

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

Інженерний інститут

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій

(повна назва факультету)

Кафедра електротехніки та енергоефективності

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

на тему Підвищення енергоефективності руднотермічної печі  
в умовах АТ «Запорізький феросплавний завод»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕТ-18-1мз  
Міщенко В.Ю.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

Керівник

Артемчук В.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2020 року

Запорізький національний університет

Інженерний інститут

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет	енергетики, електроніки та інформаційних технологій (повна назва факультету)
Кафедра	електротехніки та енергоефективності (повна назва кафедри)
Рівень вищої освіти	другий (магістерський) рівень (повна назва кафедри)
Спеціальність	141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (шифр і назва)
Спеціалізація	 (шифр і назва)
Освітньо-професійна програма	141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В. о. завідувача кафедри**

д.т.н., професор \_\_\_\_\_ В. В. Артемчук

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Міщенко Владиславу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи Підвищення енергоефективності руднотермічної печі в умовах АТ «Запорізький феросплавний завод».

керівник магістерської роботи

Артемчук В. В., д.т.н., професор

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «10» 09 2019 року № 1537-С

2. Строк подання студентом магістерської роботи 27 грудня 2019 року.

3. Вихідні дані магістерської роботи Графіки роботи руднотермічних печей; дані про об'єми споживання реактивної енергії печами цеху; середній тариф за 1 кВАр·год. електроенергії – 0,45грн/кВАр год.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Вступ. 1) Характеристика плавильного цеху №3. 2) Аналіз можливостей підвищення енергоефективності цеху №3. 3) Можливість підвищення коефіцієнта потужності цеху №3. 4) Техніко-економічне обґрунтування заходів енергозбереження на руднотермічних печах цеху №3 АТ «Запорізький завод феросплавів».

5) Охорона праці та технологічна безпека. Висновки. Додатки.

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

1) Титульна сторінка. 2) Основні завдання магістерської роботи. 3) Розподіл витрат \_\_\_\_\_

підприємства на енергоресурси у грошовому еквіваленті. 4) Динаміка витрат активної та реактивної електроенергії за три квартали 2019 року. 5) Розподіл витрат електричної енергії між її споживачами в цеху №3. 6) Залежності споживання реактивної енергії від часу плавки при виплавці ФМн78 7) Залежності споживання реактивної енергії від часу плавки при виплавці Мн95. 8) Залежності споживання реактивної енергії від часу плавки при виплавці МнС17. 9) Алгоритмічна модель для визначення об'ємів споживання реактивної енергії цехом в динаміці 10) Графіки прогнозованого та фактичного споживання реактивної енергії за 16.09.2019. 11) Графіки прогнозованого та фактичного споживання реактивної енергії за 17.09.2019. 12) Порівняльні техніко-економічні показники доцільності впровадження енергозберігаючого проекту. 13) Висновки

#### 6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Розділ 1	Артемчук В. В., професор	
Розділ 2	Артемчук В. В., професор	
Розділ 3	Артемчук В. В., професор	
Розділ 4	Артемчук В. В., професор	
Розділ 5	Артемчук В. В., професор	
Нормоконтроль	Артемчук В. В., професор	

#### 7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Характеристика плавильного цеху №3		
2	Аналіз можливостей підвищення енергоефективності цеху №3		
3	Можливість підвищення коефіцієнта потужності цеху №3		
4	Техніко-економічне обґрунтування заходів енергозбереження на руднотермічних печах цеху №3 АТ Запорізький завод феросплавів		
5	Охорона праці та техногенна безпека.		

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Міщенко В.Ю. \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Артемчук В.В. \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Мищенко В.Ю. Підвищення енергоефективності руднотермічної печі в умовах АТ «Запорізький феросплавний завод».

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник В. В. Артемчук Запорізький національний університет. Інженерний інститут. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій. Кафедра електротехніки та енергоефективності, 2020.

Виконано аналіз статистичних даних про обсяги споживання реактивної енергії руднотермічними печами. Отримані математичні залежності об'ємів споживання реактивної енергії від часу плавки для руднотермічних печей при виплавці різних марок феросплавів. Запропоновано алгоритмічну модель для можливості прогнозування об'ємів споживання реактивної енергії цехом. Запропонований оптимальний захід для зниження витрат підприємства на реактивну складову електричної енергії.

Ключові слова: РУДНОТЕРМІЧНА ПІЧ, РЕАКТИВНА ЕНЕРГІЯ, АВТОМАТИЧНІ КОМПЕНСУЮЧІ УСТАНОВКИ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ.

## ABSTRACT

Mishchenko V. Yu. The improvement of the energy efficiency of the ore-thermal furnace in JSC "Zaporizhzhia Ferroalloy Plant".

Qualifying final work for obtaining a master's degree in specialty 141 – Power engineering, electrical engineering and electromechanics, scientific supervisor V. V. Artemchuk. Zaporizhzhia National University. Engineering institute. Faculty of Energy, Electronics and Information Technologies. Electrical Engineering and Energy Efficiency Department, 2020.

The analysis of statistical data on the volume of reactive energy consumption by ore-thermal furnaces has been performed. Mathematical

dependences of the reactive energy consumption volumes on the melting time for the ore-thermal furnaces during smelting of different grades of ferroalloys are received. The algorithm model for the possibility of forecasting the reactive energy consumption by the shop is proposed. An optimal measure is proposed to reduce the costs of the enterprise for the reactive component of electricity.

Keywords: ORE-THERMAL FURNACE, REACTIVE ENERGY, AUTOMATIC COMPENSING INSTALLATION, REACTIVE POWER, PREDICTION OF CONSUMPTION.

### АНОТАЦИЯ

Мищенко В. Ю. Повышение энергоэффективности руднотермической печи в условиях АО «Запорожский ферросплавный завод».

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 141 – Электроэнергетика, электротехника и электромеханика, научный руководитель В. В. Артемчук. Запорожский национальный университет. Инженерный институт. Факультет энергетики, электроники и информационных технологий. Кафедра электротехники и энергоэффективности, 2020.

Выполнен анализ статистических данных об объемах потребления реактивной энергии руднотермическими печами. Получены математические зависимости объемов потребления реактивной энергии от времени плавки для руднотермических печей при выплавке различных марок ферросплавов. Предложено алгоритмическую модель для возможности прогнозирования объемов потребления реактивной энергии цехом. Предложено оптимальное мероприятие для снижения затрат предприятия на реактивную составляющую электрической энергии.

Ключевые слова: РУДНОТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕЧЬ, РЕАКТИВНАЯ ЭНЕРГИЯ, АВТОМАТИЧЕСКИЕ КОМПЕНСИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ, РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ.

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Характеристика плавильного цеху №3.....	11
1.1 Загальні відомості про підприємство.....	11
1.2 Загальна характеристика цеху.....	13
1.3 Призначення і область застосування марганцю і його сплавів...16	
1.4 Плавильний корпус цеху №3.....	18
1.5 Склад обладнання феросплавної печі.....	19
1.6 Електрообладнання.....	21
1.6.1 Пічний трансформатор.....	21
1.6.2 Коротка мережа.....	24
1.6.3 Електроди.....	26
2 Аналіз можливостей підвищення енергоефективності цеху №3.....	28
2.1 Енергетичний аудит підприємства.....	28
2.2 Руднотермічні печі як найбільші споживачі електричної енергії.....	33
2.3 Задачі для дослідження можливостей підвищення енерго- ефективності руднотермічної печі.....	38
3 Можливість підвищення коефіцієнта потужності цеху №3.....	44
3.1 Графіки роботи руднотермічних печей.....	46
3.2 Прогнозування споживання реактивної потужності печами.....	52
3.3 Загальне прогнозування споживання реактивної потужності цехом.....	58
4 Техніко-економічне обґрунтування заходів енергозбереження на руднотермічних печах цеху №3 АТ «Запорізький завод феросплавів».....	68
4.1 Визначення базових економічних показників.....	68
4.2 Оцінка заходу індивідуальної компенсації з регулюванням потужності конденсаторних батарей.....	73
5 Охорона праці та технологічна безпека.....	81

5.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	81
5.2 Технічні рішення по гігієні праці й виробничої санітарії.....	85
5.3 Освітлення виробничих приміщень.....	86
5.4 Електробезпека.....	87
5.5 Заходи пожежної безпеки.....	91
5.6 Заходи індивідуального захисту.....	93
Висновки.....	96
Перелік посилань.....	98
Додатки.....	102

## ВСТУП

У металургії та інших галузях промисловості використовують феросплави, а також інші технічно чисті метали для розкислення та легування сталі, одержання високолегованих сплавів спеціального функціонального призначення і чавунів. Одержання феросплавів є одним з виробництв, майбутнє якого пов'язано з необхідністю подальшого суттєвого нарощування електроенергетичної складової країни [1].

Феросплави виробляють із застосуванням потужних електричних печей, які називають феросплавними або рудовідновними (руднотермічними) печами. Робота так званих печей опору заснована на дії закону Джоуля-Ленца, згідно з яким при протіканні струму в провіднику виділяється теплота, пропорційна його електричному опору. У печах опору можна використовувати постійний і перемінний струм [2]. Нагрівання і плавлення шихти у феросплавній печі відбуваються під дією теплоти електричних дуг, що виникають між вугільними електродами і металевою ванною. Електроди складаються з металевого циліндрового кожуха, який заповнюється електродною масою, що спікається в процесі роботи. При опусканні електрода електродна маса нагрівається, поступово розм'якшується і щільно заповнює кожух. В зоні високих температур відбувається спікання маси в щільний вугільний електрод. При роботі електрод витрачається, його поступово опускають у піч, а верхню його частину нарощують (зваркою) черговою секцією без відключення струму.

Феросплавні печі є агрегатами безперервної дії. Через склепіння (свод) з бункерів періодично завантажують шихтові матеріали, по мірі протікання процесу рідкий метал накопичується на поду і періодично випускається із печі через зливний жолоб.

Актуальність теми: феросплави виплавляють у руднотермічних печах (РТП) різної конструкції та потужності, електричні та геометричні параметри



яких визначаються процесами, що в них відбуваються. В агрегатах невеликої потужності така обставина є мало помітною. Подібність електричних режимів дозволяє використовувати одну і ту ж ванну для різних процесів. Із зростанням потужності РТП та ускладненням їх конструкції, а також підвищенням вимог до якості продукту, очевидною стала потрібність диференційованого підходу до вибирання конструкції ванни, а також її параметрів, що враховують усі особливості технологічного процесу [3].

Метою магістерської роботи є дослідження можливостей та впровадження заходів підвищення енергоефективності руднотермічної печі в умовах АТ «Запорізький завод феросплавів». Виділити окремий цех та на його прикладі розглянути динаміку споживання реактивної енергії руднотермічними печами при виплавці різних марок феросплавів. Проаналізувати графіки споживання реактивної енергії за певний період. На основі експериментальних даних вивести залежності споживання реактивної енергії за різні періоди плавки для окремих руднотермічних печей. Впровадити заходи енергозбереження за рахунок збалансування генерації та споживання реактивної енергії. Узагальнити отримані дані та спрогнозувати можливе споживання реактивної енергії цехом.

Об'єкт дослідження: руднотермічна піч як найбільший споживач електричної енергії.

В роботі були використані такі методи дослідження:

- аналіз – були проаналізовані данні енергетичних затрат на виробництво феросплавів та данні про споживання та компенсацію реактивної енергії цехом;

- порівняння – розглянуто споживання реактивної енергії під час виплавки різних марок феросплавів та зроблений висновок, що є певні відмінності;

- формалізація – на основі статистичних даних були виведенні математичні залежності динаміки споживання реактивної енергії руднотермічними печами цеху при виплавці різних марок феросплавів.

- індукція – на основі динаміки споживання реактивної енергії окремими руднотермічними печами було зпрогнозоване загальне споживання реактивної енергії цехом;

Під час виконання магістерської роботи виявлено що на підприємстві існує лише загальнозаводська компенсація реактивної енергії, яка не забезпечує збалансованість між генерацією та споживанням.

Спрогнозовані об'єми споживання реактивної енергії під час роботи окремих руднотермічних печей та загалом цехом.

Запропонований енергозберігаючий проект щодо вдосконалення існуючого способу компенсації реактивної енергії. Розраховано економічний ефект від його впровадження.

Отримані результати дослідження дозволять мінімізувати грошові витрати, пов'язані з незбалансованістю споживання та генерування реактивної енергії, та можуть бути використані на інших ділянках заводу.

## 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХУ №3

### 1.1 Загальні відомості про підприємство

Акціонерне підприємство "Запорізький завод феросплавів" – стабільний виробник феросплавів, що динамічно розвивається, один з найбільших в Європі і світі не лише по обсягах виробництва, але і по номенклатурі сплавів, що випускається. Доля виробництва підприємства в Україні складає 30-35%, у світовому об'ємі феросплавів -1-2%.

За, без малого, вікове існування підприємство завоювало у клієнтів репутацію надійного партнера, постачальника феросплавів, які відповідають найвищим вимогам. Напрацьований багаторічний досвід, роками підтверджена надійність, а також перспектива підприємства, що розвивається, дозволяють робити сотні тисяч тон марганцевих та кремнійвмісних сплавів в рік.

Запорізький завод феросплавів сьогодні – це:

- 29 руднотермічних електричних печей, одна з яких піч на ультра низькій частоті;
- 2 печі постійного струму;
- 3 шахтно-щілинних печі для виробництва вапна;
- виробництво марганцевих та кремнію вмісних сплавів, таких як ФС75, ФС70, ФС65, ФС45, ФС25, МнС17, МнС25, ФМн78, ФМн88, Мн95 - всього більше 20 марок сплавів;
- виробництво фракціонованих феросплавів;
- можливість робити відвантаження товарної продукції:
  - автотранспортом;
  - в залізничних вагонах;
  - в 20-ти футових морських контейнерах;
  - через морські та річкові порти на судах класу річка-море.

- виробництво щебня, піску і щебенево-піщаної суміші з матеріалу оксидного алюмосилікатного;
- виробництво шлаковиливних блоків.

Завод є порівняно чистим, для металургії, в екологічному відношенні - усі електропечі обладнані системами газоочищення, що забезпечують уловлювання газів і пилю не менше 99,9%. Працює ділянка грудкування пилю власного виробництва. Частина феросплавного газу використовується замість природного для: виробництва вапна, сушки технологічного посуду і тепловодопостачання заводу.

Діють замкнуті оборотні цикли постачання технічною водою. Забезпечення стабільного рівня технології і високої якості продукції здійснюється за допомогою точної вимірювальної, контролюючої і інформаційної техніки, керованої висококваліфікованим досвідченим персоналом.

Для задоволення вимог споживачів збільшений асортимент фракціонованої товарної продукції.

Якість управління і товарної продукції підтверджена міжнародним стандартом якості ISO 9001 : 2015.

Основні споживачі - українські металургійні комбінати, країни експорту - Туреччина, країни ЄС, Білорусія, Казахстан, Єгипет, Японія, Південна Корея.

Принциповим технічним проривом в технології виробництва феросплавів є:

- розвиток і успішне впровадження способу розливання в нефутеровані порожнини з відсівів зі сплавів власного виробництва, який повністю задовольняють вимоги, що пред'являються до якості металу. Цей спосіб розливання, разом з існуючими - гарантують рівномірний розподіл хімічних елементів в зливках сплавів, а дробильно сортувальні установки дозволяють отримати продукцію різного фракційного складу згідно із замовленням споживачів та можливістю упаковки в м'які контейнери типу "БІГ-БЕГ";

- роботи по переобладнанню печей на постійний струм і ультра низьку частоту (УНЧ) струму;

- впровадження ефективних способів переробки відсівів від фракціонування феросплавів.

З метою розробки і впровадження прогресивних технологій - підприємство проводить безперервне вдосконалення, підвищення як технічного, так і якісного рівня виробництва і його економічної складової.

Нині завод освоює передові способи виробництва сплавів з особливими вимогами за якістю і залучення до технології нових видів сировини і матеріалів [4].

## 1.2 Загальна характеристика цеху

Третій плавильний цех, побудований в 1955 році в складі 4-х плавильних печей ОКБ 262А потужністю трансформатора 2,5 МВА та призначений для виплавки марганцю металевого силікотермічним способом з вмістом провідного елементу не менше 95%, за час свого існування піддавався реконструкції в 1963 і 1975 роках. У 1963 році проведена перша реконструкція цеху з введенням в експлуатацію додатково 2-х плавильних печей. У 1975 році в результаті другої реконструкції пущені в експлуатацію ще дві плавильні печі. Потужність пічних трансформаторів доведена до 5 МВА, діаметр кожуха печей збільшений до 500 мм. В цьому ж році всі плавильні печі були обладнані електростатичними газоочисними спорудами. У 1993 році була освоєна виплавка середньовуглецевого феромарганцю ФМн88 силікотермічним способом. Однак постійна зміна сировинної бази, зниження якості марганцевої сировини по металургійним показниками (збільшення вмісту кремнезему і фосфору в марганцевих концентратах), фізичне і моральне старіння обладнання визначили необхідність докорінної

реконструкції цеху, з повним його відновленням, зміною об'ємно-планувальних рішень, оснащенням новими електропечами, електропічні трансформатори потужністю 7 МВА кожен, системою АСУТП, поліпшенням технології виробництва і широкою механізацією важких операцій.

Тип плавильного цеху, організація шихтового господарства визначається продуктивністю цеху і сортаментом сплавів.

Плавильний цех №3 спеціалізується з виробництва товарної продукції наступного сортаменту:

- феромарганець:

- високовуглецеві марки ФМн78Б, ФМн78Р30, ФМн78Р35;
- середньовуглецеві марки ФМн88 (ФМн88Р30, ФМн88Р40);
- низковуглецеві марки ФМн90;

- металевий марганець марки Мн 95;

- феросилікомарганець МнС17;

Основні процеси:

- приймання і підготовка сировини;

- здійснення технологічного процесу виплавки і розливання феросплавів;

- фракціонування, підготовка і навантаження феросплавів;

- здійснення технологічного процесу виробництва вапна;

- відновлення футерування електродугових печей.

До складу цеху №3 входять наступні ділянки:

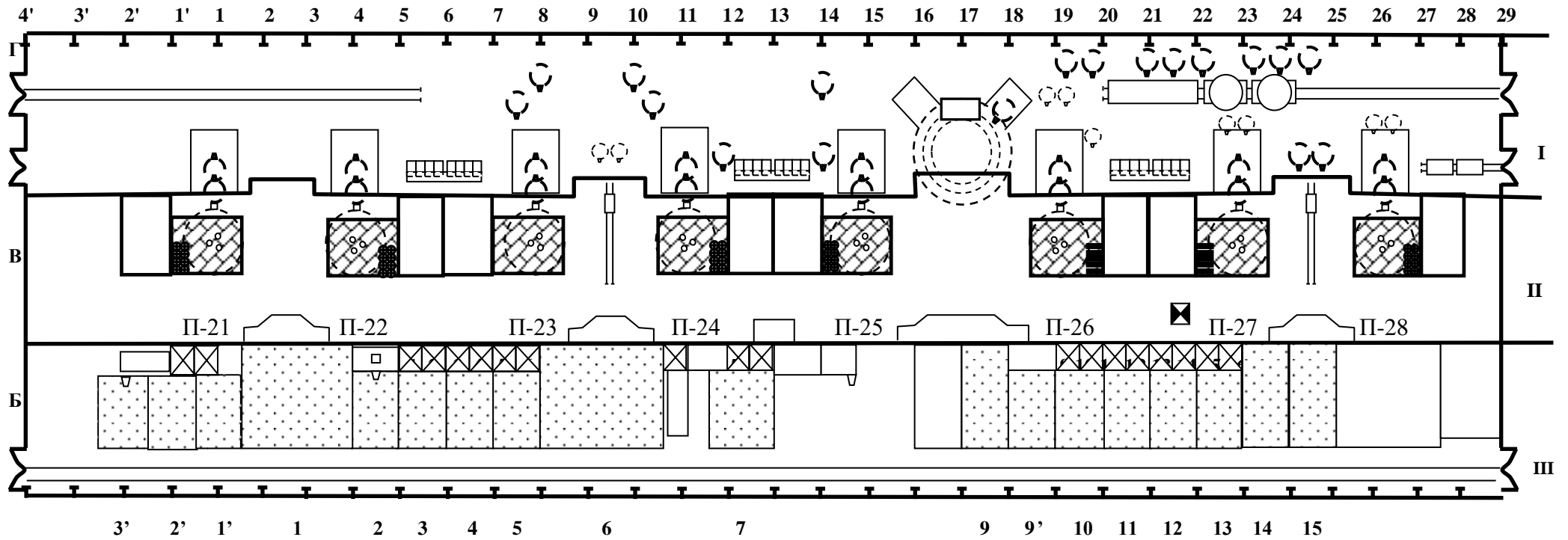
- шихтові відділення (ШВ) - по підготовці шихтових матеріалів до плавки;

- плавильний корпус (пічний і розливний прольоти) - по виплавці і розливу сплавів;

- склад готової продукції (СГП) - з підготовки готової продукції до відвантаження споживачу;

- ділянка виробництва вапна (УПІ)

- ділянку підготовки виробництва (УПП)



I – розливний проліт; II – пічний проліт; III - шихтовий проліт;

Рисунок 1.1 – План-схема плавильного цеху №3

### 1.3 Призначення і область застосування марганцю і його сплавів

У загальній структурі споживання марганцю понад 90% його використовується в чорній металургії при виплавці сталі у вигляді різних марганцевих феросплавів. Середня витрата марганцю в сталеплавильній промисловості різних країн світу залежить від марочного сортаменту виплавлених сталей, способу виробництва металу (киснево-конверторного, електропічний, мартенівського), науково-технічним рівнем технологічних процесів та інших. У країнах СНД питома витрата марганцю становить 7-9 кг на 1 тону сталі.

Різноманітність марок сталі і сплавів обумовлює необхідність отримання марганцю і марганцевих феросплавів широкого сортаменту. Найбільш поширеними марганцевими феросплавами є:

- 1) Феромарганець, що включає групи високо- і низьковуглецевого феромарганцю з різними допустимими межами концентрації вуглецю, фосфору та інших домішок;
- 2) Силікомарганець, з широким інтервалом вмісту кремнію, домішками фосфору, вуглецю та ін.
- 3) Металевий марганець, що включає марки електролітичного і електротермічного способів виробництва;
- 4) Азотований металевий марганець і феросилікомарганець.

Приблизно такого ж сортаменту виробляються феросплави і в зарубіжних країнах.

