвеєри має такий же періодичний характер, як і у дробарок другої стадії. Цикл триває приблизно 2–2,5 хвилини. Час проходження гірничої маси

через магістральний конвеєр становить близько 1–1,5 хвилини. Пауза між проходженнями гірничої маси складає 1,0 хвилину.

Завантаження двигунів магістральних конвеєрів за струмом при максимальному навантаженні становить 80%, а при холостому ході – 40%. На конвеєрах К-1 та К-2 встановлені асинхронні двигуни з фазним ротором потужністю 800 кВт на великому приводі та 630 кВт на малому приводі.

Асинхронний двигун потужністю 800 кВт:

Номінальний струм АД становить - 110 А;

Струм максимального завантаження конвеєру (80%) - 88 А;

Струм мінімального завантаження конвеєру (40%) - 44 А.

Визначимо приблизні витрати електричної енергії в приводі двигуна 800 кВт магістрального конвеєру за один період (цикл=2,5 хв.) роботи, за годину і за рік:

Витрати енергії за один цикл:

$$W_{\text{ц}} = P \cdot t$$

2,5 хвилин переводимо в години:

$$t = 2,5 / 60 = 0,042$$

Витрати електричної енергії за один цикл:

$$W_{\text{ц}} = P \cdot t = 800 \cdot 0,042 = 33,3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

За годину конвеєр пропрацює:

Кількість циклів за годину:

$$i = 60 \text{ хв} / 2,5 \text{ хв} = 24 \text{ цикли}$$

Витрати електричної енергії за годину:

$$W_{\text{г}} = W_{\text{ц}} \cdot i = 33,3 \cdot 24 = 800 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Припустимо, що конвеєри працюють безперервно 8760 год протягом року, тоді

Витрати електричної енергії за рік:

$$W_{\text{р800}} = W_{\text{г}} \cdot 8760 = 800 \cdot 8760 = 7008000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

АД потужністю 630 кВт:

Номинальний струм АД потужністю 630 кВт складає - 86,6 А;

Струм при максимальному завантаженні конвеєру (80%) - 69,2 А;

Струм при мінімальному завантаженні конвеєру (40%) - 34,4 А.

Визначимо приблизні витрати електричної енергії в приводі двигуна 630 кВт магістрального конвеєру за один період (цикл=2,5 хв.) роботи, за годину і за рік:

Витрати енергії за один цикл:

$$W_{\text{ц}} = P \cdot t$$

2,5 хвилини переводимо в години:

$$t = 2,5 / 60 = 0,042$$

Витрати електричної енергії за один цикл:

$$W_{\text{ц}} = P \cdot t = 630 \cdot 0,042 = 26,25 \text{ кВА} \cdot \text{год}$$

За годину двигун пропрацює:

Кількість циклів за годину:

$$i = 60 \text{ хв} / 2,5 \text{ хв} = 24 \text{ цикли}$$

Витрати електричної енергії за годину:

$$W_{\text{г}} = W_{\text{ц}} \cdot i = 26,25 \cdot 24 = 630 \text{ кВА} \cdot \text{год}$$

Припустимо, що двигун працює безперервно 8760 год протягом року, тоді

Витрати електричної енергії за рік:

$$W_{\text{р630}} = W_{\text{г}} \cdot 8760 = 630 \cdot 8760 = 5513600 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Сумарні витрати електроенергії в двигунах приводів магістрального конвеєра К1 за рік складають:

$$W_{\text{зрк}} = W_{\text{зр800}} + W_{\text{зр630}} = 7008000 + 5513600 = 12521600 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Сумарні витрати електроенергії в електродвигунах приводів магістральних конвеєрів К1 та К2 за рік складають:

$$W_{\Sigma K1,K2} = W_{\Sigma 800 \cdot 2} + W_{\Sigma 630 \cdot 2} = 25043200 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Обстеження режимів роботи основного обладнання 3-4 стадії подрібнення та розрахунок витрат електроенергії виконується аналогічно. Сумарні витрати електроенергії в асинхронних двигунах 250 кВт та 315 кВт становлять 225648900 кВт·год.

5.2. Визначення можливих шляхів зниження споживання електроенергії в основному технологічному обладнанні дробарного відділення.

Згідно з попередніми розрахунками, річне споживання електроенергії основним енергоємним обладнанням ДВ-1 становить близько 72 836 900 кВт·год. Хоча цей розрахунок є орієнтовним, результати дозволяють зробити висновок, що навіть невелика економія енергії на кілька відсотків може перетворитися на значну суму в грошовому еквіваленті. Отже, пошук шляхів для зниження енергоспоживання є актуальним і важливим завданням.

Для його реалізації необхідно проаналізувати технологічну схему переробки руди на підприємстві, щоб виявити можливі напрямки вдосконалення та розглянути впровадження більш сучасного та енергоефективного обладнання в технологічний процес.

Аналіз технологічного процесу переробки руди на підприємстві ДВ-1 виявив кілька факторів, що можуть впливати на рівень енергоспоживання:

1. Руду на відділення ДВ-1 доставляють залізницею з кар'єрів. Варто відзначити, що руда з кар'єру проходить попередню обробку на дробарній фабриці ДФ-3 ГЗК, де здійснюється 1-2 стадії подрібнення. Обсяг цієї руди становить близько половини, а іноді й більше всієї сировини, що надходить

на ДВ-1, де вона піддається повторному дробленню на 1-2 стадії.

2. Під час дослідження якості руди на магістральних конвеєрах К1 та К2 було встановлено, що 60-70% руди після 2-ї стадії подрібнення вже досягає фракції 28 мм і менше, що дозволяє транспортувати її безпосередньо до збагачувального корпусу, оминаючи 3-4 стадії подрібнення на ДВ-1. Лише 30-40% руди потребують подальшої обробки на 3-4 стадіях дроблення.

3. У процесі обстеження енергоємного обладнання виявлено, що схеми запуску потужних асинхронних двигунів із фазним ротором на приводній станції конвеєрів К1 і К2 включають рідинні реостати компанії ELEKTROSCHALTGERATE MEERANE GMBH, які функціонують від початку введення цього обладнання в експлуатацію.

Реостатний запуск потужних асинхронних двигунів на сьогодні вже не є найенергоєфективнішою технологією.

5.3. Заходи для зменшення споживання електроенергії.

1. Аналіз першого фактора показав, що понад половина руди, яка надходить на відділення, не потребує повторного дроблення на першій стадії. Якщо створити обхідний маршрут подачі сировини, це дозволить зменшити витрати електроенергії, тимчасово зупинивши й вивівши в резерв дробарки ККД-1500/180. Найкращий варіант — оснастити обхідними шляхами обидва приймальні пункти руди.