Активно з'єднуючись з киснем і сіркою, марганець є хорошим розкислювачем і десульфатором рідкої сталі. Як легуюча добавка марганець робить структуру сталі дрібнозернистою. Зі збільшенням вмісту марганцю в сталі підвищується її прокалюваність, твердість, межа міцності, границя текучості, але знижується в'язкість.



Інструментальні сталі містять до 0,4% марганцю, конструкційні - до 0,6%, леговані - від 0,8 до 1,4%. Широко відома зносостійка високомарганцевої сталі (12 - 14% марганцю, 1,1 - 1,3% вуглецю), що застосовується для виготовлення робочих частин землерийних машин, дробильно-помолочного обладнання, трамвайних стрілок і т.д. Останнім часом знаходять широке застосування хромонікелеві сталі, в яких частина дефіцитного нікелю замінена марганцем.

При підвищенні вмісту марганцю до 7% збільшиться межа міцності сталі на розрив (на 10 кгс / мм<sup>2</sup> на 1%) при відповідному підвищенні межі текучості. Однак при підвищенні вмісту і вуглецю, коли сталь набуває аустенитну структуру, межі міцності і текучості знижуються, а подовження і стиснення збільшуються.

Опір атмосферної корозії сильно збільшується при збільшенні вмісту марганцю більше 10%. Гнучкість і прокатність сталі при наявності марганцю поліпшуються, тому що він паралізує шкідливі впливи кисню і сірки.

Марганець є найбільш широко застосовуваним легуючим елементом. Марганець в чистому вигляді, як конструкційним матеріал не застосовується. Разом з тим він використовується в складі сталей широкого сортаменту і різного призначення. У деяких випадках високомарганцеві сталі є єдиними композиціями, що не мають заміників. Поштовхом до широкого застосування марганцю як легуючого елемента і до створення цілого ряду класу високомарганцевих сталей є винахід високомарганцевої сталі, більше 100 років тому, відомої під маркою 110Г13 (або Г13Л). І хоча щорічно публікується безліч теоретичних робіт і науково-технічних повідомлень про результати пошуків подальшого підвищення якості цієї сталі, багато питань теорії та технології високомарганцевих сталей вимагають подальшого розгляду і вивчення. Свідченням постійної уваги вчених до проблеми якості сталей, легованих марганцем і є накопичення знань про технології виплавки, розливання, термічної обробки експлуатаційних характеристик

високомарганцевих сталей і визначають головні напрямки подальших наукових пошуків шляхів підвищення якості металу.

#### 1.4 Плавильний корпус цеху №3

Плавильний корпус цеху складається з пічного і розливного прольоту. У пічному прольоті розташовано 8 печей РКО 7.0. Пічний проліт складається з декількох поверхів, в яких розміщуються печі, майданчик для обслуговування колошника та нарощування електродів. Ширина робочого майданчика забезпечує вільне обслуговування печей і створює нормальні умови роботи для обслуговуючого персоналу. Робоча площадка має балкони, що виходять в бік розливного прольоту, на які кранами подають відходи власного виробництва, що використовуються для переплавки, матеріали і деталі для ремонтів печей. Пічні трансформатори підняті на рівень робочого майданчика і винесені в пічний проліт. Це пояснюється прагненням скоротити довжину короткої мережі.

У розливному прольоті знаходяться розливна машина карусельного типу, розливні камери з виливницями, ковші, ділянку для перефутерування ванн печей, горнові візки для викочування ковшів з рідким металом, розливні крани і т.п. В прольоті заведено залізничну колію по обидва боки цеху для подачі в цех шлаковозів і вагонів. У розливному прольоті відведено місце для зберігання поточного запасу (добового) вогнетривів і ремонту розливного запасу.

Пічний проліт.

Перелік обладнання:

- піч РКО -7 (виробництво ФМн78, виробництво ВМСН78 для виплавки Мн95) - 5шт;
- піч РКО -7 (виробництво Мн95) - 2шт;

- піч РКО -7 (виробництво МнС17) - 1шт;
- крани ZKKW-10n [14 (10т) - 2шт;
- кран КМЕ-1-14-20-7К-У3 (10т) - 1шт;
- кран КМ-20 / 5x14 (20т) - 1шт.

Розливний проліт

Перелік обладнання:

- кран мостовий ZKKW-50 / 12,5 т.х22М (50т) - 4 шт;
- кран мостовий КМЕ-135 / 20-22-20-А4-У3 (135т) - 1шт;
- розливна машина (продуктивність 140т / добу) - 1шт;
- розливні камери - 3шт;
- ківш сталевий V = 5 м. Куб - 34шт;
- ківш сталевий V = 2 м. Куб - 10шт;
- виливниці 33/4 - 14шт;
- виливниці 56/6 - 15шт;
- стіл-короб - 5шт.

### 1.5 Склад обладнання феросплавної печі

Виплавка марганцевих сплавів проводиться у відкритих трифазних електропечах потужністю 7000 кВА з розташуванням електродів по вершинах рівностороннього трикутника, що нахилиється і обертаються. Устаткування печі являє собою складний комплекс механізмів, який управляються за допомогою системи управління і стеження Master View 830/1. Від правильної експлуатації обладнання залежить його безпека і справний стан.

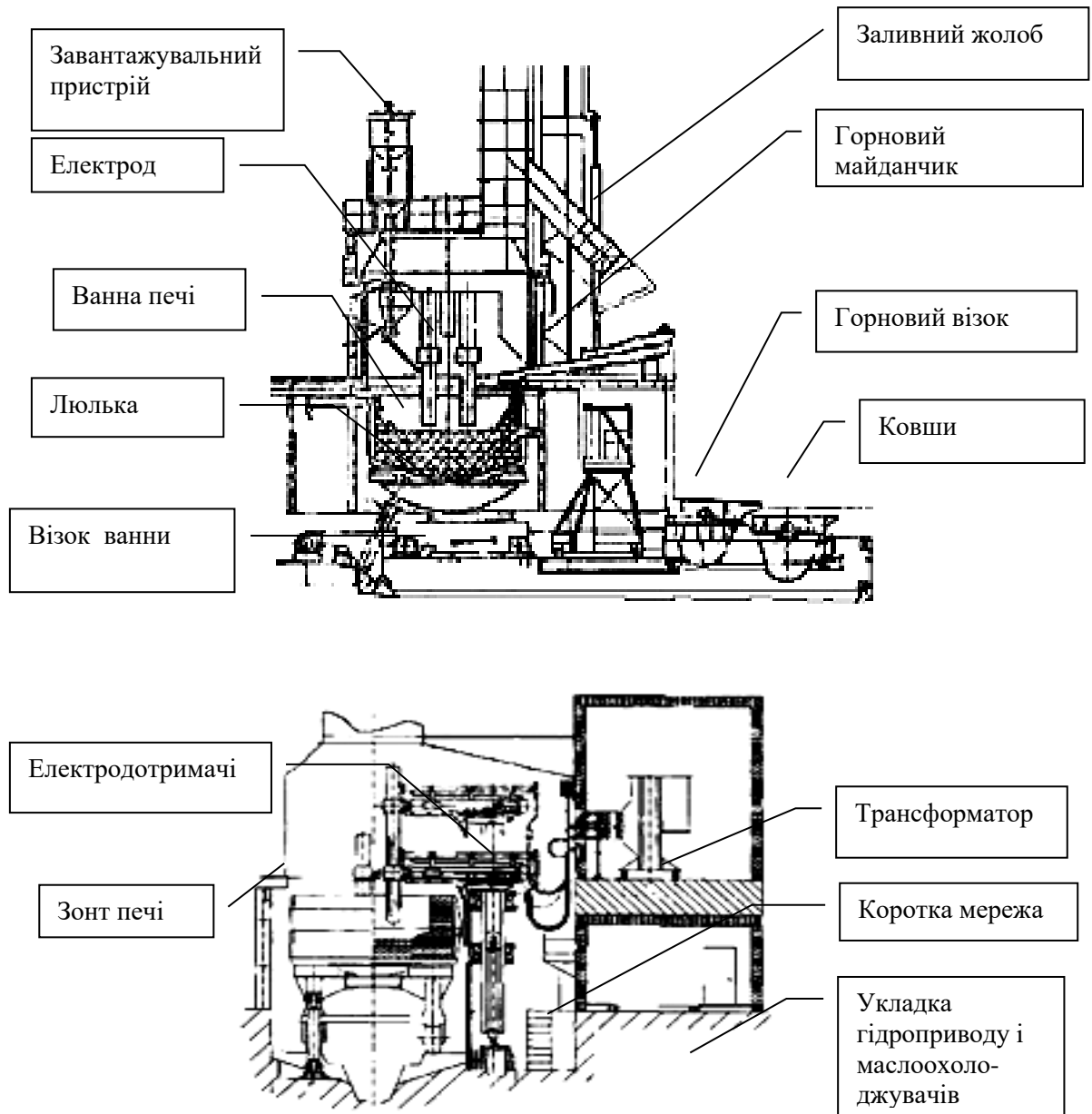


Рисунок 1.2 – Обладнання електропечі

Вибір параметрів ванни феросплавної печі (таблиця 1.1) і, зокрема, внутрішнього діаметра ванни  $d_v$  здійснюється, виходячи з діаметра електрода  $d_e$ , діаметра розпаду електродів  $d_p$ , що є в свою чергу функцією діаметра електродів і типу сплаву, і допустимої величини зазору  $\alpha$  між електродом і футеровкою.

Кожух печі має достатню міцність, так як йому доводиться витримувати масу футерування, шихти і сплаву, а також тиск футерування

печі в результаті її теплового розширення при розігріві печі і поступового її «зростання».

Таблиця 1.1 - Параметри ванни феросплавної печі

Параметри ванни печі	Од.вим.	
Внутрішній діаметр зверху	мм	4500
Внутрішній діаметр з низу	мм	3100
Зовнішній діаметр зверху	мм	5300

Кожух печі виготовлений з листового заліза товщиною 24-28 мм. Для зручності транспортування кожух виготовлений з двох окремих секцій, що вмонтовуються на місці. Для додання кожуха жорсткості до нього кріпляться вертикальні ребра і горизонтальні пояса жорсткості. Ребра і кільця жорсткості виконані з листового і профільного заліза. Кожух печі обладнаний трьома льотками. Одна льотка є робочою, а решта льотки - резервними. На печі для виплавки ФМн88 призначеної для роботи з круговим обертанням ванни, льотки розташовані під кутом 120 °. У місцях кріплення лёток кожух посилений литий сталевий плитою і додатковими ребрами жорсткості, до яких прикріплена зварна арматура льотки. До днища приварений квадратний брус, який спирається на підшипник механізму обертання печі. Контроль температури кожуха здійснюється засобами АСУ "Майстер".

## 1.6 Електрообладнання

### 1.6.1 Пічний трансформатор

Печі цеху обладнані трансформаторами виробництва фірми АВВ National Transformer 7000 kVA, характеристика яких представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристики трансформаторів ABB National Transformer 7000 kVA

Y d1	V	A	V	A (line)	A (phase )	kVA
зірка – подвійний трикутник (шлакова)	10000	404.2	103.1	39200	22630	7000
		404.2	117.8	34300	19804	7000
		404.2	132.4	30520	17620	7000
		404.2	146.5	27580	15924	7000
		404.2	161.3	25060	14468	7000
зірка – трикутник (металева)	10000	404.2	206.2	19600	11315	7000
		404.2	235.6	17150	9902	7000
		404.2	264.8	15260	8810	7000
		404.2	293.0	13790	7962	7000
		404.2	322.6	12530	7234	7000

Пічний трансформатор обладнаний пристроями сигналізації стану і захисту:

- реле Бухгольца і захисне реле перемикача напруги;
- контроль рівня масла;
- термометрами для контролю температури масла і обмоток.

Термометр масла видає сигнал тривоги при 75<sup>0</sup>С, сигнал на відключення трансформатора при 85<sup>0</sup>С. Термометр обмоток видає сигнал при 95<sup>0</sup>С, сигнал на відключення трансформатора при 105<sup>0</sup>С.

- індикатор протоки води в системі охолодження трансформатора;
- індикатор протоки масла;
- реле різниці тиску масла і води;
- трансформаторами струму.

Для забезпечення тривалої і надійної експлуатації трансформатора необхідно:

- дотримання температурних і навантажувальних режимів, рівнів напруги.
- суворе виконання графіків ППР.

- контроль режиму роботи пічного трансформатора технологічним персоналом.
- щозмінний контроль стану пічного трансформатора, системи охолодження електротехнічним персоналом цеху.

Пічні трансформатори мають примусову циркуляцію масла в системі охолодження, яка складається: маслоохолоджувач WKEN250, маслонасосів W4 / 200/100, маслопроводу, водопроводу, запорної арматури. Протока масла 1260 л / хв. Потік води 238 л / хв. Максимальний тиск води 0,3 бар. Різниця тиску масло/вода не менше 0,03 бар.

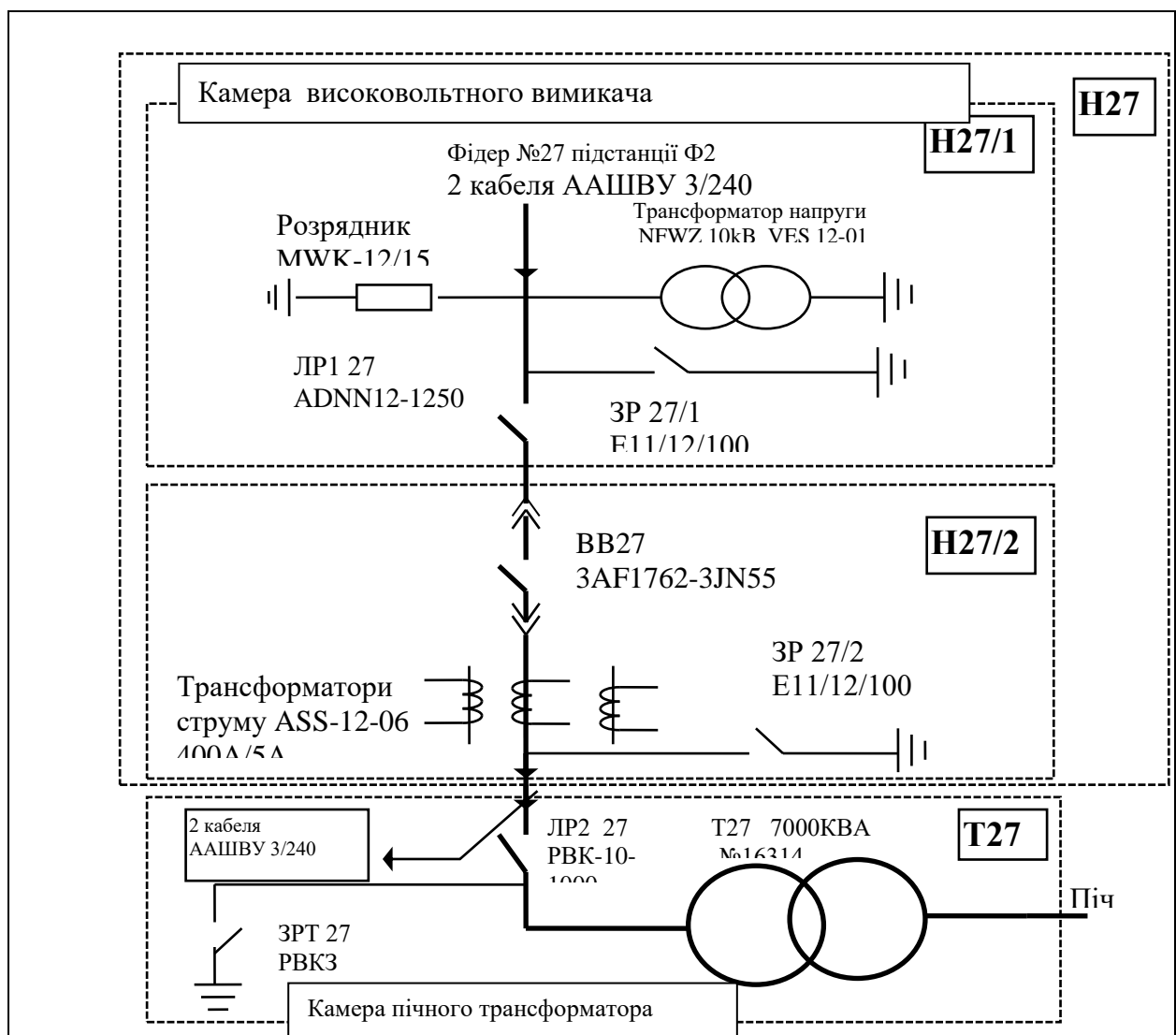


Рисунок 1.3 – Схема високовольтного розподільчого пристрою

Пічні трансформатори передбачено перемикач напруги під навантаженням типу МП 600У-72,5 / А-10050 з приводом типу МА 7/8.

Перемикання ступенів напруги здійснюється з пульта управління через систему «Майстер» в залежності від режиму плавки. Режим ведення плавки встановлюється технологічною інструкцією і вказівками старшого майстра.

Високовольтний розподільчий пристрій (рисунок 1.3) призначене для подачі напруги 10 кВ на пічної трансформатор і забезпечення його захисту. Він містить: лінійний роз'єднувач, вакуумний вимикач, трансформатори струму та напруги, блок захисту (на основі реле захисту по струму SPAJ141C).

Приведена схема забезпечує подачу напруги на пічний трансформатор та забезпечує його захист на основі реле захисту по струму SPAJ141C.

#### 1.6.2 Коротка мережа

Коротка мережа (рисунок 1.4) забезпечує передачу напруги від пічного трансформатора до електродів.

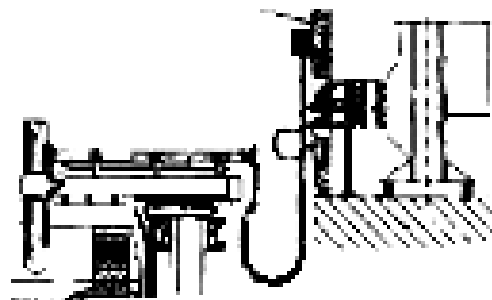


Рисунок 1.4 – Схема короткої мережі

У трансформаторі на кожній фазі змонтовано по дві обмотки на низькій стороні (рисунок 1.5). Поєднання цих обмоток послідовно (для металевого режиму роботи печі) або паралельно (для шлакового режиму роботи печі) здійснюється мідними пластинами. Далі за допомогою водо охолоджуваних прохідних мідних труб вироблено з'єднання обмоток трансформатора в трикутник.



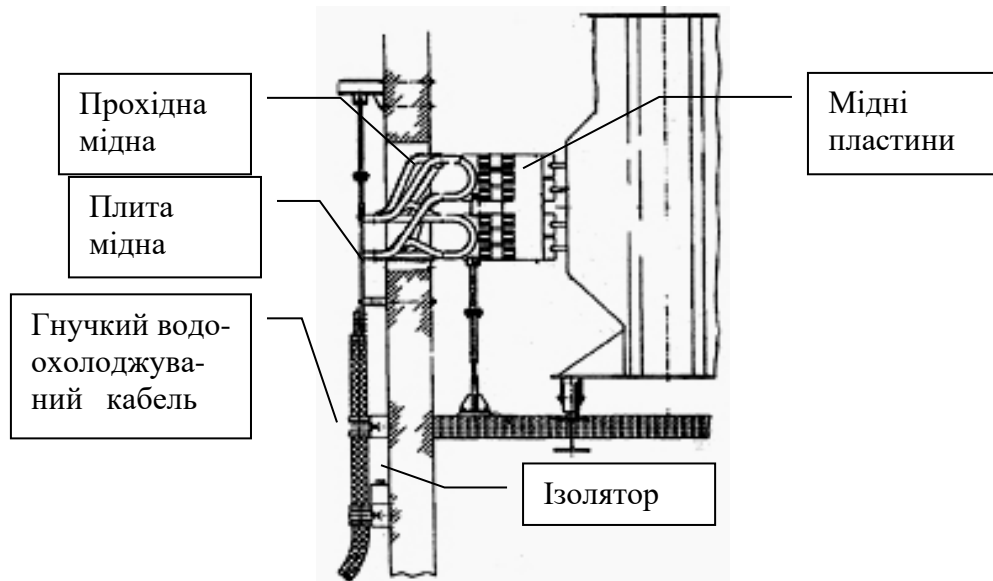


Рисунок 1.5 – Схема підключення низької сторони

З вершин трикутника напруга гнучким водо охолоджуваним кабелем передається на кронштейн струмової труби електродотримача (рисунок 1.6).

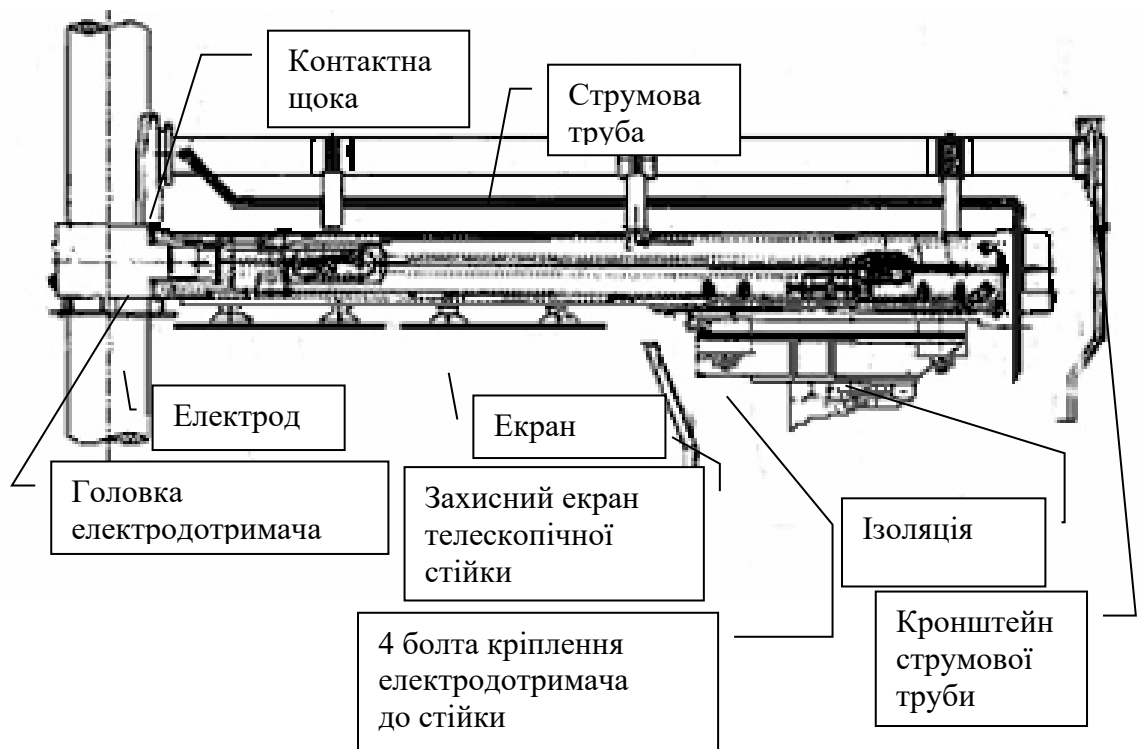


Рисунок 1.6 – Схема електродотримача

Електродотримач складається з: контактної щоки; струмової труби, захисного екрана, головки електродотримача

### 1.6.3 Електроди

На печах №22,26,27 виплавляють Мн95, ФМн88, МнС17 встановлюються графітові електроди діаметром 400мм (при зміні контактної щоки електродотримача можливе застосування електродів іншого діаметра). Експлуатація графітованих електродів здійснюється згідно «Типової технологічної інструкції по експлуатації графітованих електродів в електросталеплавильних цехах №12-19-86». Поставка графітованих електродів може проводитися з угвинченими ніпелями і без.