Обстеження приймального пункту й корпусу 1-2 стадії показало, що можливо організувати обхідний маршрут навколо дробарок крупного дроблення ККД-1500/180, залишивши в робочому стані дробарки середнього дроблення КРД-700/100. Схема можливої реконструкції наведена на рисунку 5.5.

Переваги впровадження заходу 1:

Завдяки обхідному жолобу в приймальному пункті можна досягти економії:

– електроенергії через відключення двох асинхронних двигунів

сумарною потужністю 640 кВт, що призведе до річної економії кВА·год;

– електроенергії на освітлення;

– людсько-годин на обслуговування виведеного обладнання,

зокрема:

- дробарки ККД-1500/180,
- насосів мастильної станції,
- пускорегулюючої апаратури;
- мастила ТАП-15 (споживання 260 л кожні 60-70 днів).

Недоліки:

Дробарка КРД-700/100 неспроможна обробляти руду шириною понад 700 мм. Щоб усунути цей недолік, можна замінити дробарки КРД-700/100 на моделі КРД-900/100, встановивши їх на ті ж місця.

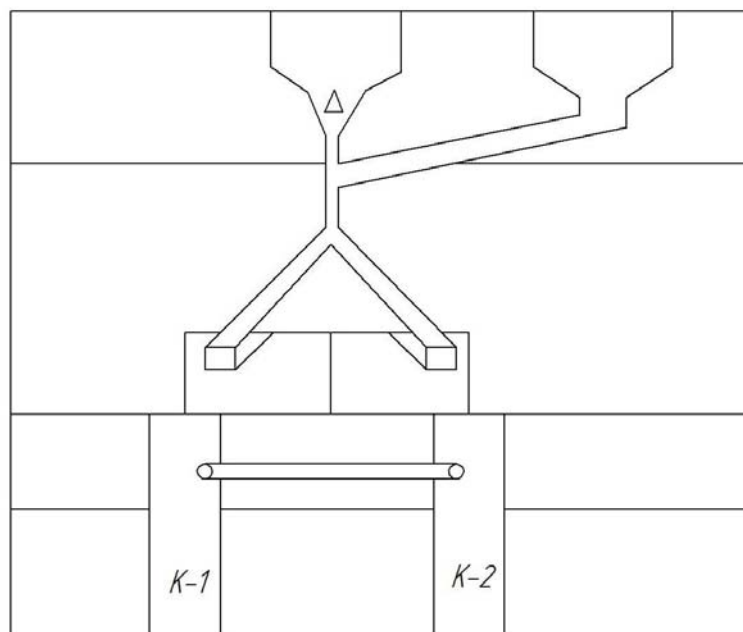


Рисунок 5.5 - Схема реконструкції технологічної схеми 1-2 стадії

2. Аналіз другого фактора показав, що 60-70% руди після другої стадії подрібнення має фракцію 28 мм і менше, чого достатньо для транспортування цієї руди безпосередньо до корпусу збагачення. Якщо

вдасться відокремити фракцію потрібного розміру й спрямувати її безпосередньо до збагачувального корпусу, оминаючи корпус 3-4 стадій подрібнення, це дозволить суттєво скоротити енергоспоживання шляхом відключення та виведення в резерв 6 або навіть 7 з 12 паралельних технологічних ліній.

Схема реконструкції конвеєрного тракту між корпусами 1-2 і 3-4 стадій подрібнення ДВ-1 зображена на рисунку 5.6.

Для реалізації такого заходу необхідно добудувати корпус гуркотіння до корпусу приводної станції магістральних конвеєрів К1 та К2, що дасть змогу відбирати 60% готової фракції руди й спрямувати її на збагачення у РЗФ-1. Це, в свою чергу, дозволить зупинити до 60% обладнання на 3-4 стадіях подрібнення ДФ-1. Для виконання такого проекту необхідно:

- модернізувати конвеєри К1 і К2,
- встановити гуркіт на кожен конвеєр,
- облаштувати перевантажувальні жолоби,
- додати додаткові магістральні конвеєри для транспортування руди до конвеєрів О-1 і О-2, що подають руду в РЗФ-1.

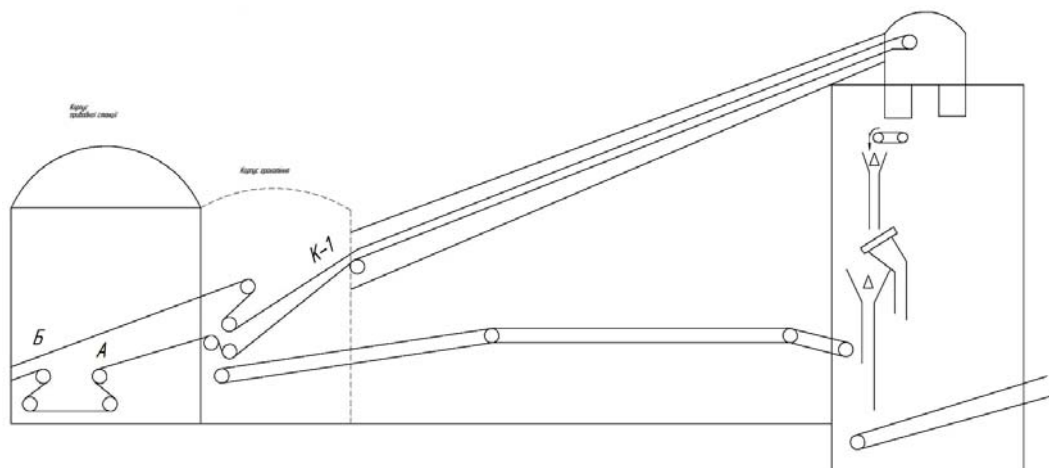


Рисунок 5.6 - Схема реконструкції конвеєрного тракту між корпусами 1-2 та 3-4 стадій ДВ-1

3. Аналізуючи третій фактор — можливу заміну рідинних пускачів у

схемах запуску потужних асинхронних двигунів конвеєрів K1 і K2, пропонується встановити гідравлічні турбомуфти виробництва VOITH. Турбомуфти VOITH значно покращують пускові характеристики двигунів з короткозамкненим ротором. При використанні турбомуфт разом із пусковою апаратурою для асинхронних двигунів з фазним ротором також можна знизити пікові струми при запуску, що зменшує енергоспоживання в пускових режимах роботи.