Поставка графітованих електродів з угвинченими ніпелями проводиться автотранспортом на дерев'яних піддонах, стягнуті сталеву стрічкою. Угвинчені ніпелі забезпечені стопором (штифтом), що забезпечує положення більшого діаметра ніпеля строго на рівні торця електрода (угвинчений 0,5 довжини ніпеля). Торці електродів забезпечені захисними ковпаками, виконаними з полістиролу або гофрованого картону.

Розвантаження піддонів з електродами виконується електромостовими кранами, при цьому строповка піддонів здійснюється стропами, оснащеними запобіжними гумовотканинними рукавами в суворій відповідності зі схемою стропування. Розвантаження і складування електродів проводиться тільки в упаковці. Укладання проводиться в штабелі висотою не більше 1,5 метра (ніпелі повинні бути розгорнуті від переміщуваних вантажів). Зняття електродів з піддонів і захисних ковпаків з торців, здійснюється безпосередньо перед нарощуванням.

Не допускається попадання на електроди сипучих і вологих матеріалів. Зберігання на електродній майданчику допускається в кількості не більше 10 секцій електродів (5 піддонів).

На печах виплавляють ФМн78 застосовуються самоспекаючіся електроди (на печах № 21,23,24 діаметром 600мм, на печах №25,28 діаметром 500мм). Основною перевагою самозапикаючих електродів, в

порівнянні з графітовими, є їх низька вартість і можливість виготовлення електродів великого діаметра. Самозапикаючий електрод являє собою заповнений електродної масою металевий кожух з внутрішніми ребрами, виконаний з листового заліза товщиною 2 мм. Кожух складається з окремих секцій заввишки 1м, служить формою для електрода, оберігає його від окислення повітрям. Забезпечує проходження електричного струму від електродотримача до обпаленої частини електрода, а також підсилює передачу тепла до верхньої необпаленої частини електрода.

Внутрішні ребра служать для збільшення поверхневого зіткнення з електродної масою, для кращого утримування останньої, поліпшення електропровідності і механічної міцності електрода. Кількість ребер жорсткості в кожусі складає 5шт. Для підвищення механічної міцності електрода з метою запобігання його деформації в електродотримачі, всередині кожуха зварюють металеву рамку зі сталевих трубок  $\varnothing 10\text{мм}$ .

Основні джерела тепла для випалювання електродної маси в процесі експлуатації електродів наступні:

1. Передача тепла по обпаленої частини електрода з ванни печі.
2. Тепло, що виділяється в випалюваній електродній масі та металевій арматурі в зоні випалу.
3. Тепловипромінювання колошника відкритої печі.

## 2 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕХУ №3

### 2.1 Енергетичний аудит підприємства

З метою розробки і впровадження прогресивних технологій - підприємство проводить безперервне вдосконалення, підвищення як технічного, так і якісного рівня виробництва і його економічної складової.

Нині завод освоює передові способи виробництва сплавів з особливими вимогами за якістю і залучення до технології нових видів сировини і матеріалів.

Зростання вартості та вичерпність традиційних енергоресурсів зумовлює людство до пошуку шляхів їх більш раціонального використання та економії. В Європі це відчули під час паливної кризи в 20 столітті, в Україні ми почали це відчувати зараз, після чергового суттєвого підвищення вартості енергоносіїв [5]. Питанню пошуку можливих шляхів енергозбереження та визначення напрямків їх ефективного використання залишається відкритим і актуальним [6, 7].

Основним продуктом енергоаудиту [8], що обов'язково для всіх його різновидів, є інформація, яка дає повне уявлення про постачання і споживання енергії підприємством. У ній повинні бути ясно представлені, як величини енергетичних потоків (у тому числі і теплоносіїв, представлених у натуральних одиницях виміру), характерні для визначених моментів виробництва, так і загальні величини, споживані або, що розподіляються за визначені періоди виробництва. Ця картина повинна бути в достатній мірі деталізована з указівкою кількостей енергії, що розподіляється по підрозділах, по вузлах виробництва, аж до окремих споживачів. Ступінь деталізації може бути заздалегідь обговорена при складанні завдання до енергоаудиту. У випадку теплового або загального енергоаудиту окремо

повинні бути представлені теплові потенціали (ентальпія або температура) і кількісні (потоків і загальні) величини середовищ (пара, вода, і т.д.), які потенційно становлять інтерес як вторинний теплоносії. Така інформація коштовна сама по собі, оскільки служить вихідним матеріалом для планування й розробки всіх наступних змін, внесених у виробництво. У наших умовах ця інформація подвійно коштовна, оскільки через технічні й організаційні недоліки системи контролю й обліку на підприємстві його персоналу важко або неможливо самотужки одержати подібну інформації з такою ж ступеню вірогідності.

Другим продуктом енергоаудиту є інформаційний блок [9, 10], який указує окремі й загальні недоліки систем енергопостачання й енергоспоживання, шляхи їхнього усунення й рекомендації з удосконалювання систем, а також ефективність впровадження заходів, що рекомендуються. Другий блок створюється на основі першого й цінність його визначається не стільки глибиною пророблення пропонованих рішень, оскільки правильністю їх вибору, правильним визначенням пріоритетності їх впровадження з урахуванням взаємного зв'язку пропонованих мір [11-13].

Підприємство є здебільшого споживачем електричної енергії, однак його повноцінне функціонування не можливе без таких ресурсів як вода питна та технічна, газ природній, кисень, пара та інше. Дані про розподіл витрат на енергоресурси підприємством наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Споживання енергоресурсів АТ «Запорізький феросплавний завод»

Вид енергоресурсу	Одиниця виміру	Ціна, грн	Величина споживання, на рік	Вартість млн.грн
1	2	3	4	5
Вода питна від КП "Водоканалу"	тис.м <sup>3</sup>	9170	2063	18,92
Вода технічна	тис.м <sup>3</sup>	5200	3687	19,17

Продовження таблиці 2.1				
1	2	3	4	5
Каналізація	тис.м <sup>3</sup>	4770	5750	27,43
Кисень	тис.м <sup>3</sup>	4480	4590	20,56
Газ природній	тис.м <sup>3</sup>	9138	14780	135,06
Пара	Гкал	1750	532	0,93
Електроенергія	млн.кВт·год/рік	2250000	1578,6	3551,85
Всього	-	-	-	3773,92

З діаграми, що представлена на рисунку 2.1, видно що 93% витрат на енергоносії підприємство витрачає на електричну енергію, що являє собою дуже велику частку та потенціал для заходів енергозбереження.

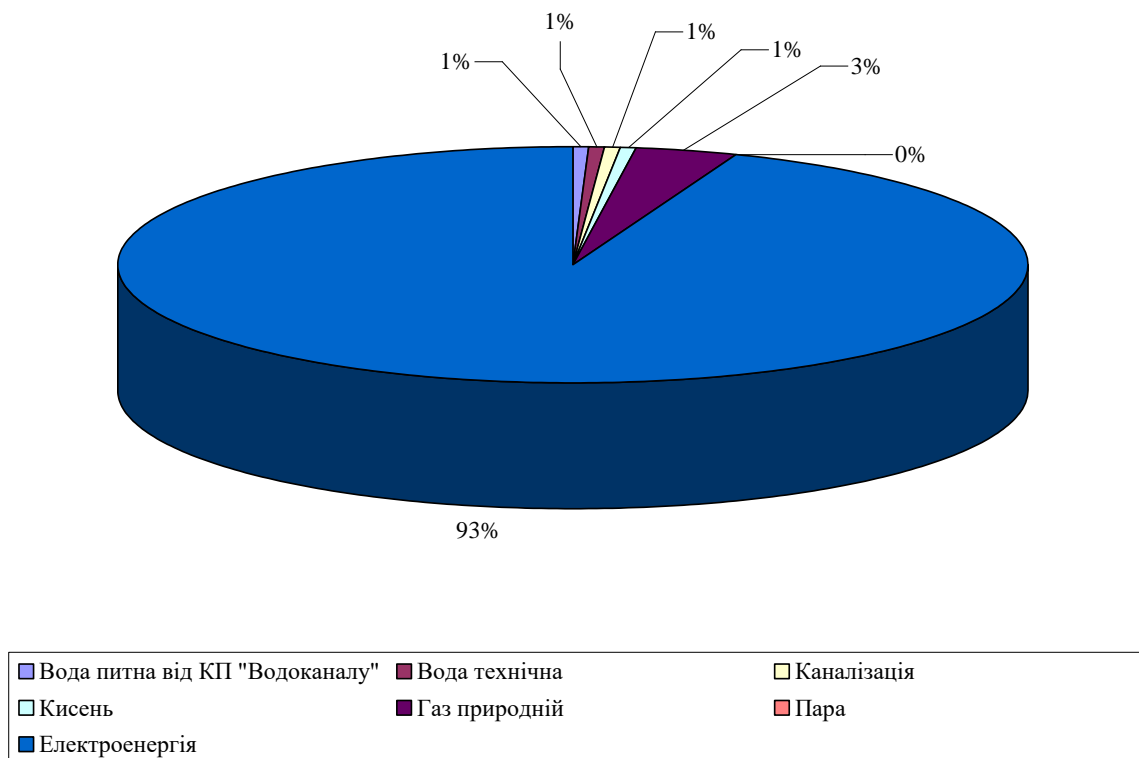


Рисунок 2.1 – Розподіл витрат підприємства на енергоресурси у грошовому еквіваленті

Отриманні данні про витрати активної та реактивної електроенергії як одного з найбільш використовуваних ресурсів на підприємстві. Данні наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Витрати електроенергії за січень 2019р – вересень 2019р

Витрата електроенергії		
Період	Активна, кВт·год	Реактивна, кВАр·год
Січень	141 962 490	46 181 133
Лютий	127 243 623	42 340 087
Березень	138 839 118	48 171 124
Квітень	133 478 399	48 856 062
Травень	138 540 958	46 795 705
Червень	123 456 031	44 244 409
Липень	126 687 977	44 059 435
Серпень	128 032 748	41 012 174
Вересень	125 770 969	40 474 552

На рисунку 2.2 можна побачити динаміку споживання активної та реактивної електроенергії по місяцям за три квартали 2019 року.

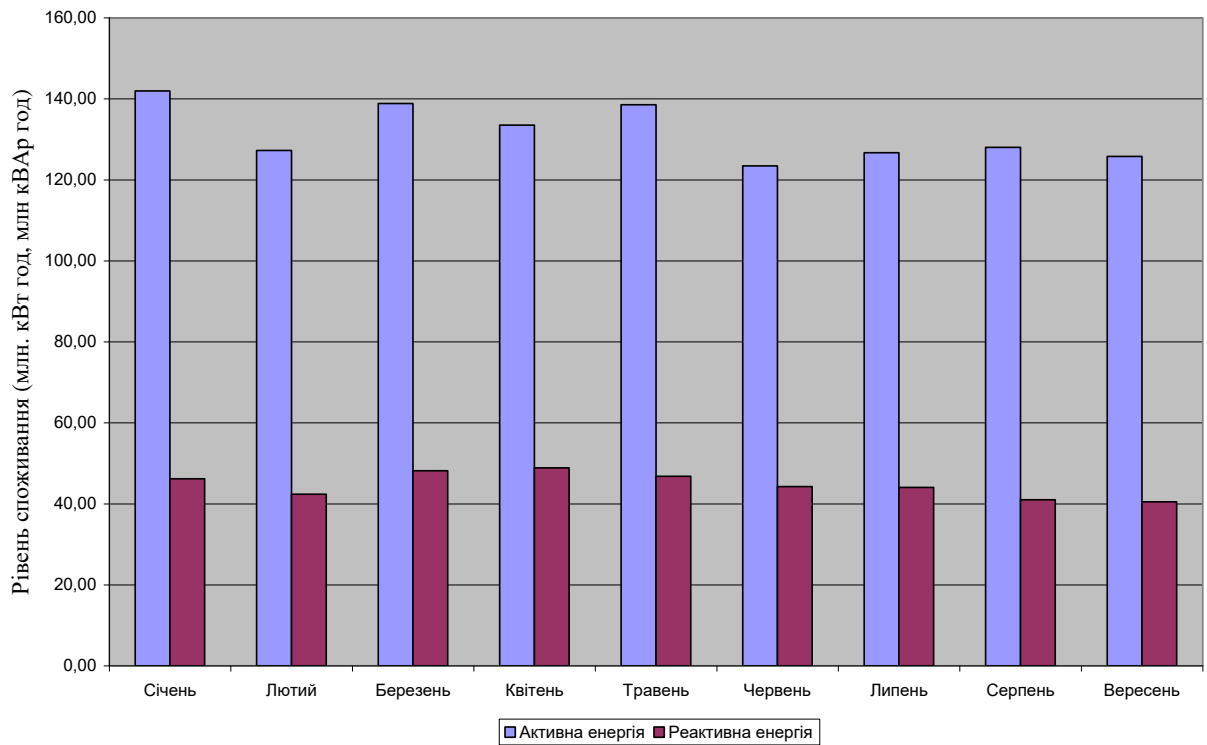


Рисунок 2.2 – Динаміка витрат активної та реактивної електроенергії за три квартали 2019 року

В загальній структурі споживання електричної енергії на плавильний цех №3 припадає приблизно 20% від загальнозаводського. Як зазначалося вище в цеху встановлено вісім руднотермічних печей, які є великими споживачами як активної, так і реактивної складової електричної енергії. На рисунку 2.3 представлена структура споживання електричної енергії між цеховим обладнанням.

З діаграми видно, що крім великих споживачів, руднотермічних печей, також електрична енергія споживається кранами, а точніше асинхронними двигунами, що приводять в дію його рухому частину. В загальному балансі ця частка досягає майже 25%. На освітлення та власні потреби витрачається не значна доля, тому великий потенціал, з точки зору енергозбереження, мають руднотермічні печі.

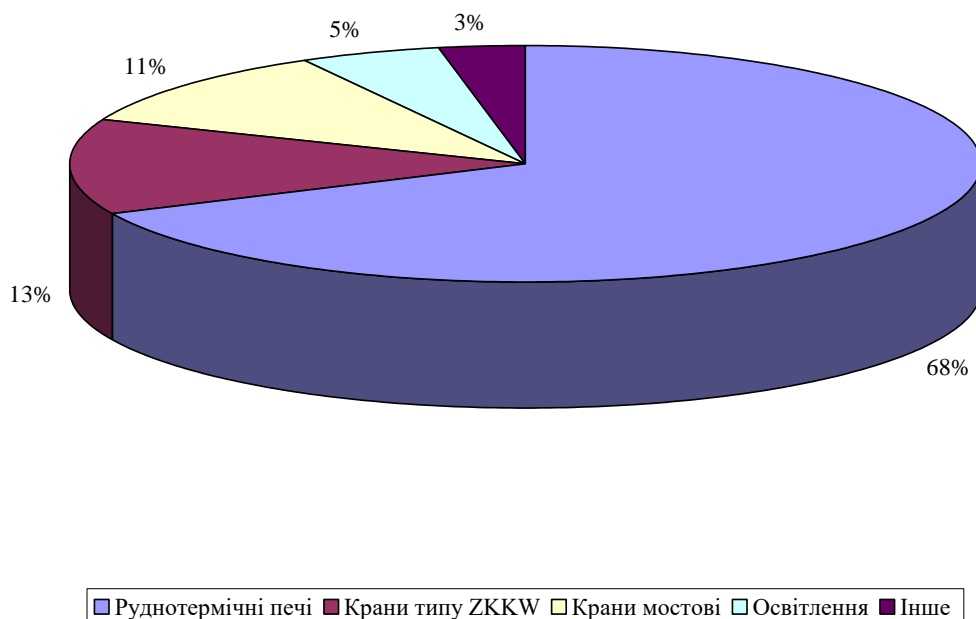


Рисунок 2.3 – Розподіл витрат електричної енергії між її споживачами в цеху №3

Всього в плавильному цеху №3 встановлено вісім печей:

- піч РКО -7 (виробництво ФМн78, виробництво ВМСН78 для виплавки Мн95) - 5шт;



- піч РКО -7 (виробництво Мн95) - 2шт;
- піч РКО -7 (виробництво МнС17) - 1шт.

Вони мають однакову потужність і майже не відрізняються за конструкцією та принципом роботи, однак розподілені та застосовуються у відповідності до виробництва певних марок феросплавів.

## 2.2 Руднотермічні печі як найбільші споживачі електричної енергії

Сучасне виробництво сталей, особливо якісних, передбачає обов'язкове застосування раскислителей, легуючих, модифікують і рафінуючих добавок, без яких не можна забезпечити задані властивості сталей. Добавки намагаються вводити в кінці процесу виплавки сталі - при її випуску в розливний ківш або при позапічної обробці. Велике коло завдань, що вирішуються за використанням феросплавів при виплавці чорних і кольорових металів, обумовлює різноманітність вироблених сплавів, обсяг і різні методи їх виробництва, а також застосування спеціальних технологічних прийомів.

Основним показником якості феросплаву є його хімічний склад - зміст в ньому ведучого елемента, а також шкідливих домішок (сірки, фосфору, вуглецю і кольорових металів: міді, цинку і деяких інших). Інша важлива характеристика якості феросплаву – його гранулометричний склад, при правильному виборі якого прискорюється процес розплавлення і забезпечується засвоєння легуючого елемента [14-16].

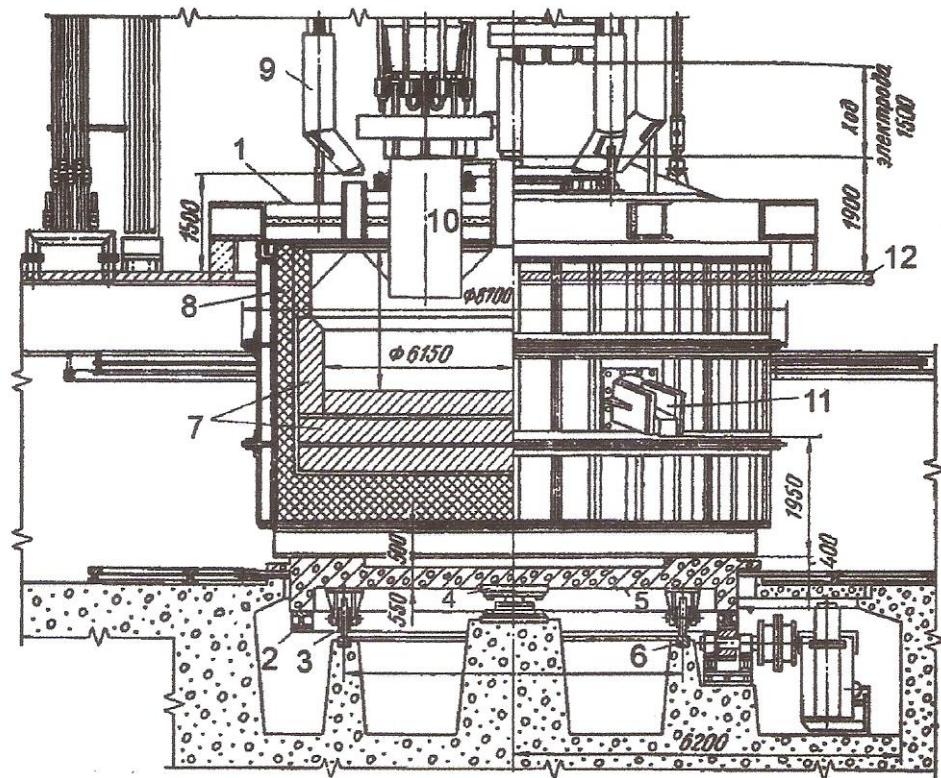
Феросплавна піч - електрична піч для виплавки феросплавів (феросиліцію, феромарганцю, ферохрому і ін.) за допомогою теплоти, що утворюється електричною дугою змінного струму. Феросплави - це сплави заліза з кремнієм, марганцем, хромом та іншими елементами, що застосовуються у виробництві сталі для легування і поліпшення її

властивостей. Часто застосовується й інше визначення феросплавної печі: це руднотермічна піч для виплавки феросплавів. У свою чергу, руднотермічні (або рудовідновних) піч - електрична дугова піч для виплавки металів і сплавів з рудних матеріалів.

Конструкція феросплавної печі визначається технологічними процесами виплавки феросплавів: електротермічними та металотермічними. В основу класифікації феросплавних печей прийнята потужність пічного трансформатора, виражена в МВА. В умовних позначеннях печі прийняті правила: перша буква - метод нагріву: руднотермічні (Р); друга буква - форма ванни: кругла (К) і прямокутна (П); третя буква - конструктивна ознака: відкрита (О), закрита (З) герметичним склепінням, напівзакрита (П). Наприклад, піч РКЗ-16,5 є круглою з закритим склепінням і потужністю 16,5 МВА.

Феросплавні печі можуть бути безперервного (відновлювальні) і періодичного (рафінувальні) дії. Як приклад на рисунку 2.4 наведено загальний вигляд феросплавної печі типу РКЗ. Відповідно до класифікації піч є руднотермічні з круглою ванною і закритим склепінням. На наступному рисунку 2.3 показаний звід печі (в плані). Піч виконується у вигляді низької шахти циліндричної форми, в якій знаходяться три вертикально розташованих електрода [17, 18].

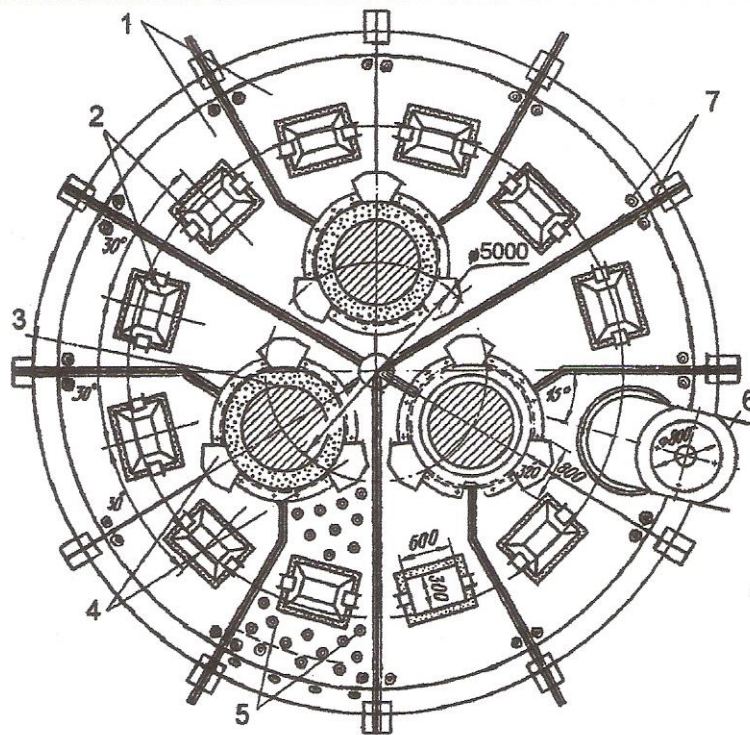
В основному, застосовуються графітові, вугільні та самоспікаючі електроди. Електроди графітові отримані пресуванням чистих вуглецевих матеріалів з додатковим випалюванням при 2600 °С. Вугільні електроди отримані пресуванням дробленого антрациту і кам'яновугільного коксу на основі сполучного з подальшим випалюванням при 1300 °С.



1 – звод і розташована під ним зона колошника; 2 – зубчатий венець;  
 3 – ходові колеса; 4 – центруючі п'ята; 5 – залізобетонна плита;  
 6 – кільцевий рельс; 7 – вугільні блоки; 8 – шамот; 9 – завантажувальний лоток;  
 10 – електрод; 11 – зливний жолоб; 12 – робоча площадка

Рисунок 2.4 – Схема феросплавної печі типу РКЗ із водоохолоджуючим зводом

Самоспікаючі електроди отримують з електродної маси, яка заповнює формоутворювальний сталевий кожух і яка спікається в твердий електрод у міру опускання кожуха в робочий простір печі. Найякісніші - це графітові електроди зі спеціальним просоченням. Щільність струму в них доходить до 20 А / см<sup>2</sup>. Перевага самоспікаючихся електродів - їх дешевизна, наприклад, вони в 3 рази дешевше вугільних, але щільність струму в них тільки 5-7 А / см<sup>2</sup> і, відповідно, діаметр самоспікаючихся електродів в 1,5-2 рази більше діаметра вугільних і графітованих електродів.



- 1 – секція зводу (одна з шести); 2 – противибухові люки; 3 – електроди;  
 4 – завантажувальні воронки; 5 – розпірні трубки; 6 – труба газовідведення;  
 7 – штуцери для входу та виходу охолоджуючої води

Рисунок 2.5 – Вид зверху на металевий водо охолоджуваний звод  
 феросплавної печі

Нижня частина футерування печі найчастіше викладається з вугільних блоків (подина і нижня частина стін, звана обстановкою), а верхня уздовж стін - з шамотного цегли. Товщина футеровки подини досягає 1,8 м (1,2 м - вугільні блоки і 0,6 м - теплова ізоляція). Товщина стін близько 0,5 м. При виплавці низьковуглецевих феросплавів замість вугільних блоків використовується магнезитова футерування.

Для рівномірного проплавлення шихти і руйнуванню утворюючих спікань печі можуть бути обладнані механізмом обертання ванни, який видно на загальному вигляді печі (рисунок 2.4). Обертання реверсивний в межах сектора, відповідного певному куті повороту (не більше 130 °).

Звід складається з 6 порожніх секцій, усередині яких циркулює вода. Нижня поверхня склепіння покрита шаром жароміцного бетону. У зводі

передбачені отвори для завантажувальних воронки, запобіжних клапанів і газовідводів. При обертанні печі звід не обертається.

Піч працює безперервно. Шихта в неї завантажується зверху через завантажувальні воронки таким чином, щоб електроди весь час залишалися глибоко зануреними в неї і щоб на колошнику навколо кожного з електродів шихта розташовувалася у вигляді конуса. Для довідки: ведучий верхня частина плавильної шахтної печі, куди завантажують колошами (порціями) сирі матеріали (шихта): агломерат, окатиші, руду, флюси, паливо.

Під дією електричної дуги під шаром шихти створюється високотемпературна реакційна зона у вигляді посудини, стінки якого оплавлені і мають температуру близько  $2000^{\circ}\text{C}$ . Усередині "судини" знаходяться рідкі і газоподібні продукти реакцій відновлення при температурі  $2100\text{-}2200^{\circ}\text{C}$ . Теплота виділяється за рахунок випромінювання дуг на стінки "судини" і за рахунок протікання електричного струму за об'ємом шихти від одного електрода до іншого. Частина теплоти витрачається на проведення реакцій відновлення прогрітій шихти, на прогрів навколишньої шихти теплопровідністю, а частина відводиться з газоподібними продуктами реакцій і з парами оксидів і металів. Створюваний над зоною високих температур товстий шар шихти ( $\sim 1$  метр) сприяє оптимальному використанню фізичної теплоти газів, що утворюються в цій зоні. Газ, який залишає робочий простір печі, називається колошниковим. Після очищення від пилу газ називається феросплавним. Шихта опускається до зони прямого відновлення і за рахунок теплообміну з газом достатньо добре нагріта і позбавлена летючих складових. Метал і шлак випускають з печі періодично по мірі їх накопичення через зливний жолоб.

Через відсутність можливості проведення замірів безпосередньо в робочому просторі печі масу розплавленого металу приблизно визначають за кількістю витрачається електроенергії. Наприклад, треба випустити 4 тонни феросплаву з печі, потужність якої 1,5 МВт. На кожен тону витрачається, припустимо, 3 МВт · год електроенергії. Найпростіший розрахунок:  $3 / 1,5 \times 4$

= 8 годин. Тобто, ведучи процес плавки на максимальній потужності протягом 8 годин, ми гарантовано матимемо 4 тонни феросплаву. Питомі витрати електричної енергії у руднотермічних печах представлено в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Питома витрата енергії в феросплавних печах

Назва феросплаву	кг у.п./т	кВт·г/т
Феросиліцій	1040-1080	8500-8800
Феромарганець	460-510	3800-4100
Високо вуглецевий ферохром	450-490	3700-4000

Температура плавлення феросплаву залежить від його складу. Наприклад, температура плавлення феромарганцю становить 1220-1260 °С. Температура розливання феромарганцю на стрічкових машинах - 1340-1380 °С. Температура випуску з печі ~ 1500-1600 °С.

2.3 Задачі для дослідження можливостей підвищення енергоефективності руднотермічної печі

За результатами проведеного енергетичного аудиту заводу АТ «Запорізький завод феросплавів» виявлено, що в структурі витрат на енергоносії перше місце посідає сплата за електричну енергію. На основі даних таблиці 2.2 можливо розрахувати коефіцієнт потужності, тобто  $\cos\varphi$  за формулою [19, 20]:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}, \quad (2.1)$$

де  $P$  – активна енергії;

$S$  – повна енергія.

Повна енергія в свою чергу розраховуємо наступним чином:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.2)$$

Результати всіх розрахунків наведені в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Розрахований коефіцієнт потужності підприємства за період січень 2019р – вересень 2019р

Період	Активна, кВт·год	Реактивна, кВАр·год	cosφ
Січень	141 962 490	46 181 133	0,951
Лютий	127 243 623	42 340 087	0,949
Березень	138 839 118	48 171 124	0,945
Квітень	133 478 399	48 856 062	0,939
Травень	138 540 958	46 795 705	0,947
Червень	123 456 031	44 244 409	0,941
Липень	126 687 977	44 059 435	0,945
Серпень	128 032 748	41 012 174	0,952
Вересень	125 770 969	40 474 552	0,952

Загально прийнятим, тобто ідеальним, показником коефіцієнта потужності вважається значення  $\cos\varphi=0,98$ . Це пов'язано з тим, що підприємство не може повністю відмовитись від купівлі з мережі реактивної енергії, оскільки вона там існує і повинна бути споживана відповідними споживачами для стійкої роботи та балансу в усій енергосистемі. Кількість можливої взятої з мережі реактивної енергії регулюється спеціальними договорами між заводом та енергопостачальною компанією. Тому вкрай важливо щоб ця кількість була якомога меншою.

Коефіцієнт потужності руднотермічної печі знаходиться в межах від 0,6 до 0,8 тому зрозуміло, що на підприємстві існує власна компенсація реактивної енергії за рахунок використання конденсаторних батарей. На АТ «Запорізький завод феросплавів» використовується загальнозаводська система компенсації, тобто на головній підстанції встановлені конденсаторні батареї відповідної потужності, а регулювання здійснюється за рахунок

підключення чи відключення певних їх секцій. Діапазон такого регулювання є досить великим, тому часто виникають ситуації з пере- та недокомпенсацією, що в свою чергу має негативний вплив на внутрішньозаводську мережу.

Виходячи з вище вказаного, в контексті енергозбереження реактивної енергії, перед нами постають наступні задачі:

- збалансована компенсація реактивної енергії;
- можливість плавного регулювання потужності конденсаторних батарей;
- доцільність децентралізації компенсуючих пристроїв з метою більш точної компенсації.
- можливість прогнозування рівня споживання реактивної енергії;
- автоматичне керування конденсаторними батареями.

Для вирішення цих питань пропонується наступне:

- на основі статистичних даних про об'єм споживання реактивної енергії певною руднотермічною піччю при виплавці відповідної марки феросплаву вивести математичну залежність між необхідним її обсягом та часом плавки. Тобто підставляючи в це рівняння значення часу ми точно зможемо сказати скільки піч споживає реактивної енергії в даний момент;
- синтезувати алгоритмічну модель для можливості автоматичного керування конденсаторними батареями в динаміці;
- розглянути економічну доцільність впровадження заходів щодо індивідуальної компенсації реактивної енергії;
- модернізація існуючої системи компенсації реактивної енергії.



### 3 МОЖЛИВІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ ЦЕХУ

В електричних ланцюгах, що містять комбіноване навантаження, зокрема, активну (лампи розжарювання, електронагрівачі та ін) і індуктивну (електродвигуни, розподільні трансформатори, зварювальне обладнання, люмінесцентні лампи та ін) загальну потужність, що забирається від мережі, можна виразити наступною векторною діаграмою (рисунок 3.1) [21]:



Рисунок 3.1 – Векторна діаграма споживання потужності

Відставання струму по фазі від напруги в індуктивних елементах обумовлює інтервали часу, коли напруга і струм мають протилежні знаки: напруга позитивно, а струм негативний і навпаки. У ці моменти потужність не споживається навантаженням, а подається назад по мережі в сторону генератора. При цьому електроенергія, яка накопичена в кожному індуктивному елементі, поширюється по мережі, не розсіювалися в активних елементах, а здійснюючи коливальні рухи (від навантаження до генератора і назад). Відповідну потужність називають реактивною.

Повна потужність складається з активної потужності, що здійснює корисну роботу, і реактивної потужності, що витрачається на створення магнітних полів і створює додаткове навантаження на силові лінії живлення. Співвідношення між повною і активною потужністю, виражене через

косинус кута між їх векторами, називається коефіцієнтом (фактором) потужності (рисунок 3.2) [21].

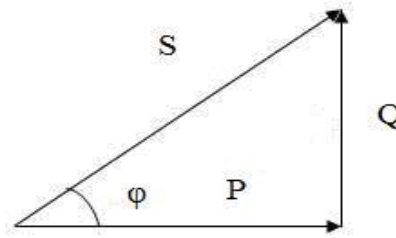


Рисунок 3.2 – Трикутник потужностей

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Активна енергія перетвориться в корисну - механічну, теплову та інші енергії. Реактивна енергія не пов'язана з виконанням корисної роботи, проте вона необхідна для створення електромагнітного поля, наявність якого є необхідною умовою для роботи електродвигунів і трансформаторів. Споживання реактивної потужності від енергопостачальної організації недоцільно, тому призводить до збільшення потужності генераторів, трансформаторів, перерізу підвідних кабелів, а так само підвищення активних втрат і падіння напруги. Тому реактивну потужність необхідно отримувати (генерувати) безпосередньо у споживача. Цю функцію виконують установки компенсації реактивної потужності (КРП), основними елементами яких є конденсатори [23, 24].

Реактивна потужність при цьому вже не переміщається між генератором і навантаженням, а робить локальні коливання між реактивними елементами - індуктивними обмотками навантаження і компенсатором. Така компенсація реактивної потужності (зниження індуктивного струму в системі «генератор - навантаження») дозволяє, зокрема, передати в навантаження

більшу активну потужність при тій же номінальній повній потужності генератора.

Найбільш ефективно проводити компенсацію реактивної потужності безпосередньо у споживача, але це процес досить довгий і дорогий. Для отримання більш швидкого відчутного результату на першому етапі необхідно провести компенсацію реактивної потужності на підстанціях, що дозволить розвантажити мережу і отримати енергозбереження в межах 10-20%. Попередньо, на підстанціях в мережах 0,4 кВ необхідно вирівнювання навантажень фаз, яке проводиться шляхом перемикання частини абонентів з перевантажених фаз на недовантажені [25, 26].

### 3.1 Графіки роботи руднотермічних печей

На АТ «Запорізький завод феросплавів» живлення всіх печей проводиться від окремої лінії 10 кВ з підстанції заводу. Компенсація реактивної потужності проводиться на головній підстанції підприємства за допомогою батарей конденсаторів. Індивідуальна та загально цехова компенсація реактивної енергії на даний момент на підприємстві не передбачена.

В таблиці 3.1 наведені данні про споживання реактивної енергії цехом №3 по лінії 10 кВ за період з 09.09.2019 по 13.09.2019 .

Таблиця 3.1 – Споживання реактивної енергії цехом №3 по лінії 10кВ

Час доби	Споживання реактивної потужності цехом, кВАр·год				
	09.09.2019	10.09.2019	11.09.2019	12.09.2019	13.09.2019
1	2	3	4	5	6
0:00	207,0	264,5	333,5	529,0	340,4
0:30	179,4	204,7	258,8	549,7	350,8
1:00	156,4	3669,9	235,8	504,9	395,6
1:30	227,7	4361,0	299,0	458,9	369,2

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
2:00	2248,8	2261,5	235,8	3756,1	2475,4
2:30	2977,7	1041,8	2332,8	4447,3	1383,1
3:00	3183,4	227,7	3131,7	2253,4	1133,1
3:30	3431,9	190,9	3331,0	944,0	384,1
4:00	6600,8	236,9	3636,5	420,9	389,9
4:30	4727,1	2285,6	2352,0	400,2	383,0
5:00	4836,6	3085,7	2074,1	461,2	389,9
5:30	6729,3	3264,3	1309,4	470,4	409,4
6:00	4509,4	3530,7	1203,5	510,6	395,6
6:30	4475,2	2311,7	2388,0	501,4	434,7
7:00	2332,4	305,9	3190,3	485,3	396,8
7:30	126,5	281,8	3341,3	489,9	424,4
8:00	4064,2	2013,1	3584,8	3763,0	433,6
8:30	4038,3	7165,2	2393,4	6629,4	426,7
9:00	3930,4	7598,9	299,0	5332,2	391,0
9:30	3484,7	5965,5	330,1	4207,2	415,2
10:00	2103,9	5838,4	4221,8	3549,1	404,8
10:30	228,9	1265,8	4267,5	2439,4	419,8
11:00	3755,9	1019,2	4296,1	396,8	2463,9
11:30	4124,9	2069,4	3569,9	446,2	1418,8
12:00	4156,7	2853,2	2361,2	457,7	1196,3
12:30	3440,0	2963,8	304,8	470,4	2158,0
13:00	2325,5	3441,0	315,1	473,8	2919,9
13:30	204,7	2120,0	340,4	2327,0	3053,5
14:00	225,4	234,6	231,2	3083,4	3518,1
14:30	166,8	294,4	276,0	3285,0	4107,9
15:00	178,3	4332,2	286,4	3529,6	1301,3
15:30	156,4	3940,2	308,2	2314,0	1185,1
16:00	227,7	7178,9	320,9	498,0	2131,5
16:30	180,6	7279,0	281,8	489,9	2934,8
17:00	2285,6	4354,0	4657,0	491,1	3005,2
17:30	3074,2	946,0	4882,3	461,2	3468,6
18:00	3331,0	302,5	2907,4	2305,2	2147,6
18:30	3548,0	232,3	1576,5	3085,8	458,9
19:00	2314,0	2119,0	166,8	3212,2	379,5

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
19:30	212,8	1271,4	187,5	3507,8	2399,5
20:00	3533,5	1181,6	204,7	2314,0	3153,5
20:30	4162,0	2287,9	116,2	535,9	3358,6
21:00	2403,0	3027,1	4415,5	3721,6	3596,3
21:30	901,1	3083,4	4686,8	4389,8	2370,4
22:00	212,8	3459,5	2641,8	2287,9	433,6
22:30	189,8	4223,7	1582,3	1118,8	396,8
23:00	203,6	1250,7	327,8	485,3	346,2
23:30	199,0	1134,5	287,5	484,2	381,8

На основі даних таблиці 3.1 будемо графіки споживання реактивної енергії за період 09.09.2019-13.09.2019.

З графіків видно що споживання реактивної енергії впродовж доби та різних днів місяця дуже різняться. Це пов'язано з графіком плавок різних марок феросплавів в печах цеху. Чим більше печей одночасно працюють, тим більше споживання реактивної енергії.

В таблиці 3.2 наведенні дані про графік роботи руднотермічних печей для виплавки феромарганцю 78 (ФМн78), марганцю 95 (Мн95) та феросилікомарганцю (МнС17)

Графіки плавок, здебільшого, залежать від кількості замовлень на виробництво сталі. В даний час підприємство АТ «Запорізький завод феросплавів» переживає не найкращі часи. Замовлення на виплавку різних видів феросплавів не є постійними впродовж тижня та місяця, тому завантаженість печей напряду залежить від кількості та об'єму замовлень.

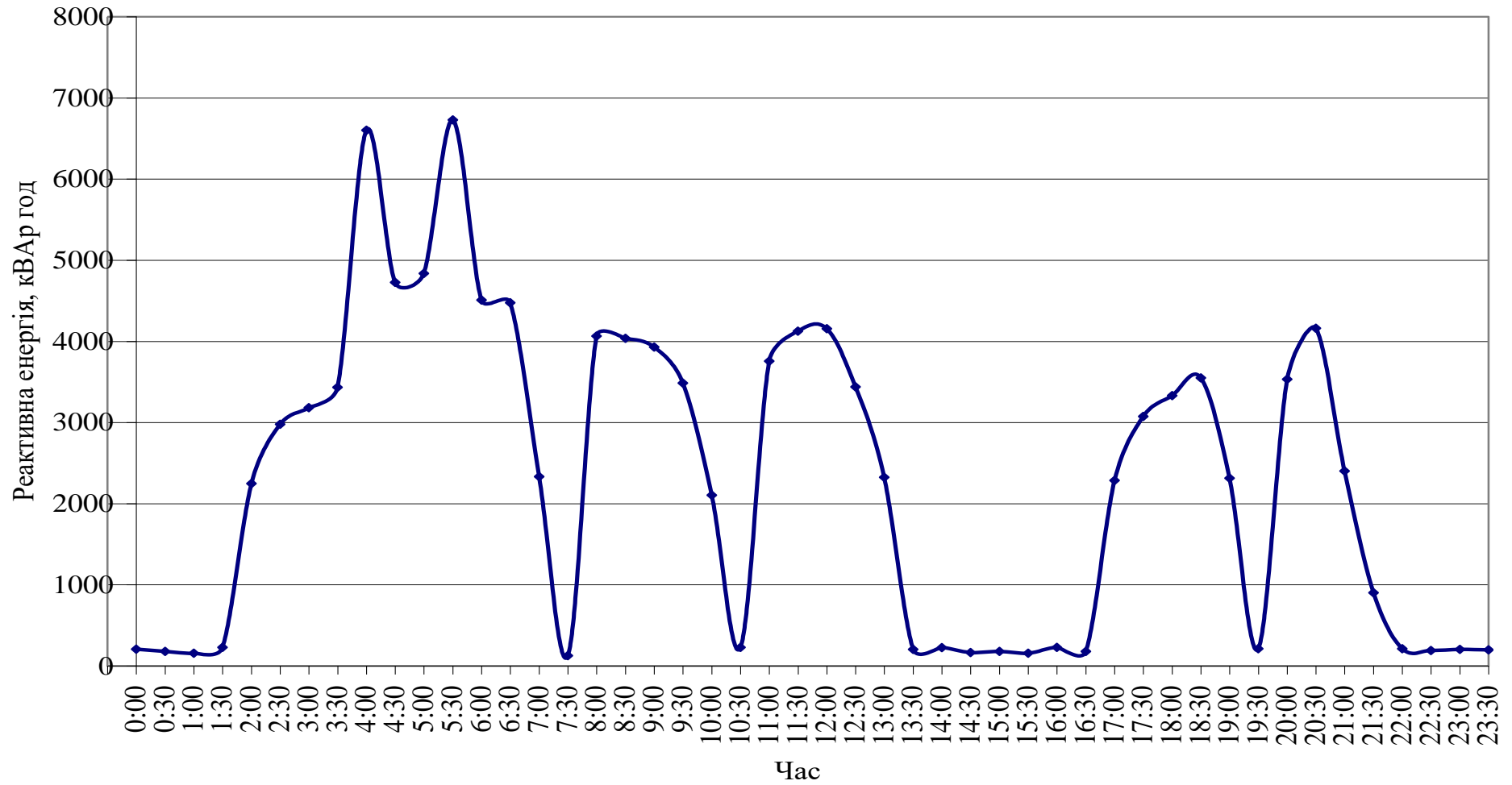


Рисунок 3.3 – Графік залежності споживання реактивної енергії від часу доби за 09.09.2019р