Турбомуфти VOITH забезпечують надійний захист приводів від ударних навантажень, блокувань і вібрацій, забезпечуючи розвантажений старт двигунів і плавне прискорення робочих механізмів. Вони широко застосовуються в приводах не лише конвеєрів, а й дробарок, млинів, сепараторів, насосів та іншого обладнання.

Впровадження турбомуфт VOITH сприятиме економії паливно-енергетичних ресурсів, покращенню режимів експлуатації обладнання, підвищенню надійності та безпеки технологічних процесів, а також збільшенню термінів експлуатації обладнання.

Турбомуфти з блоком відцентрових клапанів стали незамінними не лише в приводах забійних скребкових конвеєрів, а й ефективно застосовуються у багатьох електроприводах із слабкими або обмежено розрахованими електромережами. До інших типових сфер їхнього використання належать приводи, де важливе розвантаження двигуна під час частих запусків. Компанія Voith, завдяки різноманіттю форм лопаткових коліс, спеціально адаптованим блокам клапанів і різьбовим соплам, забезпечує індивідуальну оптимізацію муфти серії TV...F... — у тому числі й для конкретного привода конвеєра чи іншого обладнання.

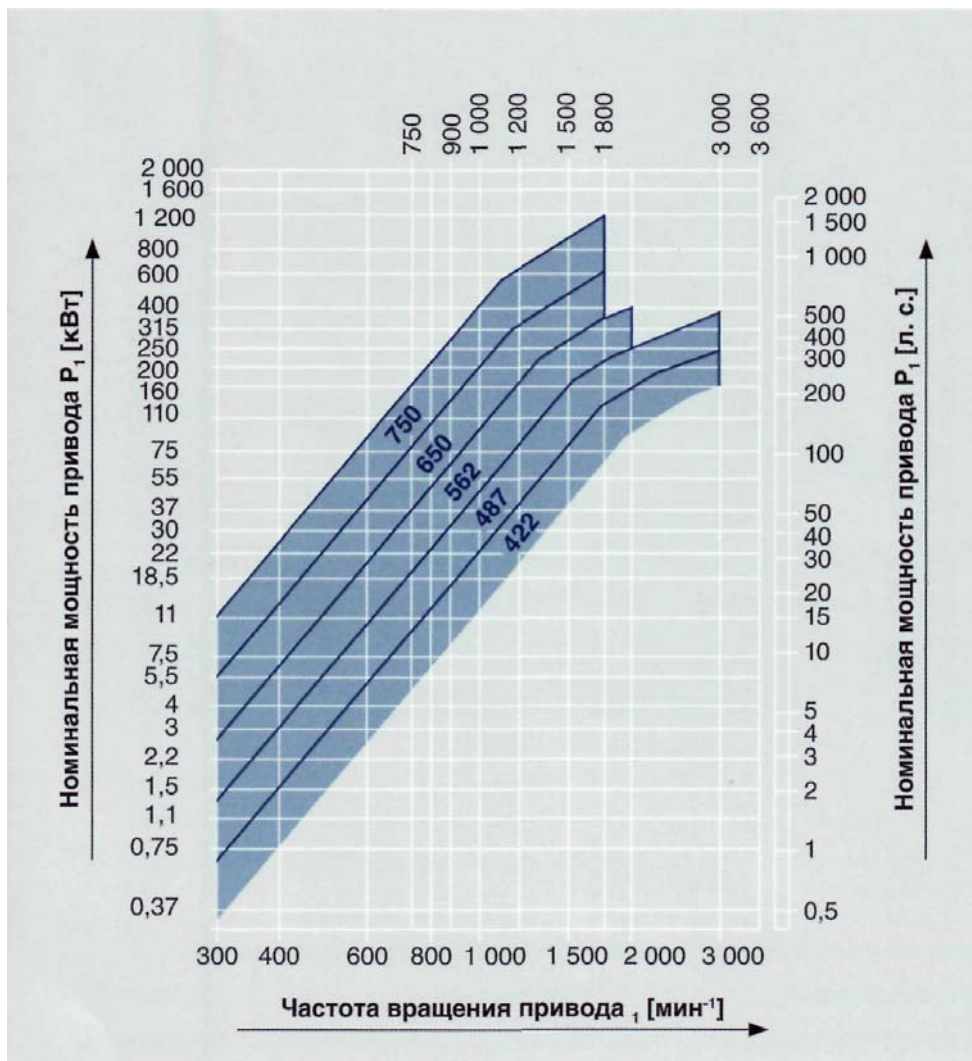


Рисунок 5.7 - Діаграма потужності для робочої рідини (мінеральне масло).

Використання турбомуфт Voith в електроприводах дробарок та мішалок.

Режим роботи дробарок або мішалок часто потребує високого моменту при запуску. Після розвантаженого пуску двигуна необхідно максимально швидко досягти максимального крутного моменту. Муфта серії TV...F... в приводі відповідає цим вимогам. Часткове спорожнення робочого простору через відкриті клапани зменшує початковий пусковий момент під час розгону двигуна. Додаткове швидке наростання крутного моменту забезпечується завдяки різьбовим соплам з більшим діаметром.

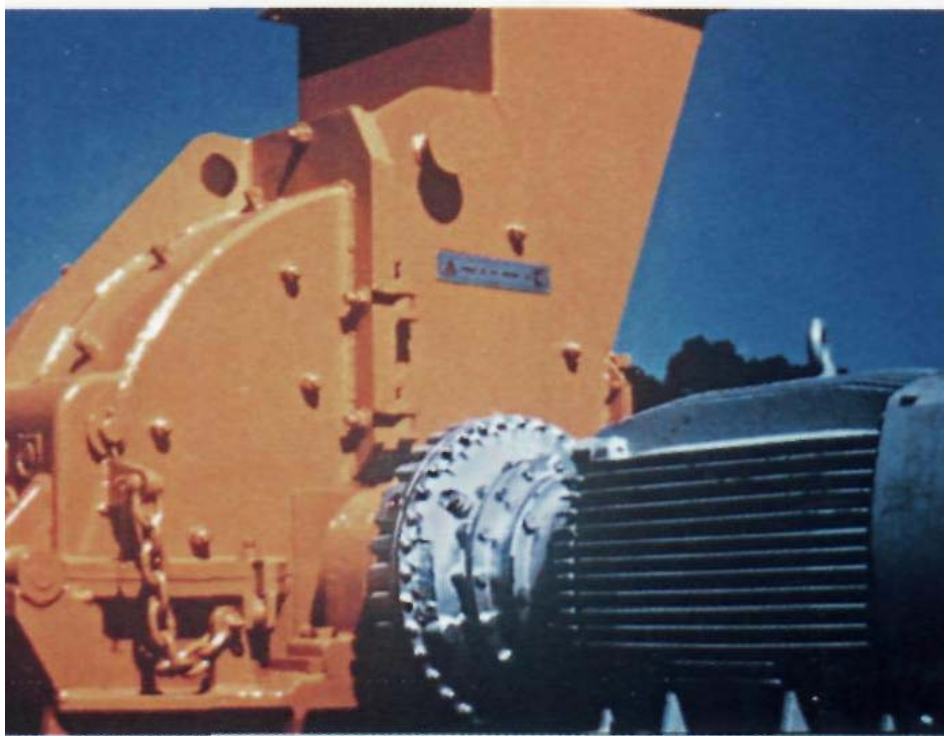


Рисунок 5.8 - Приклад оптимального використання потужності двигуна з використанням турбомуфт Voith в ударно-відбивній дробарці.