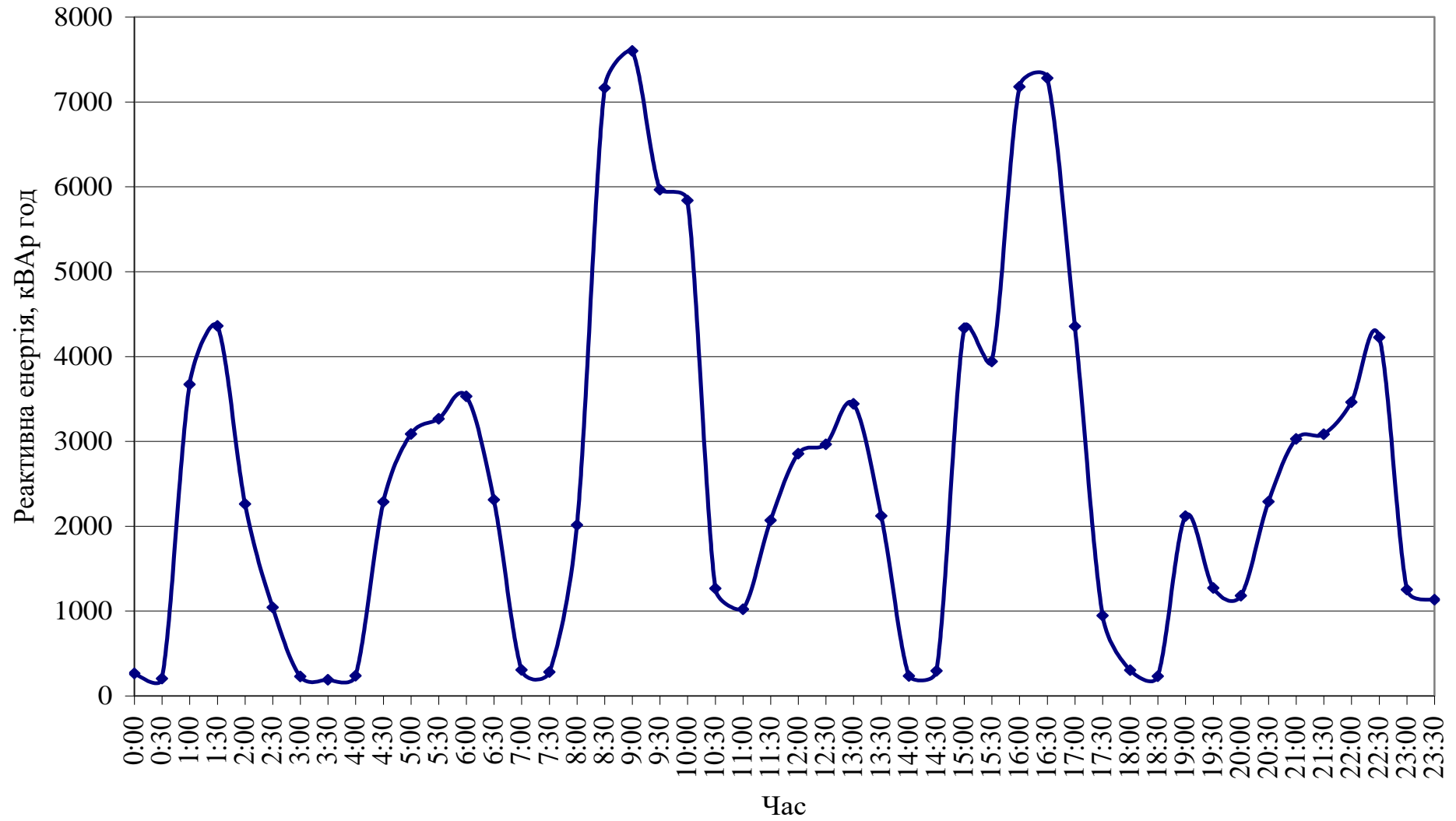


Рисунок 3.4 – Графік залежності споживання реактивної енергії від часу доби за 10.09.2019р

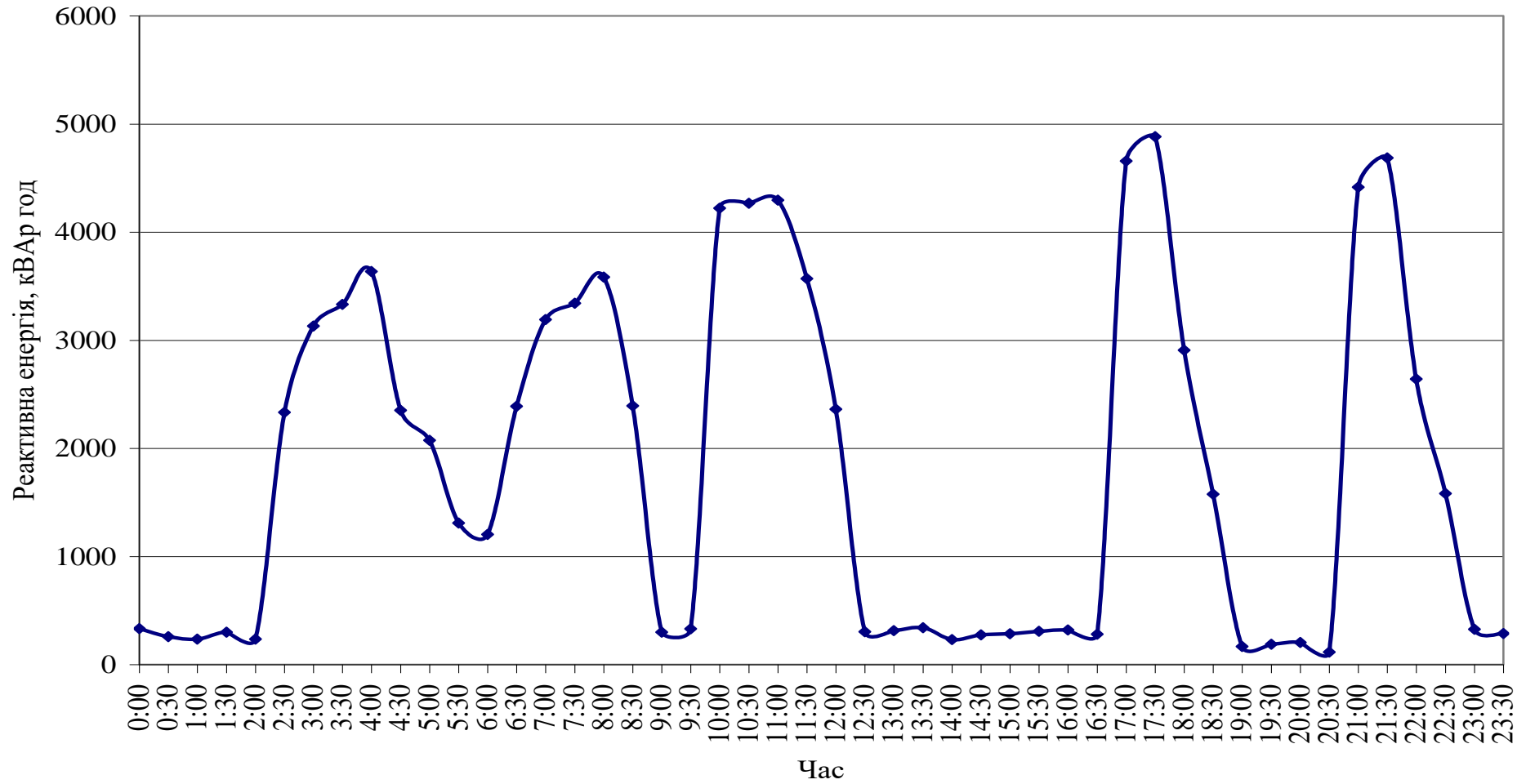


Рисунок 3.5 – Графік залежності споживання реактивної енергії від часу доби за 11.09.2019р



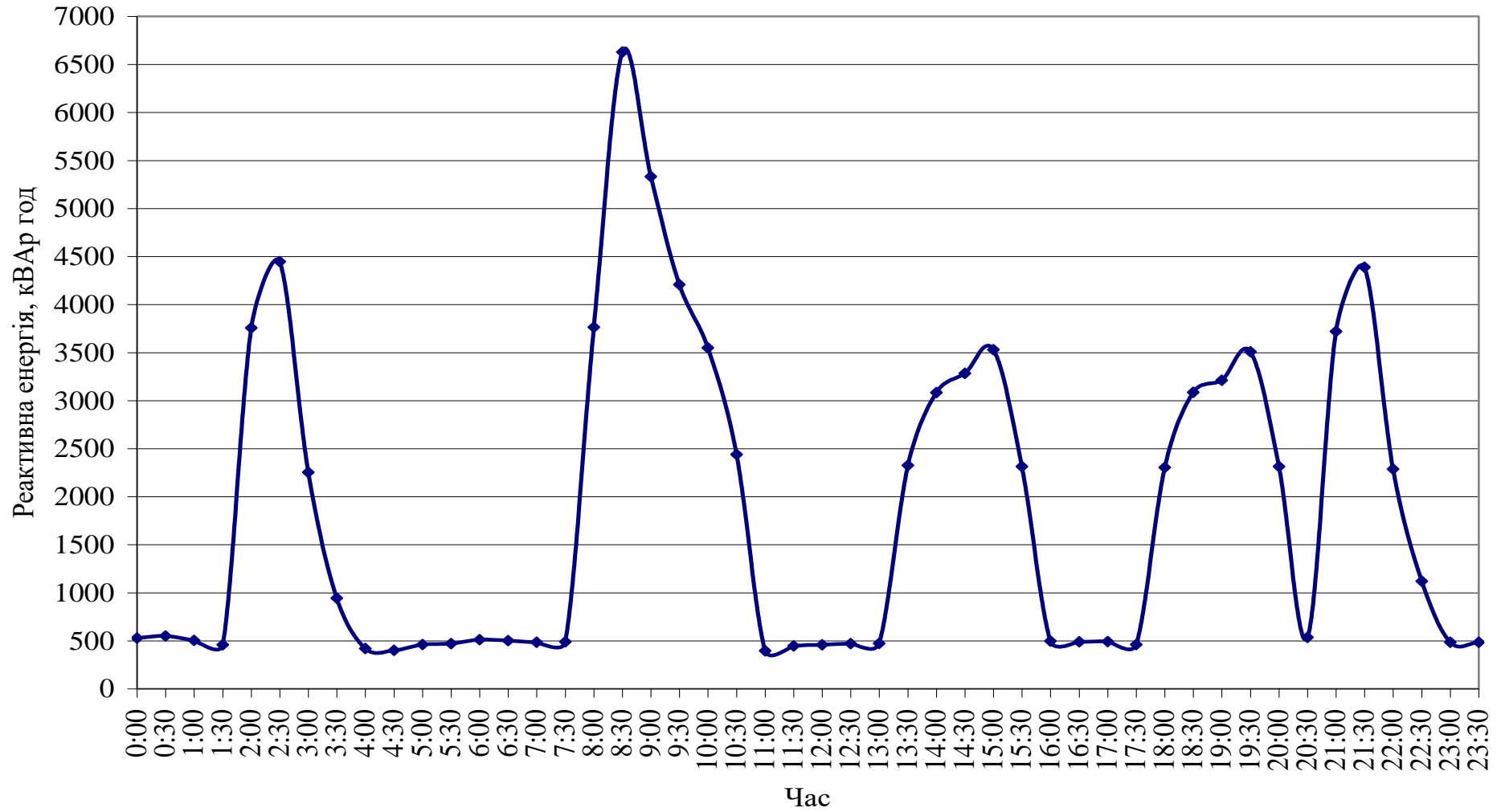


Рисунок 3.6 – Графік залежності споживання реактивної енергії від часу доби за 12.09.2019р

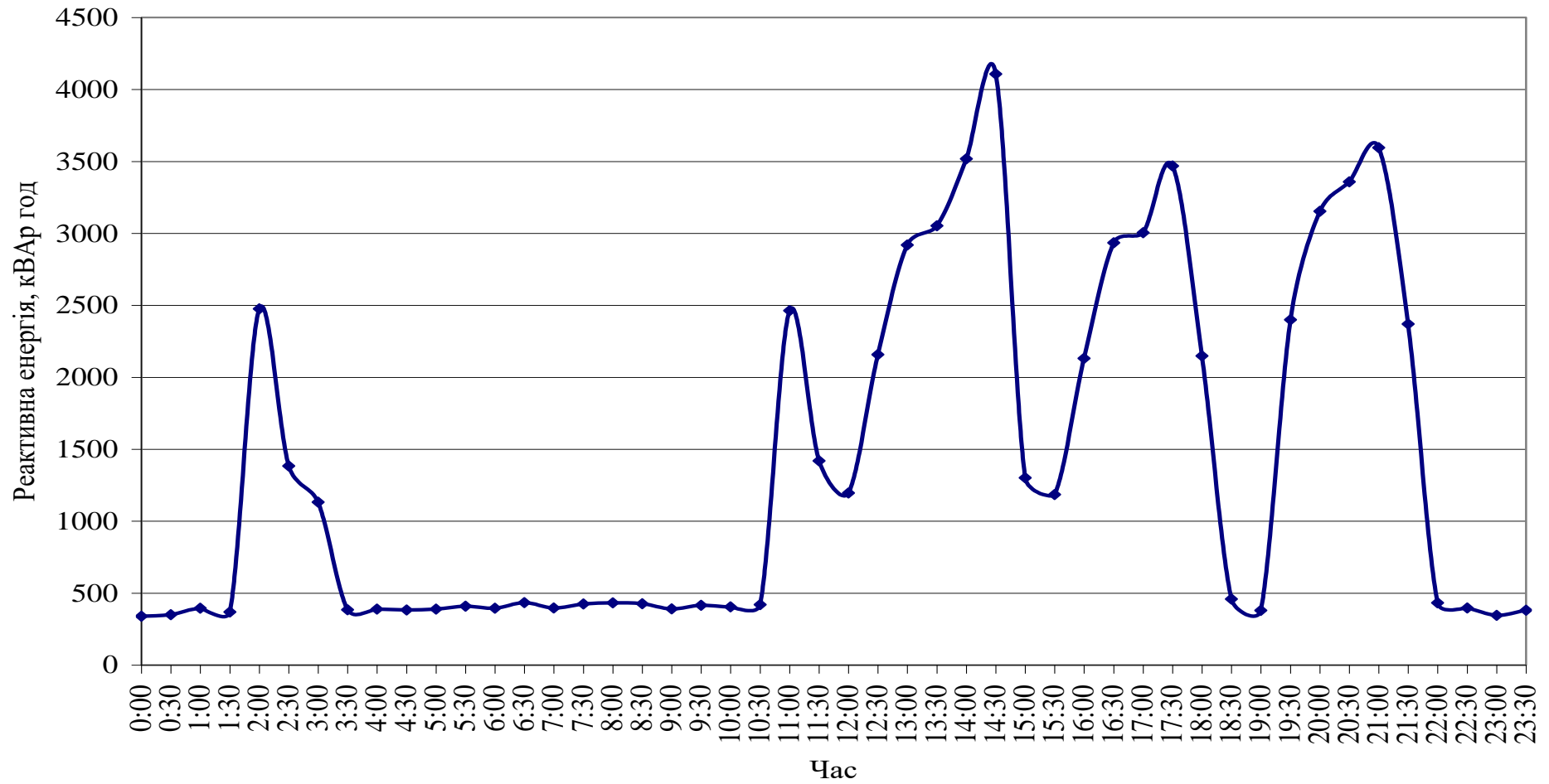


Рисунок 3.7 – Графік залежності споживання реактивної енергії від часу доби за 13.09.2019р

Таблиця 3.2 – Графік роботи печей для отримання різних видів феросплавів

Дата	ФМн78		Мн95		МнС17	
	Початок	Кінець	Початок	Кінець	Початок	Кінець
09.09.2019	1:30	4:00	3:30	5:30	5:00	6:30
	4:30	7:00	19:30	21:30	7:30	9:15
	7:30	10:00			10:30	11:30
	10:30	13:00				
	16:00	18:30				
10.09.2019	4:00	6:30	0:30	2:30	9:30	11:00
	7:30	10:00	8:00	10:00	14:30	16:00
	11:00	13:30	15:30	17:30	18:30	20:00
	14:30	18:00			22:00	23:30
	20:00	23:30				
11.09.2019	2:00	4:30	16:30	18:30	4:30	6:00
	6:00	8:30	20:30	22:30	9:30	11:00
	9:30	12:00				
12.09.2019	8:00	11:30	01:30	05:30		
	13:00	15:30	7:30	9:30		
	17:30	20:00	20:30	22:30		
13.09.2019	12:00	14:30			1:30	3:00
	15:30	18:00			10:30	12:00
	19:00	21:30			14:00	15:30

Графіки плавок, здебільшого, залежать від кількості замовлень на виробництво феросплавів, тому він має такий змінний характер. Також слід зауважити, що феросплави є легуючими добавками при виплавці різних видів сталей, об'єми виробництва яких знизилися останніми роками.

### 3.2 Прогнозування споживання реактивної потужності печами

При виключених печах споживання реактивної енергії приблизно 350 кВАр·год за півгодини. Проаналізувавши таблицю 3.2 можливо виділити ділянки де працює тільки одна піч і таких моментів достатньо. В таблиці 3.3 наведені експериментальні данні для побудови графіка споживання реактивної енергії кожної печі окрема в залежності від фази плавки (часу плавки).

Таблиця 3.3 – Експериментальні дані для побудови графіків плавки окремих

Піч	Час роботи						
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
ФМн78	0	1860,5	2520,3	2670,2	2905,3	1890,2	0
	0	1730,5	2403	2478,2	2890,2	1740,5	0
	0	1898,5	2578,2	2760,5	2984,2	1925,2	0
	0	1650,6	2250,6	2395,6	2764,5	1690,5	0
Мн95	0	3103,2	3689,2	1860,5	795,9	0	
	0	3750,6	4009,5	2230,2	1250,9	0	
	0	2970,6	3520,1	1996,6	692,6	0	
	0	3967,5	4406,1	2630,4	986,5	0	
МнС17	0	1320,5	985,6	862,3	0		
	0	1698,6	1002,6	921,5	0		
	0	1986,5	1065,7	841,3	0		

На рисунках 3.8 – 3.10 показані графіки залежності споживанням реактивної енергії від часу роботи при виплавці різних типів феросплавів, а саме: феромарганець 78 (ФМн78); марганець 95 (Мн95) та феросилікомарганець (МнС17).

За допомогою програми обробки експериментальних даних DataFit отримаємо функції залежності споживання реактивної енергії від часу плавки. На рисунках 3.11-3.14 представлений інтерфейс програми DataFit та результат обробки даних програмою.

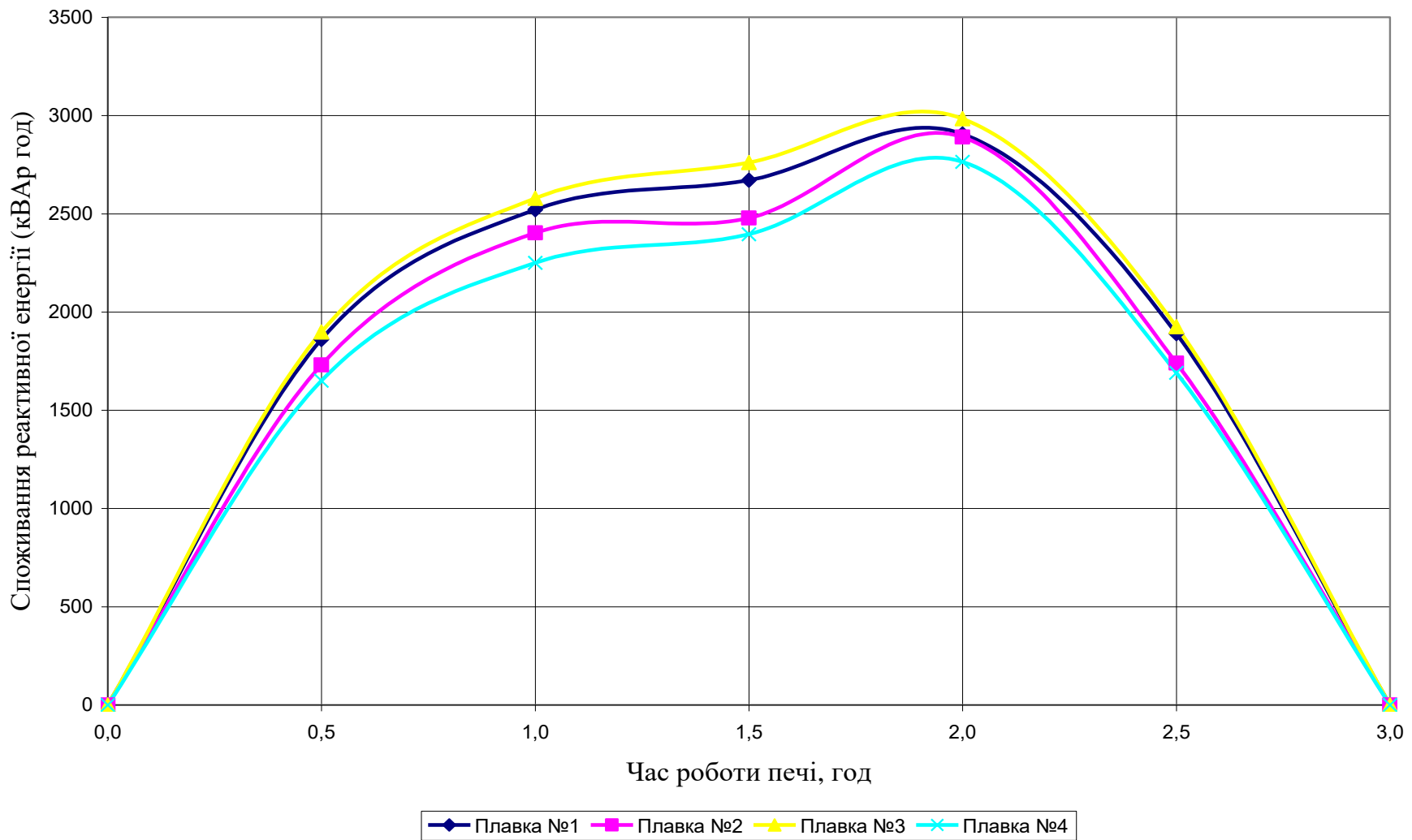


Рисунок 3.8 – Графік залежності споживання реактивної енергії від часу плавки при виплавці ФМн78

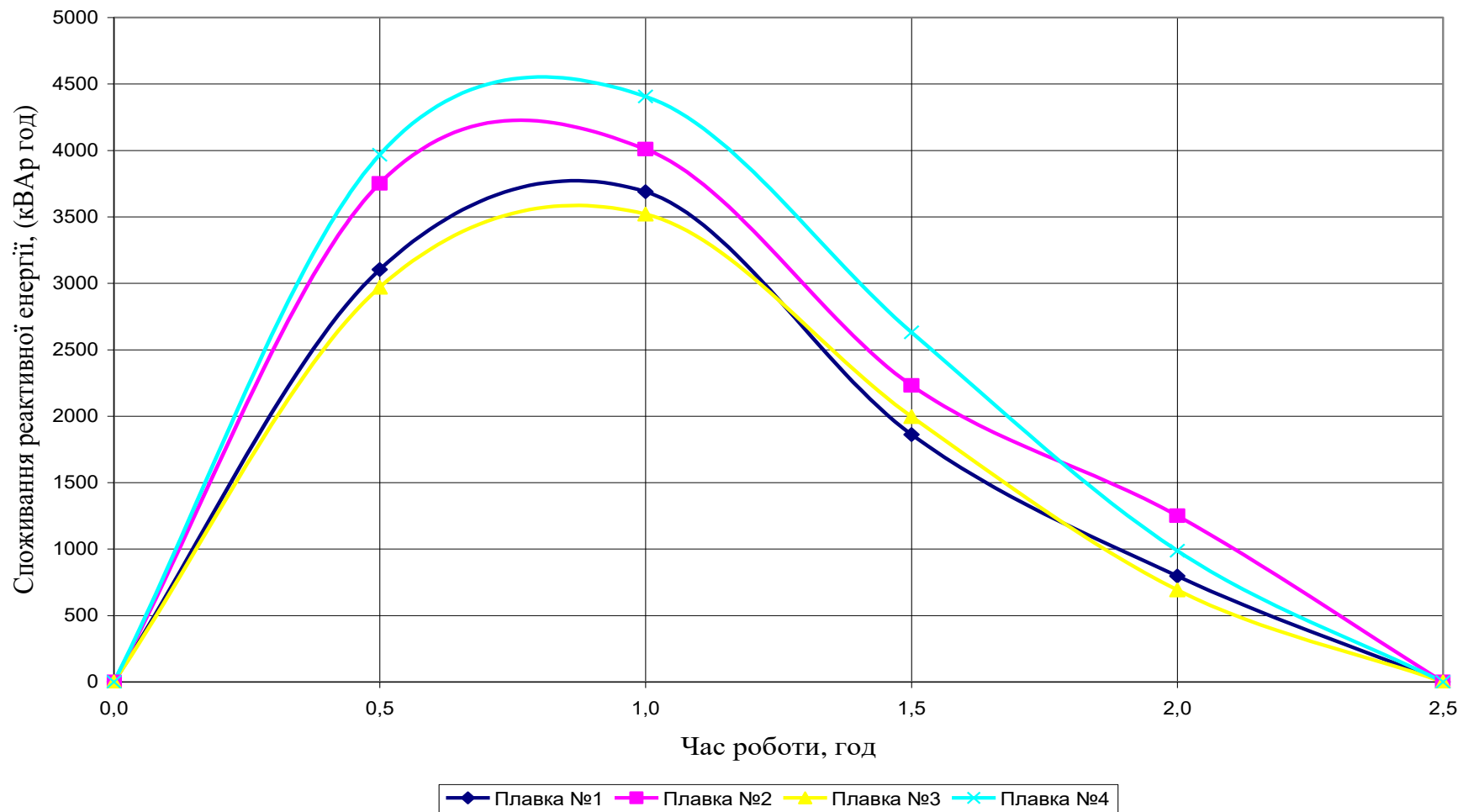


Рисунок 3.9 – Графік залежності споживання реактивної енергії від часу плавки при виплавці Mn95

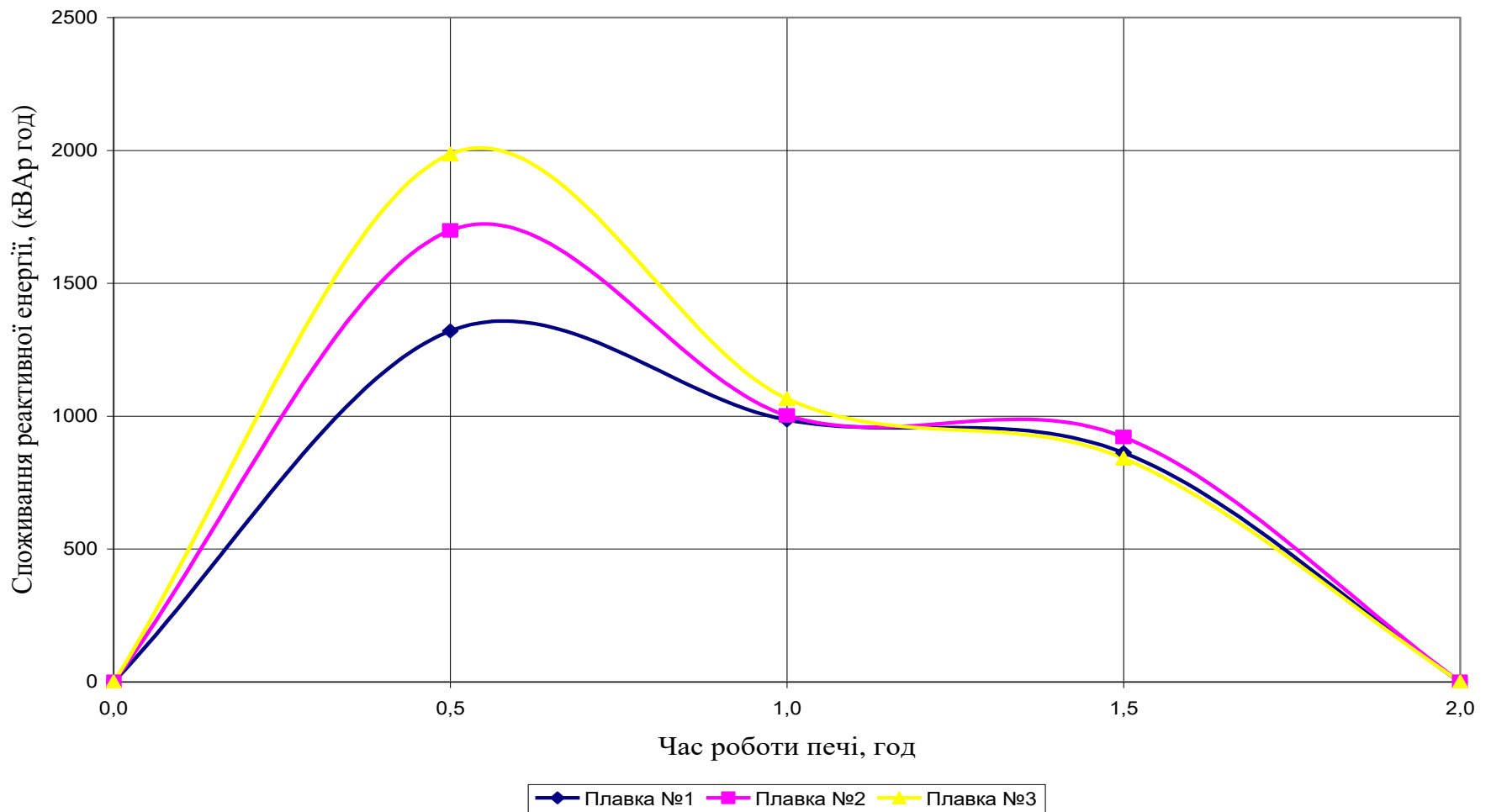


Рисунок 3.10 – Графік залежності споживання реактивної енергії від часу плавки при виплавці MnC17

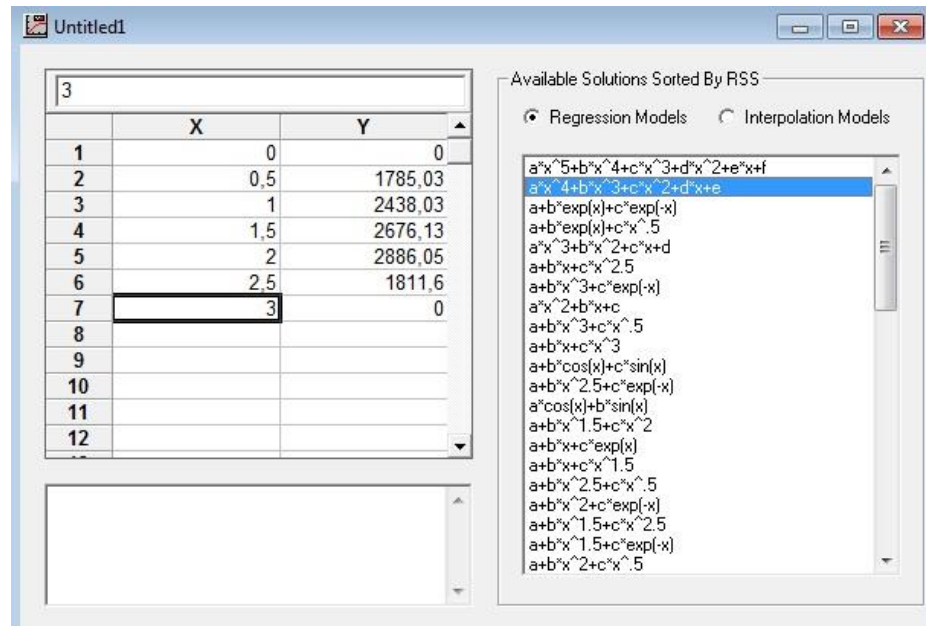


Рисунок 3.11 – Введення експериментальних значень в таблицю програми DataFit

На рисунку 3.11  $X$  – це періоди часу плавки переведені в частки від години,  $Y$  – середні узагальненні значення споживання реактивної енергії. Програма дає змогу згенерувати всі можливі формули (залежності), що найбільш точно описують експериментальну залежність.

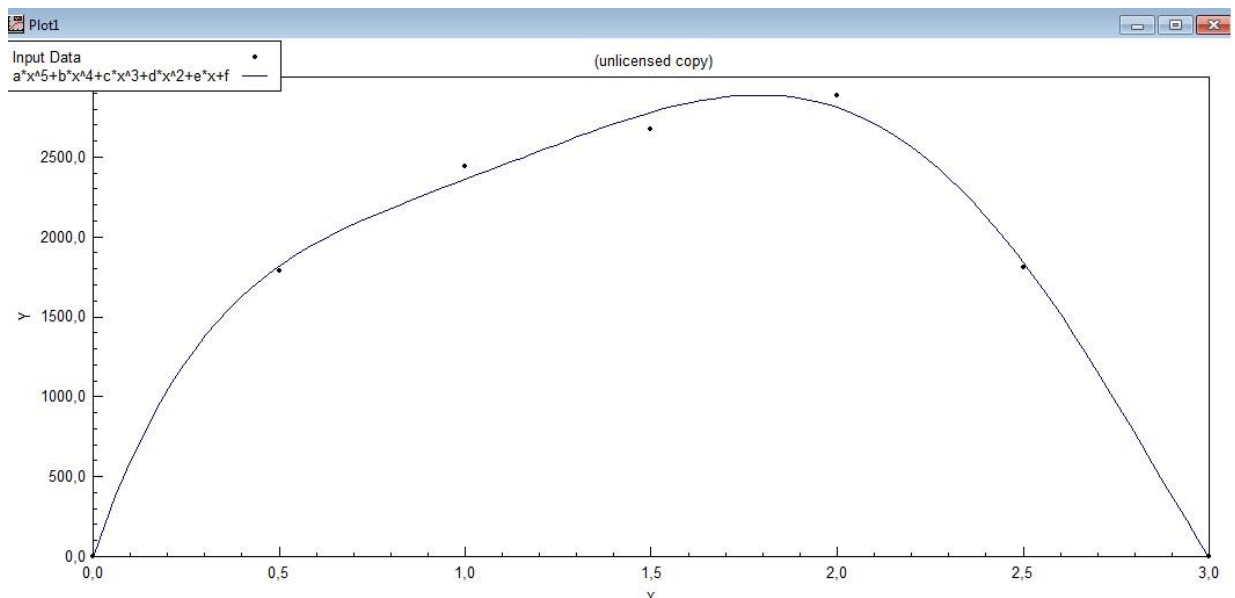


Рисунок 3.12 – Графік отриманої функції за допомогою програми обробки експериментальних даних DataFit для руднотермічної печі з виплавки ФМн78



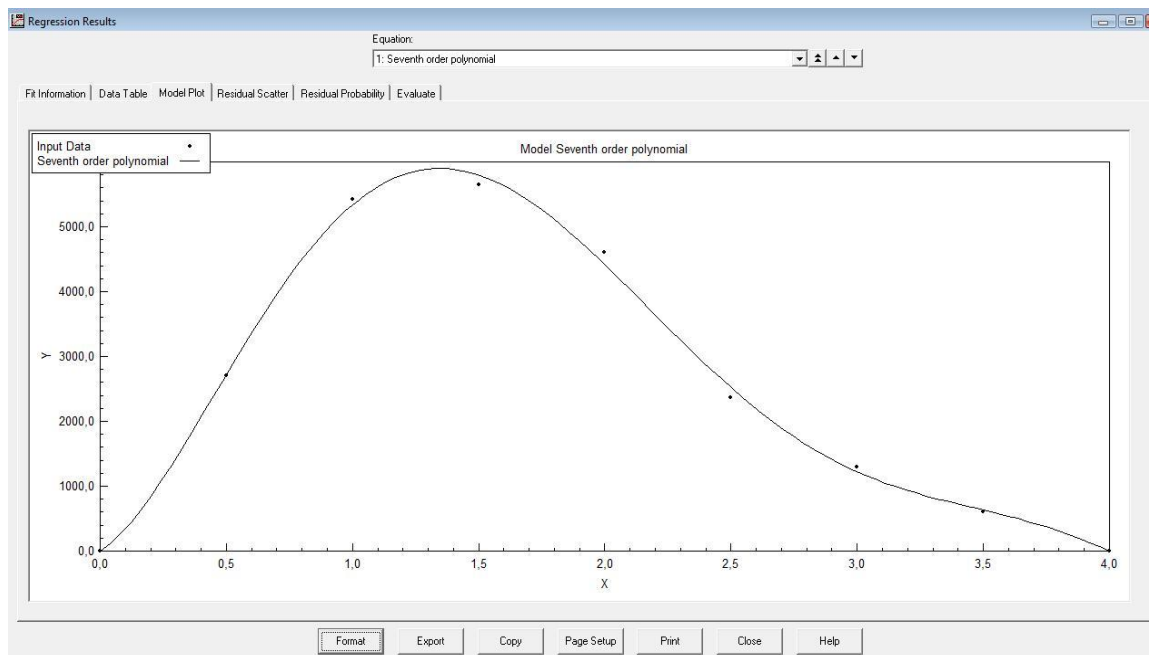


Рисунок 3.13 - Графік отриманої функції за допомогою програми обробки експериментальних даних DataFit для руднотермічної печі з виплавки Mn95

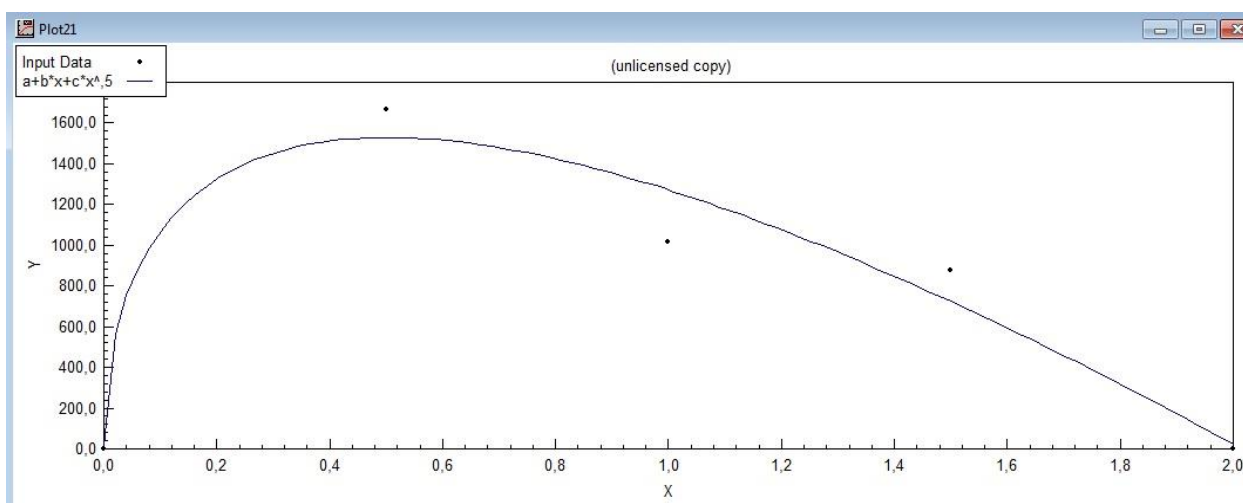


Рисунок 3.14 - Графік отриманої функції за допомогою програми обробки експериментальних даних DataFit для руднотермічної печі з виплавки MnC17

Для руднотермічної печі «ФМн78» найбільш точно описує цю залежність поліном п'ятого ступеня, який має вигляд:

$$Q = 284,51 \cdot x^5 - 2363,85 \cdot x^4 + 6846,38 \cdot x^3 - 9218,75 \cdot x^2 + 6817,64 \cdot x - 5,15, \quad (3.1)$$

де  $x$  – це час (момент) роботи печі;

$Q$  – споживання реактивної енергії (кВАр·год).

Для руднотермічної печі «Мн95» найбільш точно описує цю залежність поліном четвертого ступеня, який має вигляд:

$$Q = -322,31 \cdot x^4 + 3428,05 \cdot x^3 - 11338,39 \cdot x^2 + 11971,58 \cdot x - 18,6 \quad (3.2)$$

Для руднотермічної печі «МнС17» найбільш точно описує цю залежність поліном, який має вигляд:

$$Q = 4276,04 \cdot \sqrt{x} - 3020,28 \cdot x + 15,80 \quad (3.3)$$

### 3.3 Загальне прогнозування споживання реактивної потужності цехом

За допомогою прогнозування рівня споживання реактивної енергії можна буде налаштовувати конденсаторні батареї на необхідну потужність. Тим самим впровадити оптимальну компенсацію реактивної енергії, а це в свою чергу дасть підприємству непоганий економічний ефект.

В таблиці 3.4 наведені данні про початок і кінець роботи руднотермічних печей для виплавки таких феросплавів: феромарганець 78 (ФМн78); марганець 95 (Мн95) та феросилікомарганець (МнС17).

Таблиця 3.4 – Час роботи печей трьох печей на 16.09-17.09.2019р

	ФМн78		Мн95		МнС17	
	Початок роботи	Кінець роботи	Початок роботи	Кінець роботи	Початок роботи	Кінець роботи
16.09.2019	9:30	11:30	12:00	14:00	20:00	21:30
	12:30	15:00	16:00	18:00	22:00	23:30
	16:30	19:00				
17.09.2019	01:00	03:30	11:00	13:00	13:30	15:00
	14:30	17:00	15:00	17:00		
			18:30	20:30		

На основі графіка плавки спрогнозуємо можливе споживання реактивної енергії на цей період за допомогою формул (3.1-3.3). Підставляючи в формули замість  $x$  час плавки, можна отримати значення споживання реактивної енергії піччю в будь-який момент плавки.

Результати розрахунків прогнозування споживання реактивної енергії наведені в таблицях 3.5, 3.6. Також в таблицях міститься вся необхідна інформація для побудови графіків.

Таблиця 3.5 – Прогнозування споживання реактивної енергії на 16.09.2019 печами цеху №3 на лінії живлення 10 кВ

Час доби	Прогнозоване споживання реактивної енергії руднотермічними печами цеху				Власне споживання	Всього спрогнозовано	Фактично спожито
	ФМн 78	Мн95	МнС 17	Разом			
1	2	3	4	5	6	7	8
0:00					350,0	350,0	351,0

## Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8
0:30					350,0	350,0	429,8
1:00					350,0	350,0	372,6
1:30					350,0	350,0	399,6
2:00					350,0	350,0	387,7
2:30					350,0	350,0	368,3
3:00					350,0	350,0	394,2
3:30					350,0	350,0	326,2
4:00					350,0	350,0	347,8
4:30					350,0	350,0	370,4
5:00					350,0	350,0	384,5
5:30					350,0	350,0	439,6
6:00					350,0	350,0	442,8
6:30					350,0	350,0	321,8
7:00					350,0	350,0	307,8
7:30					350,0	350,0	388,8
8:00					350,0	350,0	403,9
8:30					350,0	350,0	389,9
9:00					350,0	350,0	353,2
9:30					350,0	350,0	376,9
10:00	1815,9			1815,9	350,0	2165,9	2427,3
10:30	2360,8			2360,8	350,0	2710,8	3214,3
11:00	2779,2			2779,2	350,0	3129,2	3415,5
11:30	2808,9			2808,9	350,0	3158,9	3693,8
12:00	1842,7			1842,7	350,0	2192,7	2189,4
12:30		3541,0		3541,0	350,0	3891,0	3758,6
13:00	1815,9	3720,6		5536,6	350,0	5886,6	6444,0

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8
13:30	2360,8	2366,9		4727,7	350,0	5077,7	5144,8
14:00	2779,2	843,4		3622,6	350,0	3972,6	4061,2
14:30	2808,9			2808,9	350,0	3158,9	3544,8
15:00	1842,7			1842,7	350,0	2192,7	2380,5
15:30					350,0	350,0	373,7
16:00					350,0	350,0	427,7
16:30		3541,0		3541,0	350,0	3891,0	3766,2
17:00	1815,9	3720,6		5536,6	350,0	5886,6	6389,0
17:30	2360,8	2366,9		4727,7	350,0	5077,7	5102,8
18:00	2779,2	843,4		3622,6	350,0	3972,6	4111,7
18:30	2808,9			2808,9	350,0	3158,9	3536,2
19:00	1842,7			1842,7	350,0	2192,7	2374,1
19:30					350,0	350,0	342,4
20:00					350,0	350,0	344,5
20:30			1529,3	1529,3	350,0	1879,3	2198,4
21:00			1271,6	1271,6	350,0	1621,6	1480,2
21:30			722,4	722,4	350,0	1072,4	1371,1
22:00					350,0	350,0	345,6
22:30			1529,3	1529,3	350,0	1879,3	2267,6
23:00			1271,6	1271,6	350,0	1621,6	1490,0
23:30			722,4	722,4	350,0	1072,4	1422,9

Після проведення всіх необхідних розрахунків, побудуємо графік прогнозованого та реального споживання реактивної енергії за даний період, які представлені на рисунках 3.15-3.16.