Комбінація турбомуфти із пристроями плавного запуску

Комбінація електричного пристрою плавного запуску з муфтою TV...F... дозволяє зменшити пікове споживання струму, незалежно від навантаження. Це дає можливість вибрати двигун та електроживлення установки з меншим запасом потужності. Як результат, зменшуються витрати на електроенергію під час пікових режимів споживання струму.

Використання багатошвидкісних двигунів.

Частота обертання привода значно впливає на передатні характеристики гідродинамічної муфти. Тому використання турбомуфти з багатошвидкісними двигунами в різних сферах можливе лише з певними компромісами. Спеціальні блоки клапанів у муфтах дозволяють досягти оптимальної адаптації передатних характеристик до конкретних частот обертання двигуна.

5.4. Оцінка потенційної загальної економії витрат електроенергії в енергоємному обладнанні дробарного відділення.

Завдяки впровадженню заходу 1, а саме використанню обвідного жолобу в приймальному пункті, можна зменшити витрати електроенергії шляхом відключення двох асинхронних двигунів загальною потужністю 640 кВт, що в річному обсязі становитиме приблизно 1,032,178 кВА·год.

Завдяки реалізації заходу 2, що передбачає спорудження корпусу гуркотіння та перевантаження рудної маси на нові конвеєри для транспортування руди безпосередньо до рудозбагачувальної фабрики РЗФ-1, минаючи 3-4 стадії подрібнення, також можливо скоротити витрати електроенергії. Це стане можливим за рахунок зупинки та виведення в резерв 6, або навіть 7 з 12 паралельних технологічних ліній 3-4 стадії. Для оцінки економії візьмемо до уваги скорочення 6 технологічних ліній.

Витрати електроенергії в дробарках 3-4 стадії однієї технологічної лінії протягом року състановлять:

$$W_{рл} = W_{рДР3ст.} + W_{рДР4ст.} = 11082100 + 9687900 = 20770000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_{рДР3ст.} = 11082100 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_{рДР4ст.} = 9687900 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Витрати електроенергії в 6 паралельних технологічних ліній 3-4 стадії протягом року складають:

$$W_{р\Sigma 6} = 20770000 \cdot 6 = 12462000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Завдяки реалізації заходу 3, який передбачає впровадження в систему привода потужних магістральних конвеєрів та їх можливе використання в системах приводів дробарок різних стадій, можна досягти економії витрат електроенергії. Однак ця економія буде незначною в порівнянні з економією, отриманою від відключення дробарок. Наприклад, дробарка за умов нормальної експлуатації зупиняється лише один раз на тиждень, тоді як

привод магістральних конвеєрів може зупинятися кілька разів за зміну. Графік фактичного навантаження приводної станції магістрального конвеєра K1 протягом доби представлено на рисунку 5.17.

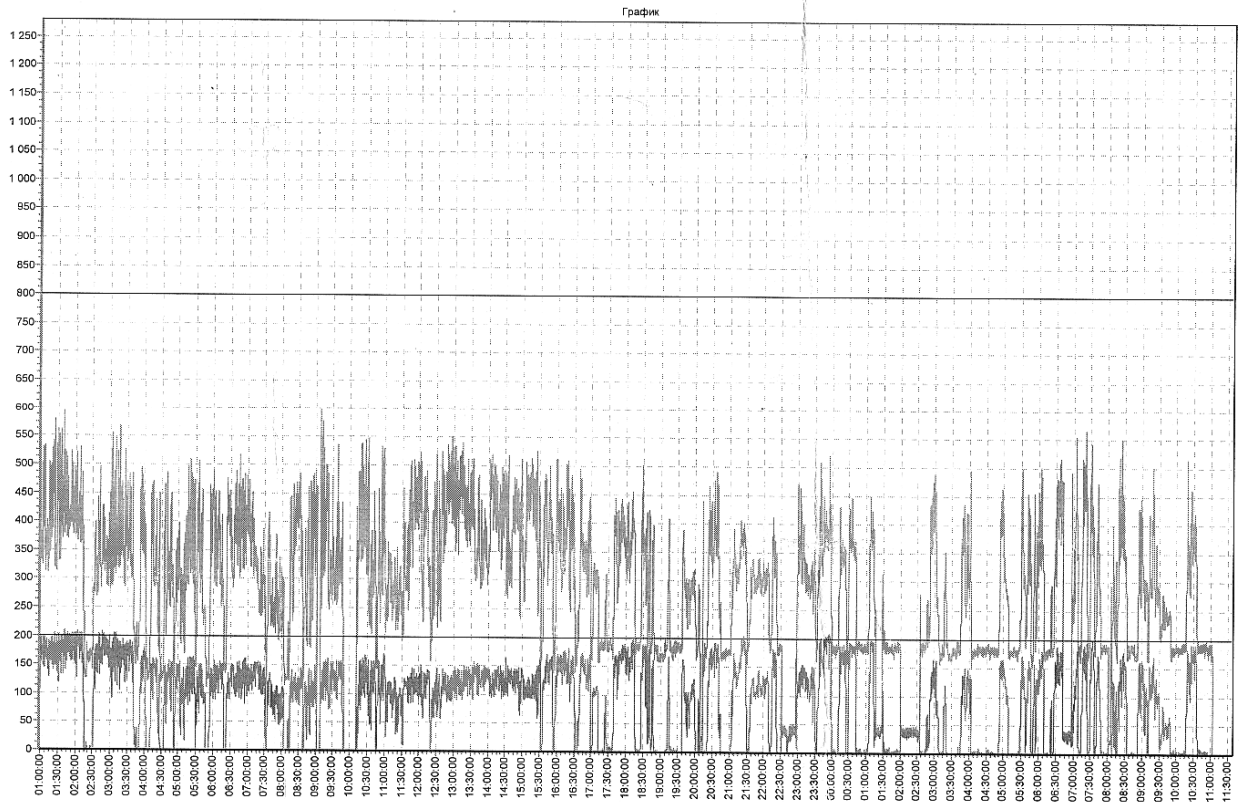


Рисунок 5.9 - Графік навантаження електроприводної станції магістрального конвеєру протягом доби