Таблиця 3.6 – Прогнозування споживання реактивної енергії на 17.09.2019 печами цеху №3 на лінії живлення 10 кВ

Час доби	Прогнозоване споживання реактивної енергії руднотермічними печами цеху				Власне споживання	Всього спрогнозовано	Фактично спожито
	ФМн 78	Мн95	МнС 17	Разом			
1	2	3	4	5	6	7	8
0:00					350,0	350,0	351,0
0:30					350,0	350,0	429,8
1:00					350,0	350,0	372,6
1:30	1815,9			1815,9	350,0	2165,9	2268,5
2:00	2360,8			2360,8	350,0	2710,8	2983,0
2:30	2779,2			2779,2	350,0	3129,2	3044,7
3:00	2808,9			2808,9	350,0	3158,9	3515,6
3:30	1842,7			1842,7	350,0	2192,7	2205,9
4:00					350,0	350,0	347,8
4:30					350,0	350,0	370,4
5:00					350,0	350,0	384,5
5:30					350,0	350,0	439,6
6:00					350,0	350,0	442,8
6:30					350,0	350,0	321,8
7:00					350,0	350,0	307,8
7:30					350,0	350,0	388,8
8:00					350,0	350,0	403,9
8:30					350,0	350,0	389,9
9:00					350,0	350,0	353,2
9:30					350,0	350,0	376,9

## Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8
10:00					350,0	350,0	376,9
10:30					350,0	350,0	429,8
11:00					350,0	350,0	434,2
11:30		3541,0		3541,0	350,0	3891,0	4521,5
12:00		3720,6		3720,6	350,0	4070,6	4440,4
12:30		2366,9		2366,9	350,0	2716,9	2815,8
13:00		843,4		843,4	350,0	1193,4	1760,3
13:30					350,0	350,0	351,0
14:00			1529,3	1529,3	350,0	1879,3	2054,8
14:30			1271,6	1271,6	350,0	1621,6	1404,6
15:00	1815,9		722,4	2538,4	350,0	2888,4	3165,5
15:30	2360,8	3541,0		5901,8	350,0	6251,8	7019,6
16:00	2779,2	3720,6		6499,8	350,0	6849,8	7434,4
16:30	2808,9	2366,9		5175,8	350,0	5525,8	5944,8
17:00	1842,7	843,4		2686,1	350,0	3036,1	3626,0
17:30					350,0	350,0	371,5
18:00					350,0	350,0	368,3
18:30					350,0	350,0	398,5
19:00		3541,0		3541,0	350,0	3891,0	3540,9
19:30		3720,6		3720,6	350,0	4070,6	4144,1
20:00		2366,9		2366,9	350,0	2716,9	2500,8
20:30		843,4		843,4	350,0	1193,4	1112,0
21:00					350,0	350,0	397,4
21:30					350,0	350,0	375,8
22:00					350,0	350,0	345,6
22:30					350,0	350,0	433,1

### Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8
23:00					350,0	350,0	407,2
23:30					350,0	350,0	427,7

Для прогнозування об'ємів споживання реактивної енергії цехом в динаміці впродовж доби необхідно притримуватися послідовності наступних етапів. По-перше визначити кількість і час роботи споживачів. В даному випадку в цеху розташовані руднотермічні печі для виплавки трьох марок феросплавів:

- високовуглецеві феромарганець марки ФМн78;
- металевий марганець марки Мн 95;
- феросилікомарганець МнС17.

Технологічний процес отримання цих марок має певні відмінності, тому для кожного з них є відповідні печі, проте однакової потужності. Тривалість плавок різняться і кожна з них має свій характер електричного навантаження. Тому як зазначалось вище для кожного процесу отримання свої рівняння.

Другим кроком є розрахунок необхідної кількості реактивної енергії для кожного споживача окремо з урахуванням графіків плавок за допомогою отриманих залежностей.

По-третє, знаючи обсяги споживання для кожного споживача впродовж доби необхідно їх усіх просумувати в дискретні моменти часу. Після чого отримані данні можна занести у відповідну таблицю і на основі цього побудувати графік загальної потреби цеху №3 в реактивній енергії впродовж доби.

На основі вищезазначеного синтезовано алгоритмічну модель для визначення об'ємів споживання реактивної енергії цехом в динаміці, яка представлена на рисунку 3.17





Рисунок 3.15 – Графіки прогнозованого та фактичного споживання реактивної енергії за 16.09.2019

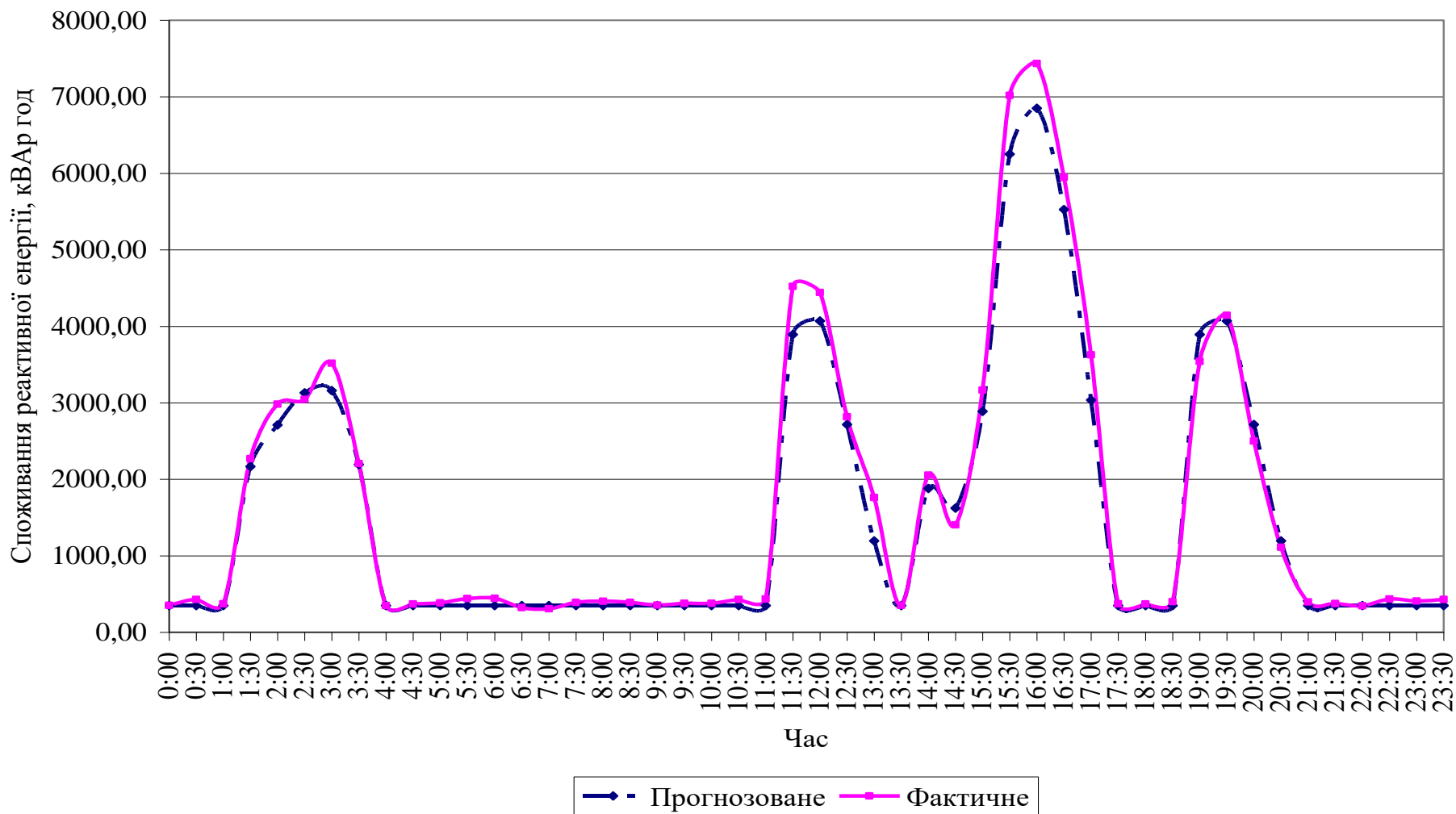


Рисунок 3.16 – Графіки прогнозованого та фактичного споживання реактивної енергії за 17.09.2019

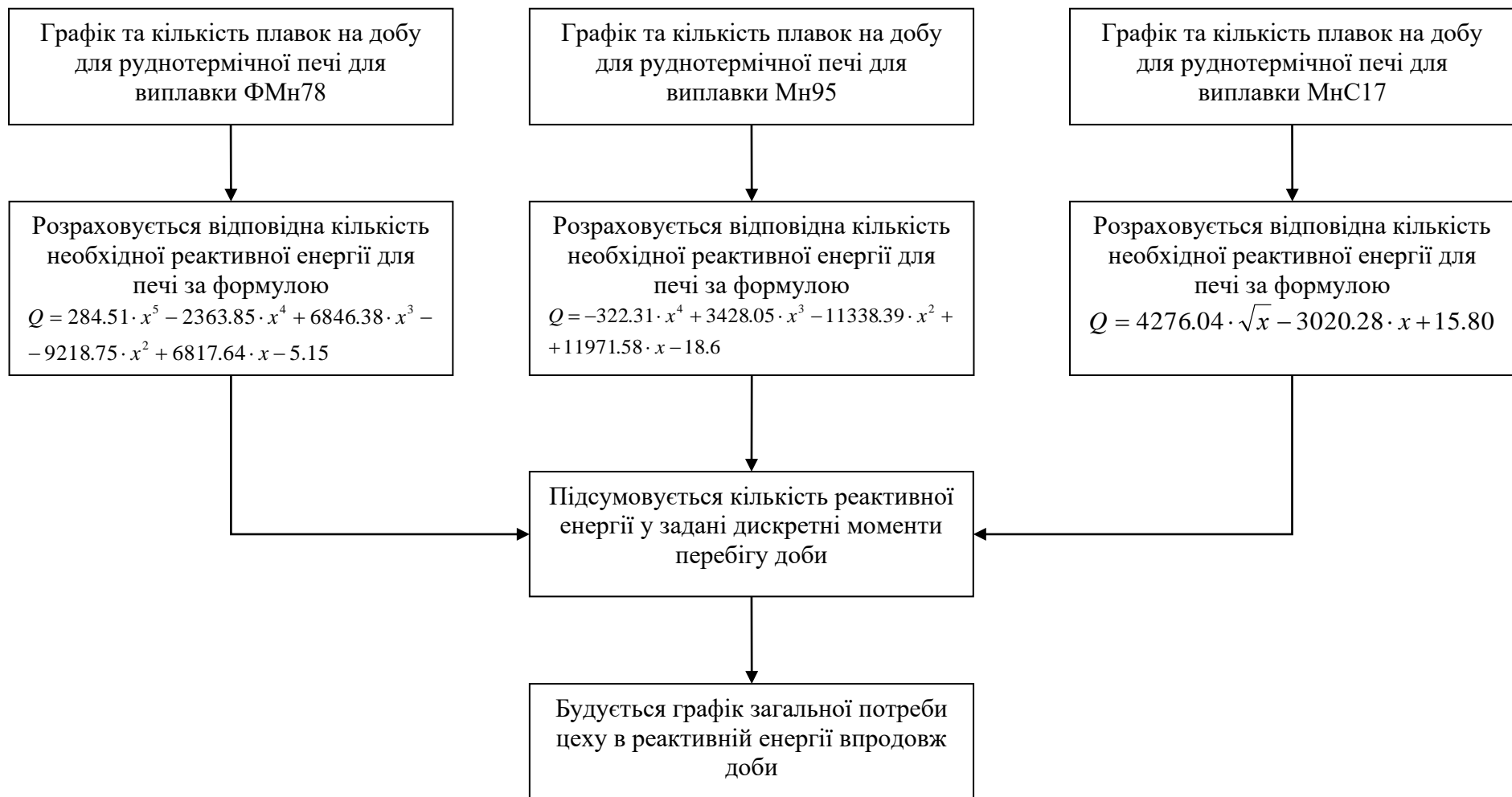


Рисунок 3.17 – Алгоритмічна модель для визначення об’ємів споживання реактивної енергії цехом в динаміці

З рисунків 3.15-3.16 видно, що зпрогнозовані та фактичні значення різняться. Однак це пояснюється похибкою при виведенні формул для окремих руднотермічних печей, яка могла бути викликана недостатньою кількістю аналітичних даних. Також при прогнозуванні враховувався загальний середній рівень обсягів споживання іншими споживачами реактивної енергії цеху, що в свою чергу має змінний характер і не був досліджений детально, оскільки в порівнянні з руднотермічними печами має не суттєве значення. Загальна похибка розрахункових значень за дві доби складає 7,85%.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ  
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА РУДНОТЕРМІЧНИХ ПЕЧАХ ЦЕХУ №3 АТ  
«ЗАПОРІЗЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»

4.1 Визначення базових економічних показників

Базове річне споживання реактивної енергії цехом визначається за формулою:

$$Q_{\text{річне}} = Q_m \cdot k, \quad (4.1)$$

де  $Q_m$  – середньомісячне споживання реактивної енергії цехом;  
 $k$  – кількість місяців у році.

$$Q_{\text{річне}} = 8936320 \cdot 12 = 107235840 \text{ кВАр} \cdot \text{год.}$$

Знаючи річне споживання активної і реактивної складової електричної енергії можна розрахувати коефіцієнт потужності цеху за формулами 2.1-2.2:

$$\cos \varphi = \frac{315736608}{\sqrt{315736608^2 + 107235840^2}} = 0,947$$

За договором підприємства з енергопостачальною компанією цей показник повинен складати 0,98. Тобто за нормами цех повинен був спожити іншу кількість реактивної енергії, яку можна визначити за наступною формулою:

$$Q_{\text{норм}} = \sqrt{\left(\frac{P}{\cos\varphi}\right)^2 - P^2} \quad (4.2)$$

$$Q_{\text{норм}} = \sqrt{\left(\frac{315736608}{0,98}\right)^2 - 315736608^2} = 64113053 \text{ кВАр}\cdot\text{год}$$

Визначимо кількість реактивної енергії недокомпенсованої в цеху №3:

$$Q_{\text{недокомп}} = Q_{\text{річне}} - Q_{\text{норм}} \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{недокомп}} = 107235840 - 64113053 = 43122787 \text{ кВАр}\cdot\text{год}$$

Відповідно переплата за прийняту з мережі реактивну енергію за рік складає [27-28]:

$$B_p = Q_{\text{недокомп}} \cdot Tar \quad (4.4)$$

де  $Tar$  – тариф на оплату за реактивну енергію, який складає 0,45 грн/кВАр·год.

$$B_p = 43122787 \cdot 0,45 = 19405,2 \text{ тис.грн}$$

Визначимо річні витрати на амортизацію компенсуючих пристроїв в базовому варіанті наступним чином:

$$B_{\text{ам}} = \frac{1}{T_{\text{експ}}} \cdot K_{\text{б}}, \quad (4.5)$$

де  $T_{експ}$  – термін експлуатації обладнання (роки);  
 $K_б$  – базові капітальні витрати на обладнання (тис.грн).

Термін експлуатації існуючих конденсаторних батарей складає 20 років, а початкова їх вартість 21,5 млн.грн, тоді:

$$B_{ам} = \frac{1}{20} \cdot 21500 = 1075 \text{ тис.грн.}$$

Щорічні витрати на ремонт визначаються за формулою:

$$B_{рем} = 0,2 \cdot B_{ам} \quad (4.6)$$

$$B_{рем} = 0,2 \cdot 1075 = 215 \text{ тис.грн.}$$

Розрахуємо загальні річні експлуатаційні витрати в базовому варіанті [29-31]:

$$E_{ксп_б} = 1,05 \cdot (B_{рем} + B_{ам}) \cdot l, \quad (4.7)$$

де  $l$  – кількість базових установок. Оскільки компенсація реактивної енергії відбувається на кожній фазі, то  $l=3$ ;

1,05 – коефіцієнт який враховує інші витрати.

$$E_{ксп_б} = 1,05 \cdot (1075 + 215) \cdot 3 = 4063,5 \text{ тис.грн.}$$

Так як в базовому варіанті компенсаційні пристрої встановлені на головній підстанції підприємства і застосовується загальнозаводська

компенсація реактивної потужності тому необхідно базові експлуатаційні витрати перерахувати з урахування частки цеху №3:

$$Експ_{\delta\_цех\№3} = Експ_{\delta} \cdot k, \quad (4.8)$$

де  $Експ_{\delta\_цех\№3}$  – експлуатаційні витрати цеху №3 на компенсаційні пристрої;

$Експ_{\delta}$  – експлуатаційні витрати підприємства на компенсаційні пристрої;

$k$  – частка витрат, що припадає на цех №3,  $k=0,2$ .

$$Експ_{\delta\_цех\№3} = 4063,5 \cdot 0,2 = 812,7 \text{ тис.грн.}$$

Узагальнимо отримані дані річних енергетичних та економічних показників в базовому варіанті та внесемо їх до таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Річні енергетичні та економічні показники в базовому варіанті для цеху №3

Показник	Одиниці виміру	Значення
Недокомпенсована реактивна енергія	тис.кВАр·год	43122,7
Переплата за спожиту з мережі реактивну енергію	тис.грн	19405,2
Експлуатаційні витрати	тис.грн	812,7

В таблиці 4.1 приведені всі вище розраховані базові показники, на основі яких в подальшому буде проведений аналіз доцільності впровадження енергозберігаючих заходів щодо компенсації реактивної енергії.



## 4.2 Оцінка заходу індивідуальної компенсації з регулюванням потужності конденсаторних батарей

Передбачається встановлення індивідуальних компенсаційних приладів безпосередньо біля споживачів реактивної енергії. Найбільшими споживачами реактивної енергії на лінії 10 кВ являються:

- руднотермічна піч РКО -7 (виробництво ФМн78) – 5 шт;
- руднотермічна піч РКО -7 (виробництво Мн95) – 2 шт;
- руднотермічна піч РКО -7 (виробництво МнС17) – 1 шт.

Дані споживачі мають різне максимальне споживання реактивної енергії, тому необхідно підбирати потужність кожного компенсаційного пристрою окремо.

За допомогою експериментального методу визначено максимально можливе споживання реактивної енергії для кожної печі, дані наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Максимально можливе споживання реактивної енергії руднотермічними печами

Назва печі	Максимальне споживання реактивної енергії, кВАр·год
«ФМн78»	3500
«Мн95»	4500
«МнС17»	2200

За підсумками проведеного аналізу ринку виробників автоматизованих високовольтних конденсаторних установок обрано обране відповідне обладнання, що відповідає заданим критеріям [32-35].

Всі необхідні дані для розрахунку капітальних витрат на проект наведені в таблиці 4.3. Згідно з цими даними можливо визначити капітальні

витрати на проект. Автоматичні компенсаційні пристрої конструктивно передбачені на три фази одразу, тому у порівнянні з базовим варіантом, необхідна кількість обладнання складає лише пристрої необхідної потужності для кожної руднотермічної печі.

Таблиця 4.3 – Експлуатаційно-економічні характеристики установок компенсації реактивної потужності

Характеристика	Показники для руднотермічних печей		
	«ФМн78»	«Мн95»	«МнС17»
Модель установки	АВКУ-10,5-3500-350	АВКУ-10,5-4500-450	АВКУ-10,5-2200-220
Максимальна потужність, кВАр	3500	4500	2200
Мінімальний шаг переключення, кВАр	350	450	220
Вартість, тис.грн	2130	2650	1860
Термін експлуатації, років	30	30	30
Необхідна кількість	5	2	1

Загальні капітальні витрати на проект визначимо за формулою:

$$K = K_{\text{ФМн78}} \cdot a + K_{\text{Мн95}} \cdot b + K_{\text{МнС17}} \cdot c, \quad (4.9)$$

де  $K$  – капітальні витрати на проект;

$K_{\text{ФМн78}}$ ,  $K_{\text{Мн95}}$ ,  $K_{\text{МнС17}}$  – капітальні витрати на обладнання для відповідних руднотермічних печей;

$a$ ,  $b$ ,  $c$  – необхідна кількість обладнання.

$$K = 2130 \cdot 5 + 2650 \cdot 2 + 1860 \cdot 1 = 17810 \text{ тис.грн.}$$

Витрати на ремонт в даному проекті відсутні, однак необхідно врахувати витрати на проектно-монтажні роботи:

$$B_{m-n} = 0,1 \cdot K \quad (4.10)$$

$$B_{m-n} = 0,1 \cdot 17810 = 1781 \text{ тис.грн.}$$

Тому загальна вартість впровадження енергозберігаючого проекту визначається за формулою:

$$K_{заг} = K + B_{m-n} \quad (4.11)$$

$$K_{заг} = 17810 + 1781 = 19591 \text{ тис.грн.}$$

Визначимо експлуатаційні витрати за проектом.