Варто зазначити, що в результаті запропонованої реконструкції технологічної схеми дробарної фабрики ДФ-1 з'являться нові потужні електроприймачі у вигляді двох додаткових конвеєрів та гуркотів. Попередньо припустимо, що для нових магістральних конвеєрів буде використовуватися двухдвигуновий привод з потужністю кожного асинхронного двигуна 400 кВт. Внаслідок часткового розвантаження потужність двигунів магістральних конвеєрів K1 та K2 також може бути зменшена майже вдвічі.

Також слід зазначити, що при відключенні дробарок 3-4 стадії з мережі фабрики буде від'єднано додаткове обладнання технологічних ліній, таке як

гуркоти, конвеєри-живильники та масляні насоси. Тому на етапі попередніх оціночних розрахунків витрати енергії в додатковому обладнанні не будемо враховувати.

Можлива сумарна економія витрат електроенергії в енергоємному обладнанні дробарної фабрики за рік приблизно складає:

$$W_{p.ек\Sigma} = W_{p.ДР1ст.} - W_{p\Sigma6} = 25228800 - 12462000 = 12\,766\,800 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

6 ОХОРОНА ПРАЦІ НА ГЗК

6.1. Служба охорони праці на підприємстві.

На підприємствах, де працює 50 і більше осіб, роботодавець зобов'язаний організувати службу охорони праці згідно затвердженого типового положення, яке регулюється центральним органом виконавчої влади, що займається наглядом за безпекою праці.

Якщо ж кількість працівників становить менше 50, функції служби охорони праці можуть виконувати співробітники, які мають відповідну кваліфікацію, в рамках сумісництва.

На підприємствах з чисельністю працівників не більше 20 осіб для забезпечення охорони праці залучаються фахівці з боку на основі контракту, якщо вони мають необхідну підготовку.

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо керівництву підприємства.

Керівники та фахівці цієї служби мають рівень заробітної плати та статус, які відповідають посадовим обов'язкам керівників та спеціалістів основних виробничих і технічних підрозділів.

Таким чином, структура організації охорони праці залежить від чисельності працівників та їх кваліфікації, що забезпечує належний рівень безпеки на підприємстві.

Спеціалісти служби охорони праці мають ряд прав, які вони можуть застосовувати при виявленні порушень у сфері охорони праці:

- Вони можуть видавати керівникам структурних підрозділів обов'язкові приписи щодо усунення виявлених недоліків. Окрім того, вони мають право отримувати від цих керівників потрібну інформацію, документацію та пояснення з питань безпеки праці.

- У разі виявлення працівників, які не пройшли медичний огляд, навчання, інструктаж або перевірку знань, спеціалісти можуть вимагати їх відсторонення від роботи. Це стосується також осіб, які не мають

відповідного допуску до виконання своїх обов'язків або не дотримуються норм законодавства в галузі охорони праці.

– Спеціалісти служби також мають право зупиняти роботу на виробництві, в окремих підрозділах, а також призупиняти роботу машин, механізмів та устаткування, якщо є загроза життю або здоров'ю працівників.

– Крім цього, вони можуть направляти роботодавцеві подання щодо притягнення до відповідальності працівників, які порушують правила охорони праці.

Ці права покликані забезпечити безпечні умови праці та захистити робітників від небезпек на робочому місці.

Припис, виданий спеціалістом з охорони праці, може бути скасований виключно роботодавцем. Що стосується ліквідації служби охорони праці, то це можливо лише у випадку закриття підприємства або припинення використання найманої праці фізичною особою. Це забезпечує стабільність та контроль у сфері охорони праці, а також гарантує, що вимоги безпеки залишаються в силі до моменту завершення діяльності підприємства.

6.2. Заходи по усуненню шкідливих факторів.

У сучасних умовах виробництва окремі ініціативи щодо покращення умов праці та запобігання травмуванню виявляються недостатньо ефективними. Тому важливо реалізовувати їх у комплексі, інтегруючи в загальну систему управління виробництвом підсистему, що відповідає за безпеку праці. Керування охороною праці слугує програмно-цільовим комплексом, спрямованим на підготовку, ухвалення та реалізацію рішень (організаційно-технічних та лікувально-профілактичних заходів), що забезпечують безпеку, а також збереження здоров'я та працездатності працівників під час виконання трудових обов'язків.

Для пом'якшення негативного впливу різноманітних факторів необхідно розробити як колективні, так і індивідуальні заходи для створення

нормативних умов охорони праці, що включають розподіл обов'язків серед служб та визначення посадових обов'язків.

Захист від шуму та вібрації. Одним із найважливіших підходів до зниження шумового навантаження на виробничих об'єктах є зменшення шуму безпосередньо в його джерелах — у електричних машинах, верстатах, механізмах, компресорах, вентиляторах тощо.

Будівельні норми та правила (СНіП) пропонують акустичний захист від шуму через застосування специфічних методів, серед яких:

а) звукоізоляція конструкцій, що захищають; ущільнення країв вікон, дверей та воріт; звукоізоляція місць, де інженерні комунікації перетинають захисні конструкції; установка звукоізованих кабін для спостереження та дистанційного управління технологічним обладнанням; укриття та кожухи для джерел шуму;

б) встановлення в приміщеннях звукопоглинальних конструкцій та екранів;

в) використання глушників для зменшення аеродинамічного шуму, а також звукопоглинального облицювання в системах вентиляції та кондиціонування повітря;

г) впровадження екранів і озеленення території для зниження шумового впливу.

Для захисту від шуму використовуються індивідуальні засоби, такі як спеціальні навушники та вкладиші для вушних раковин. Їх захисна дія ґрунтується на ізоляції і поглинанні звукових хвиль, що дозволяє зменшити вплив шуму на слух працівників.

З метою захисту від вібрацій на робочих місцях, а також для охорони устаткування та будівельних конструкцій, застосовують метод віброізоляції. Це досягається шляхом установки пружних елементів між вібруючими машинами та основою, на якій вони розміщені. Як амортизатори вібрацій можуть використовуватися сталеві пружини або гумові прокладки, які допомагають зменшити передачу вібрацій на поверхню.

Щоб зменшити вібрацію корпусів, огорож та інших конструкцій, виготовлених із сталевих листів, застосовують вібропоглинальні матеріали. На вібруючі поверхні наносять шари гуми, мастик або пластиків, які здатні розсіювати енергію вібрацій, а також знижувати рівень виробничого шуму.

Для індивідуального захисту від вібрацій, які передаються через ноги, рекомендується носити взуття з повстяною або товстою мікропористою гумовою підошвою. Це допомагає зменшити вплив вібрацій на організм. Для захисту рук від вібрацій радять використовувати віброгасящі рукавички, які забезпечують додаткову безпеку та комфорт під час роботи з вібруючими інструментами.

6.3. Заходи по безпечній експлуатації електроустановок.

Діяльність гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) передбачає виконання різноманітних заходів для забезпечення техніки безпеки та протипожежної безпеки, які відповідають вимогам правил технічної експлуатації (ПТЕ), протипожежної безпеки (ПТБ) та правил улаштування електроустановок (ПУЕ).

Організаційні заходи, що забезпечують безпечну експлуатацію електричних установок, включають оперативне обслуговування діючих електрообладнань. Це, у свою чергу, передбачає проведення регулярних і позачергових оглядів систем електропостачання та електроприймачів, контроль за споживанням електроенергії, а також оперативні перемикання в електричних мережах для забезпечення безперебійного живлення.

Обслуговування електроустановок виконується інженерно-технічним, черговим і оперативно-ремонтним електротехнічним персоналом. Конкретні обов'язки чергового персоналу, закріплені за певною електроустановкою, визначаються місцевими інструкціями. В цих інструкціях також повинні бути прописані основні заходи з електробезпеки та протипожежної безпеки, що стосуються експлуатованого електрообладнання.

Оперативне обслуговування може виконуватися як одним співробітником, так і кількома. Кількість персоналу, необхідного для

кожного цеху, ділянки або підстанції, встановлюється головним енергетиком підприємства.

При обслуговуванні електроустановок з напругою понад 1000 В старший зміни (бригадир) або черговий повинні мати кваліфікаційну групу з техніки безпеки не нижче IV, тоді як у випадку електроустановок до 1000 В — не нижче групи III.

Організаційні заходи для забезпечення безпеки при виконанні небезпечних робіт в електроустановках включають кілька важливих етапів: оформлення нарядів або розпоряджень для проведення робіт, допуск робітників до виконання завдань, нагляд за виконанням робіт, оформлення перерв у роботі та переміщень бригади на інші робочі місця, а також оформлення закінчення робіт і закриття наряду.

Оформлення наряду необхідно для робіт, що виконуються з повним або частковим зняттям напруги з ремонтуємої електроустановки, а також для робіт, які проводяться без зняття напруги, поблизу або на струмоведучих частинах, що перебувають під напругою. Такі роботи зазвичай вимагають підготовки робочого місця та виконання ряду технічних заходів, спрямованих на забезпечення їх безпечного виконання.

Організаційні заходи, спрямовані на забезпечення безпеки виконання робіт у процесі поточної експлуатації, включають:

- складання переліку робіт відповідальною особою за електрогосподарство підприємства, враховуючи специфічні умови виробництва, який затверджується головним механіком;
- оцінка виконавцем необхідності та можливості безпечного виконання певної роботи.

Ці роботи вважаються постійно дозволеними і не потребують оформлення додаткових розпоряджень.

У електроустановках підприємства реалізуються такі технічні захисні заходи:

1) Малі напруги. Якщо номінальна напруга електроустановки не перевищує допустимого рівня напруги дотику, навіть одночасний дотик людини до струмоведучих частин різних фаз або полюсів буде безпечним. У технологічному процесі комбінату використовується ручний електроінструмент з номінальною напругою 42 В. Дотик до однофазного струмоведучого елемента або до корпусу, що опинився під напругою, буде безпечним, оскільки струм через тіло людини визначається опором ізоляції та малою напругою. Однак у вологих приміщеннях, де опір людини може знижуватися, струм, що проходить через людину при дотику до двох фаз, може бути небезпечним. Тому необхідно вживати додаткові заходи безпеки.

2) Електричний розділ мереж. Довга і розгалужена мережа має високу ємність і низький активний опір ізоляції щодо землі, що може призвести до значного струму замикання. Тому однофазний дотик у такій мережі, навіть при ізольованій нейтральній, є небезпечним. Щоб зменшити ризики, єдину мережу з великою ємністю і малим опором ізоляції слід розділити на кілька менших мереж з аналогічною напругою, але з низькою ємністю і високим опором ізоляції. Це значно знижує небезпеку. Наприклад, якщо опір фаз у мережах 380 В перевищує 63 кОм, а опір тіла людини становить 1,0 кОм, струм, що проходить через людину, не перевищить 10 мА.

Електричне розділення мереж зазвичай реалізується шляхом підключення окремих електроприймачів через роздільний трансформатор, який живиться від основної мережі. Особливу небезпеку становить продовження роботи електроустановки при глухому замиканні на землю, оскільки в такому випадку людина, що торкається справної фази, може потрапити під лінійну напругу. Щоб уникнути цієї небезпеки, необхідно регулярно здійснювати контроль ізоляції.

3) Контроль та профілактика ушкоджень ізоляції.

Приймально-здаточні випробування виконуються при введенні в експлуатацію нових або відремонтованих електроустановок. Обсяг та норми цих випробувань регулюються правилами ПУЕ, ПТЗ та ПТБ.

Періодичний контроль ізоляції передбачає вимірювання опору ізоляції після монтажу, а також на регулярній основі, відповідно до встановлених норм, або в разі виявлення дефектів. Вимірювання слід проводити лише на вимкненій установці. Опір ізоляції вимірюється для кожної фази на кожному ділянці між двома послідовно встановленими апаратами захисту або за останнім захисним апаратом. Норми для опору ізоляції встановлені у відповідних регламентах.

Для отримання загальної картини опору ізоляції всієї мережі, заміри слід проводити під робочою напругою. Однак такий контроль можливий тільки для мереж з ізольованою нейтраллю.

4) Захист від випадкового дотику

Для запобігання можливості випадкового дотику та небезпечного наближення до струмоведучих частин на підприємстві впроваджуються різноманітні заходи. Зокрема, використовуються огороження, розташування струмоведучих частин на недоступних висотах та електричні блокіровки. Огороження можуть бути як суцільними, так і сітчастими, що забезпечує додатковий захист.

Електричні блокіровки реалізуються на кінцевих вимикачах або герконах, що запобігає випадковому ввімкненню електроустановок. Щоб захистити працівників від доторкання до частин, які можуть виявитися під напругою, застосовується також подвійна ізоляція. Це система, що включає основну (робочу) та додаткову ізоляцію. Додаткова ізоляція служить для захисту від ураження електричним струмом у випадках, коли робоча ізоляція може бути порушена.

Найпростішим способом реалізації подвійної ізоляції є покриття ручок і певних частин корпусів електрообладнання електроізоляційними

матеріалами, а також використання ізолюючих ручок. Ці заходи сприяють підвищенню безпеки та зменшенню ризиків, пов'язаних із електричним струмом.

5) Захисне заземлення

Використання захисного заземлення в мережах із заземленою нейтраллю з напругою до 1000 В вважається неефективним. Це пояснюється тим, що навіть при глухому замиканні на землю струм не залежить від опору заземлення: чим нижчим є опір, тим більшим стає струм. Тому захисне заземлення більш доцільно використовувати в цехових мережах з напругою 10 кВ та ізолюваною нейтраллю. У таких мережах захисне заземлення реалізується у вигляді замкненого контуру навколо головного заземлюючого пристрою (ГЗП).

б) Занулення

Занулення застосовується в чотирипровідних мережах з напругою до 1000 В, які мають заземлену нейтраль. Для скорочення тривалості режиму замикання на корпус електроприймача прокладається нульовий провід, який з'єднується із заземленою нейтраллю джерела електроживлення та повторними заземлювачами. У системі занулення корпуси електрообладнання з'єднуються з нульовим проводом, а не безпосередньо з заземлювачами.

Цей підхід перетворює замикання на корпус електроприймача в однофазне коротке замикання, що, в свою чергу, активує захисні пристрої (наприклад, магнітні пускачі або автоматичні вимикачі), які селективно відключають пошкоджену ділянку мережі. Завдяки такій схемі знижується ризик ураження людей електричним струмом та забезпечується додаткова безпека в експлуатації електричних установок.

6.4. Заходи безпеки при обслуговуванні кабельних ліній.

Кабельні лінії (КЛ), які проходять під землею або в спеціально відведених спорудах, забезпечують надійність електропостачання та гарантують безпеку для людей. Небезпека електричного ураження може

виникнути, якщо струмоведуча жила замикається на металічну оболонку, що не має заземлення.

Для електротехнічного персоналу, який обслуговує кабельні лінії, існує кілька ситуацій, які можуть призвести до небезпеки електричного ураження:

- Кабельна лінія може бути вимкнена, але не розряджена, що створює ризик ураження розрядним струмом, величина якого залежить від ємності (довжини) кабелю та напруги до вимкнення.

- Під час виконання робіт може статися помилкове відключення іншої кабельної лінії, і, не перевіривши відсутність напруги, працівник може торкнутися струмоведучих жил.

- При перенесенні (перекладанні) невідключеного кабелю з відкритої траншеї, особливо в зимовий період, може статися недопустиме згинання або розрив оболонки і ізоляції, в результаті чого оболонка та броня опиняються під напругою.

- Під час різання кабелю, що відключений для ремонту, або відкриття кабельної муфти, працівник може натрапити на невідключений кабель, не перевіривши його стан.

- Кабелі без сталеві броні, які прокладені відкрито, не мають захисту від механічних пошкоджень, тому пошкодження оболонки може призвести до появи напруги.

- Землерийні роботи, виконувані землерийною машиною або ручним інструментом, можуть пошкодити кабель, закладений у землю.

Зважаючи на ризик електричного ураження, пов'язаного з активними кабельними лініями, важливо дотримуватися інструкцій, викладених у Правилах технічної експлуатації та Правилах технічної безпеки. Особливо це стосується процесу введення в експлуатацію нових кабельних ліній або після капітального ремонту, коли слід виконати електричні випробування відповідно до вимог Правил влаштування електроустановок.

Огляди кабельних трас напругою до 35 кВ проводяться у такі терміни:

- а) для кабелів, прокладених у землі – не менше ніж 1 раз на 3 місяці;
- б) для кінцевих муфт при напрузі вище 1000 В – не рідше 1 разу на 6 місяців, а при напрузі до 1000 В – 1 раз на 12 місяців;
- в) для кабельних колодязів – 1 раз на 6 місяців.

Під час паводків і після сильних дощів проводять позачергові огляди.

При перевірці зовнішніх кабельних трас важливо контролювати, щоб в межах охоронної зони (1 метр з обох сторін траншеї) не виконувались розкопки, не будувались споруди, а також не садилися дерева та кущі. Також слід перевірити наявність відповідних знаків.

При огляді кабельних колодязів звертають увагу на стан люків (нижня кришка має бути щільно закрита) та вентиляційні системи. В колодязях, розташованих у тунелях, не повинно бути води, сторонніх предметів чи матеріалів.

Огляди та роботи в кабельних спорудах несуть підвищений ризик для електротехнічного персоналу через можливу появу шкідливих і вибухонебезпечних газів, а також ризик електричного ураження.

У кабельному колодязі може працювати одна людина з кваліфікаційною групою не нижче III, якщо поруч чергує друга особа. Огляд кабельних тунелів дозволено виконувати самотійно одній людині. Перед початком роботи або огляду в кабельних спорудах необхідно перевірити відсутність шкідливих чи горючих газів. Для цього використовується газоаналізатор, але не варто застосовувати відкритий вогонь.

Для видалення шкідливих газів із кабельного колодязя, в якому немає припливно-витяжної вентиляції, чисте повітря нагнітають за допомогою вентилятора або компресора, встановленого зовні, причому рукав має бути опущений всередину, але не досягати дна колодязя на відстані 0,25 м. Відкритий кабельний колодязь має бути обладнаний огороженням і попереджувальним знаком.

Під час роботи обслуговуючого або ремонтного персоналу в тунелях або колекторах повинні бути відкритими два люки чи двері з обох сторін від

працюючих. Це робиться для того, щоб у випадку аварії або пожежі вони мали можливість швидко вийти з кабельної споруди в будь-якому напрямку.

При виконанні робіт у кабельних колодязях розпалювання паяльної лампи та розігрівання кабельної маси слід проводити ззовні. Розігріта мастика і розплавлений припой передаються помічником у закритій каструлі або ковші, підвішеному до сталевого тросу.

Для тимчасового освітлення робочих місць у колодязях і кабельних тунелях використовують електролампи з напругою 12 В, які живляться від понижуючого трансформатора, або акумуляторні батареї.

Всі земляні роботи в зоні кабельної лінії виконуються з обережністю та лише за дозволом організації, що експлуатує кабелі. Відкриті кабелі необхідно захищати від пошкоджень дошками та укріплювати від провисання, підвішуючи їх до брусів, перекинутих через котлован. При розкопках ґрунту поблизу кабельної лінії потрібно бути дуже обережними, щоб уникнути пошкоджень. Використання відбійних молотків і землерийних машин дозволяється лише на такій глибині, щоб до кабелів залишався шар ґрунту не менше 0,4 м. Розкопки екскаватором можна виконувати не ближче ніж за 1 м від кабелів, оскільки це може призвести до їх пошкодження та ураження електричним струмом.

Взимку, при розкопках кабелів, землю необхідно відігрівати, при цьому шар ґрунту від поверхні до прокладених кабелів має бути не менше 0,5 м. У такому випадку використання ломів або відбійних молотків заборонено, землю обробляють тільки лопатою.

Різнорізані ремонтні роботи на кабельній лінії виконуються за нарядом. Перед початком роботи кабель необхідно відключити з обох сторін, після чого перевіряється відсутність напруги, а струмоведучі частини замикаються накоротко і заземлюються. На рукоятці вимикача або роз'єднувача відключеного кабелю вивішується плакат "Не вмикати – робота на лінії".

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено комплексний аналіз сучасних систем прогнозування споживання електричної енергії на промислових підприємствах. В результаті цього дослідження була розроблена система прогнозування електроспоживання, орієнтована на підрозділи гірничої промисловості, яка продемонструвала високу точність у своїх прогнозах.

Аналіз основних існуючих систем прогнозування споживання електричної енергії свідчить про те, що для досягнення оптимальних результатів доцільно застосовувати моделі, базовані на штучних нейронних мережах. Було проведено детальне дослідження, яке виявило залежність між споживанням електроенергії в підрозділі комбінату та рядом факторів, що на нього впливають. Результати прогнозування показали, що отримані дані майже точно відображають фактичне споживання електричної енергії, з похибкою, що не перевищує 5%.

Розроблено і запропоновано систему прогнозування електроспоживання для гірничо-металургійних підприємств, що спирається на дані, отримані від різних підрозділів. Ця система виявилася надійною, про що свідчать результати її тестування.

У процесі дослідження витрат електроенергії в основному енергоємному обладнанні дробарного відділення гврничого підприємства було проведено обчислення сумарних витрат. Аналіз режимів роботи ключових енергозатратних установок і технологічної схеми підрозділу дозволив оцінити потенційні можливості для зниження витрат електричної енергії на підприємстві.

Згідно з проведеними розрахунками, можлива економія електроенергії в основному енергоємному обладнанні досягає приблизно 35%. Цей потенціал економії може суттєво вплинути на загальні витрати підприємства, особливо в умовах постійно зростаючих цін на енергоресурси. У зв'язку з цим, враховуючи поточні економічні умови, що стосуються цін на

енергоресурси та ймовірного їх зростання, можна з упевненістю стверджувати, що проведення реконструкції на підприємстві є економічно виправданим і доцільним. Цей підхід може суттєво знизити витрати на енергію та підвищити ефективність виробничих процесів, що, в свою чергу, сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємства на ринку. Впровадження запропонованих рішень може також позитивно вплинути на екологічну ситуацію, зменшуючи викиди забруднюючих речовин у довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кваліфікаційна робота магістра : метод. рекомендації до змісту, структури та оформлення кваліфікаційної роб. : для студ. спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков, К. Г. Петрова, Н. Ю. Гарасьова та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 74 с.
2. Нейронні мережі : теорія та практика: навч. посіб. / С. О. Субботін. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2020. – 184 с.
3. Vakurova, A., Yuskiv, O., Shyrokorad, D., Riabenko, A. i Tereschenko, E. (2021) «Нейромережеве прогнозування енергоспоживання металургійного підприємства», сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості, (1 (15), с. 14–22.
4. Енергетичний менеджмент та аудит : метод. рекомендації до виконання практ. роб. : для студ. спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, К. Г. Петрова, В. П. Солдатенко, О. І. Сіріков] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 39 с.
5. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2015. – 287 с. ISBN 978-966-402-076-0
6. Інтелектуальні методи в управлінні: навчальний посібник / Л. В. Дранишников. — Кам'янське: ДДТУ, 2018. — 416 с.
7. Плешков, С. П. Енергоефективний електропривод у промисловості та сільськогосподарському виробництві: навч. посіб. / Плешков С. П., Серебренніков С.В. - Кіровоград: КНТУ, 2016.- 156 с.
8. Опанасенко С.І. Навчальний посібник. – Д.: Національний гірничий університет. 2002. – 282 с. 2. Дослідження техніко-економічних показників

гірничодобувних підприємств України та ефективності їх роботи в умовах змінної кон'юнктури світового ринку залізорудної сировини: Монографія / Є.К. Бабець, І.Є. Мельникова, С.Я. Гребенюк, С.П. Лобов; за ред. Є.К. Бабця; НДГРІ ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг: Вид. Р.А. Козлов, 2015. – 391 с.

9. Енергозбереження та енергетичний аудит : навчальний посіб. / В.А. Маляренко , І.А. Немировський. – 2–е вид., перероб. і доп. – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – 344 с.

10. Оцінювання деградації фотоелектричних станцій в задачі прогнозування генерування електроенергії. Монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 216 с.

11. П.Г.Плешков, Ю.І.Казанцев, А.Ю.Орлович. Основи енергозбереження та енергозберігаючі режими в системах електропостачання промислових підприємств. – Кіровоград: РВЛ КНТУ 2007.

12. Методичні вказівки до виконання магістерських робіт на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня – магістр електротехніки за фахом 8.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання». /Укл.: П.Г.Плешков, Н.Ю.Гарасьова – Кіровоград: КДТУ, 2002-44 с.

13. Основи нейрокомп'ютингу : навчально-методичний посібник до практичних занять / В. Д. Дмитрієнко, О. Ю. Заковоротний, В. І. Носков, М. В. Мезенцев. – Х.: НТМТ, 2014. – 140 с.

14. Охорона праці на підприємстві. Практичний посібник з розробки та ведення документації. Ізгородін В.А. Видання 3-е перероблене і доповнене

15. Охорона праці в галузі: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2023. 586 с.е. 2019 р.