Розрахуємо загальні річні амортизаційні витрати для проекту за формулою (4.5):

$$B_{ам-n} = \frac{1}{30} \cdot 17810 = 593,7 \text{ тис.грн.}$$

Розрахуємо загальні річні експлуатаційні витрати для проекту:

$$Експ_n = 1,05 \cdot B_{ам-n}, \quad (4.12)$$

де 1,05 – коефіцієнт який враховує інші витрати.

$$Експ_n = 1,05 \cdot 593,7 = 623,4 \text{ тис.грн.}$$

Необхідно також визначити на скільки змінилися експлуатаційні витрати у порівнянні з базовими показниками:

$$\Delta E_{\text{експ}} = E_{\text{експ}_0} - E_{\text{експ}_n} \quad (4.13)$$

$$\Delta E_{\text{експ}_n} = 812,7 - 623,4 = 189,3 \text{ тис.грн.}$$

Економічний ефект від впровадження енергозберігаючого заходу складається з декількох частин. По-перше, за допомогою індивідуальної компенсації реактивної потужності виключається можливість споживання реактивної енергії з внутрішньозаводської мережі. По-друге, необхідно економію за рахунок зниження експлуатаційних витрат. Економія на рік складе:

$$E_{\text{к.еф.}} = K_{\text{заг}} + \Delta E_{\text{експ}_n} \quad (4.14)$$

$$E_{\text{к.еф.}} = 19405,2 + 189,3 = 19594,5 \text{ тис.грн.}$$

Визначимо простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{заг}}}{E_{\text{к.еф.}}} \quad (4.15)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{19591}{19594,5} = 0,999 \text{ року.}$$

Або простий термін окупності складає майже один рік. Життєвий цикл проекту приймаємо 15 років. Розрахуємо показник  $NPV$  для проекту.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{Bt - Ct}{(1 + \alpha)^t}, \quad (4.16)$$

де  $Bt-Ct$  – грошовий потік. В нашому проекті це загальний економічний ефект  $Ek.e\phi_1$ .

$\alpha$  - ставка дисконту. Для проектів енергоефективності приймається рівною 10%;

$T$  – життєвий цикл проекту, років.

Індекс доходності або ануїтет  $NPV$  визначається за формулою:

$$ID = \frac{\sum_{t=1}^T (Bt - Ct)}{I_0}. \quad (4.17)$$

Результати розрахунку  $NPV$  для проекту представлені в таблиці 4.4:

Таблиця 4.4 – Розрахункові дані  $NPV$  для енергозберігаючого проекту

Рік	Грошовий потік, тис.грн.	Коеф. дисконтування	Дисконтований грошовий потік, тис.грн	Кумулятивний грошовий потік, тис.грн
0	-19591,0	1,0000	-19591,0	-19591,0
1	19594,5	1,1000	17813,2	-1777,8
2	19594,5	1,2100	16193,8	14416,0
3	19594,5	1,3310	14721,6	29137,6
4	19594,5	1,4641	13383,3	42520,9
5	19594,5	1,6105	12166,6	54687,6
6	19594,5	1,7716	11060,6	65748,2
7	19594,5	1,9487	10055,1	75803,2
8	19594,5	2,1436	9141,0	84944,2
9	19594,5	2,3579	8310,0	93254,2
10	19594,5	2,5937	7554,5	100808,7
11	19594,5	2,5937	7554,5	108363,2
12	19594,5	2,5937	7554,5	115917,8
13	19594,5	2,5937	7554,5	123472,3
14	19594,5	2,5937	7554,5	131026,8
15	19594,5	2,5937	7554,5	138581,4
Сума			138581,4	

З таблиці 4.4 видно, що при ставці дисконтування 10%  $NPV=138581,4$  тис.грн.

За формулою 4.17 визначимо  $ID$ :

$$ID = \frac{138581,4}{19591} = 7,07 .$$

Аналіз отриманих даних:

-  $NPV > 0$  – це означає, що проект вважається ефективним і його реалізація призведе до зростання добробуту його власника;

-  $ID$  – показує сьогоденню вартість однієї грошової одиниці розраховану для всього терміну виконання проекту і являє собою середню величину на яку проект перевищує  $NPV$  щорічно протягом виконання проекту. Тобто в даному проекті при значенні  $ID=7,07$  на кожен вкладений гривню буде прибуток в 7,07 гривні.

Енергозберігаючий проект має високі економічні показники. Простий термін окупності, якщо перевести складає приблизно 1 рік, що є дуже прийнятним для проектів енергозбереження (прийнятним вважається термін окупності до 5-7 років). Капітальні витрати на проект, у порівнянні з можливою вигодою, не надто і великі.

Для більшої наочності на основі даних таблиці 4.4 побудуємо графік кумулятивного грошового потоку, що представлений на рисунку 4.1. З цього графіка видно, що в кінці життєвого часу енергозберігаючого проекту підприємство сумарно отримає 1385581,4 тис.грн чистого прибутку.

Отже зробимо порівняльну характеристику базового варіанту компенсації реактивної енергії та запропонованого проекту, всю необхідну інформацію занесемо в таблицю 4.5.

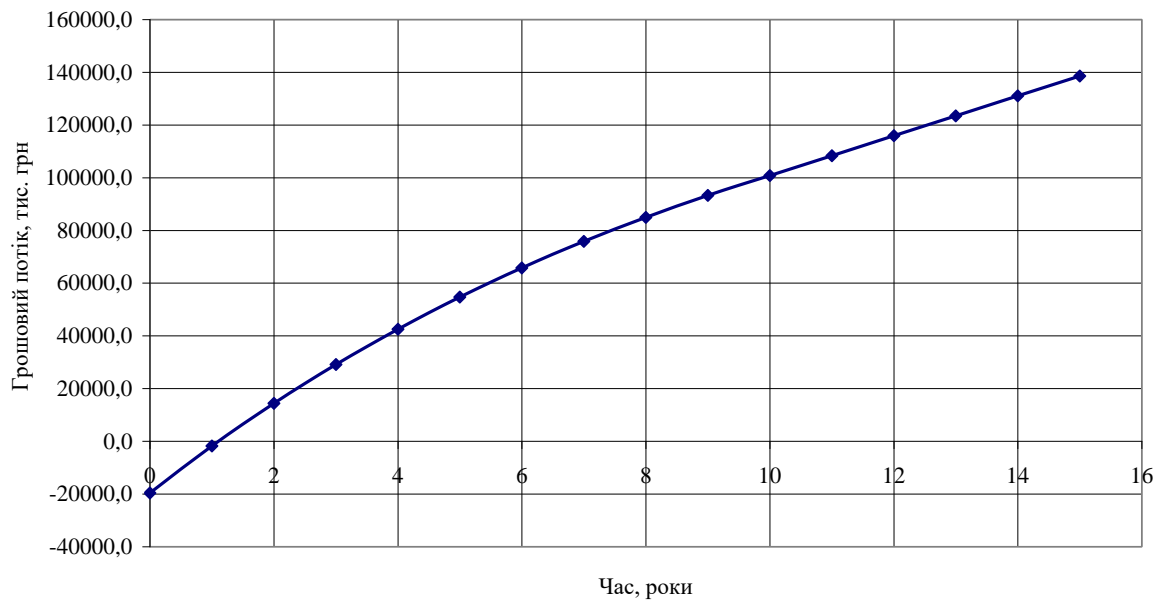


Рисунок 4.1 – Кумулятивний грошовий потік

Таблиця 4.5 – Порівняльні техніко економічні показники доцільності впровадження енергозберігаючого проекту

Показники		Базовий варіант	Проект		
1		2	3		
Обладнання	Назва	-	Автоматичні компенсаційні установки		
	Модель	-	АВКУ-10,5-3500-350	АВКУ-10,5-4500-450	АВКУ-10,5-2200-220
	Термін експлуатації, років	20	30		
Загальна вартість устаткування, тис.грн	Вартість одиниці, тис.грн.	-	2130	2650	1860
	Кількість, шт	-	5	2	1
	Всього, тис.грн	21500	10650	5300	1860

Продовження таблиці 4.5

1		2	3
Капітальні витрати, тис.грн		-	19591
Економія грошових коштів, тис.грн /рік	За рахунок оплати за реактивну енергію	-19405,2	+19405,2
	За рахунок експлуатаційних витрат	-812,7	+189,3
Строк окупності, років		-	1,0
Чиста теперішня вартість (NPV), тис.грн		-	1385581,4
Індекс дохідності (ID)		-	7,07

На основі даних таблиці 4.5 побудуємо наочну діаграму порівняння економічної доцільності впровадження енергозберігаючого проекту, що представлений на рисунку 4.2.

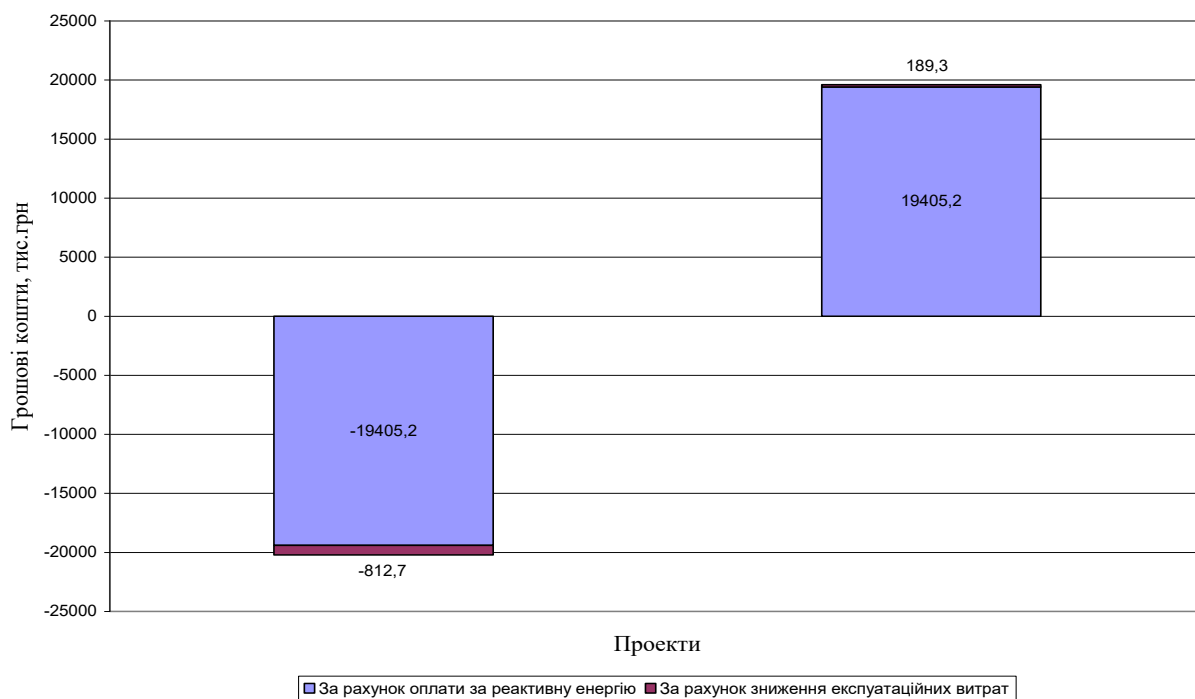


Рисунок 4.2 – Порівняльна діаграма грошових коштів двох варіантів



## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

### 5.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

У всіх плавильних цехах процеси виплавки феросплавів, їх транспортування, розливання, дроблення, а також охолодження супроводжуються досить значним тепловиділенням в робочі приміщення. Питомі тепловиділення в них обчислюється в 200-250 ккал/м<sup>3</sup>/год, на інфрачервоне випромінювання доводиться 60-90% тепла.

Найбільша інтенсивність інфрачервоного випромінювання (до 15-18 Гкал/см<sup>2</sup>/хв) реєструється на робочих місцях у печей та конверторів при відкритих заслонках печей і від горловини і факела конвертора. Влітку на цих виробничих ділянках температура повітря перевищує зовнішню на 7-8°C і більше, а взимку може наближатися до зовнішній температурі. У найбільш віддалених від зовнішніх огорожень ділянках вона не перевищує 20-25 °С.

Основними небезпечними і шкідливими факторами при обслуговуванні обладнання плавильного цеху, є:

- рухомі частини печей, кранів і допоміжного устаткування;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини (електродвигуни, щити управління і т. п.);
- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- рухомі машини і механізми (рух електрокарів на позначці « 0 » метрів і електромостового крана над позначкою «7» метрів) ;
- руйнуються конструкції будівлі плавильного цеху (падіння шматків бетону, скла через руйнування світлових і аераційних ліхтарів і перекриттів в період зміни кліматичних умов і при виробництві вибухових робіт);

- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищена рухливість повітря в робочій зоні;
- підвищена або знижена (залежно від пори року ) температура повітря робочої зони;
- динамічні фізичні перевантаження;
- розумове перенапруження;
- перенапруження аналізаторів .

Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів в плавильному цеху:

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена температура поверхні обладнання;
- підвищена температура повітря робочої зони;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена загазованість приміщень;
- пожежна безпека;
- викиди шкідливих речовин з димовими газами.

У плавильних цехах пил утворюється в шихтових відділеннях при проведенні операцій з переміщення вихідних матеріалів і підготовці шихти. Основним джерелом пиловиділення в плавильних відділеннях є робочі простору печей і конверторів, де внаслідок випаровування металу утворюються аерозолі конденсації металу. Аерозолі конденсації в мартенівських цехах виявляються в концентраціях 15-16 мг/м<sup>3</sup>, в електросталеплавильних цехах - до 45 мг/м<sup>3</sup>, а в конверторних цехах - у ще більш високих концентраціях. Аерозолі конденсації відрізняються досить високою дисперсністю: переважна маса порошинок - більше 95% -не перевищує 1 мк.

У повітря плавильних цехів може надходити також пил, що містить вільну і пов'язану двоокис кремнію. Основним джерелом цієї пилу є футеровочні матеріали, що застосовують при ремонті печей, конверторів,

ковців і стопорів. В повітрі плавильних цехів нерідко виявляється окис вуглецю в кількостях, що перевищують гранично допустимі. Основними джерелами її в мартенівських цехах є регенератори, через нещільності яких окис вуглецю надходить в робоче приміщення. Особливо багато окису вуглецю може накопичуватися під робочою площадкою. На прикладі електрогазоварника, який працює в плавильному цеху можна зробити оцінку факторів виробничого середовища та трудового процесу, що представлено в таблиці 5.1 [36-37].

Таблиця 5.1. Оцінка факторів виробничого середовища та трудового процесу електрогазоварника

№	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії фактора за зміну, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Шкідливі хімічні речовини, мг\м <sup>3</sup> -1-клас безпеки: ангідрид хромовий, озон	0,1	0,16	1,6р.			62,3
	-2-клас безпеки: марганець в зварювальній аерозолі	0,2	0,82		4,1р.		62,3
	-3-4-й клас безпеки: ангідрид сірчистий,	10,0	11,07	1,1р.			62,3
	оксид заліза	6,0	7,31	1,2р.			81,3

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup> :	10,0	33,8		3,38р		81,3
3	Вібрація (загальна локальна), дБ	92/101	97/115	5/14			81,3
4	Шум, дБА	80	96			16	81,3
5	Мікроклімат в приміщенні – температура повітря, °С	18-27	27-30	3			87,3
	Швидкість руху повітря, м/сек	0,3	0,3				87,3
	Інфрачервоне випромінювання, Вт/м	140	410	270			62,3
6	Важкість і напруженість праці	Категорія середньої важкості 2б помірно-напруженна					

Для запобігання від різних захворювань необхідно дотримуватися правил особистої гігієни:

- не дозволяється витирати руки використаним обтиральним матеріалом щоб уникнути зараження шкірного покриву дерматологічними інфекціями;

- для виключення захворювань шлунково-кишкового тракту - забороняється пити воду, призначену для технічних потреб. Пити воду слід з встановлених питних фонтанчиків, автоматів газводи;

- їжу слід приймати в спеціально відведених для цього місцях: їдальнях, буфетах або в кімнаті прийому їжі;
- перед прийняттям їжі слід вимити руки в умивальнику;
- при порізах, уколах, ударах, опіках, засміченні очей і т. д. необхідно негайно повідомити старшому машиністові, старшому майстру або начальнику зміни і звернутися в медпункт;
- при наявності яких-небудь пошкоджень шкірного покриву не вирішується накладення пов'язок з паперу або обтиральних кінців, так як це може викликати забруднення і спричинити серйозне захворювання.

## 5.2 Технічні рішення по гігієні праці й виробничої санітарії

Мікроклімат робочої зони визначається такими параметрами як температура, відносна вологість повітря, теплове випромінювання, які, виходячи з категорії виконуваних робіт по важкості, характеристики приміщень, по надлишках явного тепла з урахуванням періоду року (теплий, перехідний, холодний) установлюємо відповідно до вимог .

Оптимальний мікроклімат у приміщенні забезпечує підтримка теплової рівноваги між організмом і навколишнім середовищем.

У таблиці 5.2 наведені значення прийнятих припустимих (оптимальних) параметрів повітряного середовища в робочій зоні монтажної ділянки.

Таблиця 5.2 – Нормовані величини температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура			Відносна вологість		Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	Допустима		Оптимальна	Допустима	Оптимальна, не більш ніж	Допустима на робочих місцях
			Верхня межа	Нижня межа		На робочих місцях, не більше		
			Постійна	Постійна				
Холодний	Середньої важкості 2а	18-20	23	17	40-60	75	0,2	Не більш ніж 0
Теплий	Середньої важкості 2а	21-23	27	18	40-60	60 при 270С	0,3	0,2-0,4

За нормативними величинами та даними наведеними у таблиці 5.1 можна зробити висновок , що мікроклімат у цеху відповідає вимогам.

### 5.3 Освітлення виробничих приміщень

У зв'язку з тим, що природне освітлення приміщення здійснюється через віконні отвори і є дуже слабким, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення. Штучне освітлення створюють

електричним джерелом світла, яке включають в міру необхідності, регулюють інтенсивність світлового потоку і його спрямованість.

Виконаємо розрахунок штучного освітлення по методу світлового потоку.

Довжина приміщення – 8 м, ширина – 6 м, висота – 3 м. Розрахункова висота:

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}, \quad (5.1)$$

де 0,8 м – висота розрахункової поверхні.

Площа приміщення:

$$S = 6 \cdot 8 = 48 \text{ м}^2. \quad (5.2)$$

Визначимо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{(A + B) \cdot h}, \quad (5.3)$$

де  $A$  і  $B$  – довжина та ширина приміщення, м;

$h$  – висота підвісу світильників над розрахунковою поверхнею, м.

$$i = \frac{6 \cdot 8}{(6 + 8) \cdot 2,2} = 1,56.$$

Оскільки стіни і стеля приміщення бетонні, то приймаємо коефіцієнт віддзеркалення стелі і стін  $\rho_{стелі} = 50 \%$ ,  $\rho_{стін} = 30 \%$  відповідно.

Коефіцієнт використання світлового потоку становить  $\eta = 50 \%$ .

Необхідний світловий потік ламп світильників:

$$F = \frac{E \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (5.4)$$

де  $E$  – найменша нормована освітленість,  $E = 300$  лк, так як розряд зорових робіт дорівнює 3;

$k_3$  – коефіцієнт запасу,  $k_3 = 1,4$ ;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$z$  – поправочний коефіцієнт для переходу від найменшої освітленості до середньої (зазвичай значення його набувають в межах 1,1 – 1,2),  $z = 1,1$ ;

$N$  – кількість світильників;

$\eta$  – коефіцієнт використання, тобто відносна доля потоку лампи, падаюча на поверхню  $S$ .

Розрахуємо за формулою (5.4) добуток  $F \cdot N$ .

$$F \cdot N = \frac{300 \cdot 1,4 \cdot 48 \cdot 1,1}{0,5} = 44352 \text{ лм.}$$

Знайдемо необхідне число ламп. Для освітлення виробничих приміщень вибір джерел світла проводять з врахуванням освітленості. При освітленості від 150 до 300 лк доцільно застосовувати джерела світла типа ЛБ, ДРЛ, ЛБХ. Вибираємо люмінесцентні лампи типа ЛХБ80 (2×80 Вт); довжина лампи – 1,5 м, ширина – 0,4 м, світловий потік даної лампи – 3840 лм.

Отже, потрібне число ламп:

$$N = \frac{44352}{3840} \approx 12 \text{ шт.} \quad (5.5)$$



Оскільки світильники дволампові, то для забезпечення нормальної потужності освітлення приміщення необхідно 6 світильників. Приймаємо, що кількість світильників по довжині складатиме 2 шт., а по ширині – 3 шт.

Світильники з люмінесцентними лампами в основному розташовують рядами. Ряди слід орієнтувати паралельно стіні з вікнами. Потрібно встановити два світильники в ряд. Застосовуємо світильники ШОД (оскільки ШОД дає більш рівномірне освітлення) з люмінесцентними лампами ЛХБ потужністю 2×80 Вт і з потоком 3840 лм. Схема розташування світильників представлена на рисунку 5.1.

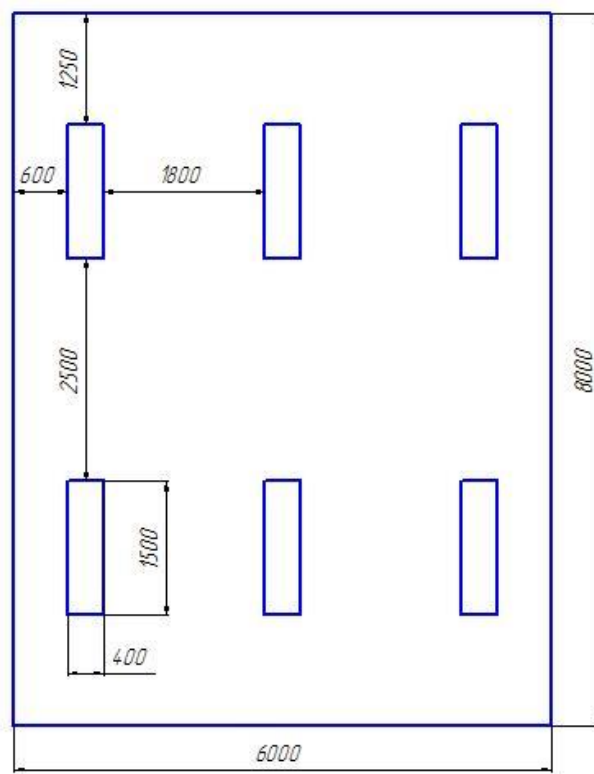


Рисунок 5.1 – Схема розташування світильників

Всі необхідні розрахунки для розташування світильників проводимо за формулами:

$$l_a = \frac{1}{2} \cdot L_a, \quad (5.6)$$

$$l_b = \frac{1}{3} \cdot L_b \quad (5.7)$$

$$la = 1,25 \text{ м}, lv = 0,6 \text{ м},$$

де  $L$  – відстань між сусідніми світильниками (рядами люмінесцентних світильників).

$La$  – відстань між сусідніми світильниками по довжині приміщення,  
 $La = 2,5 \text{ м}$ .

$Lv$  – відстань між сусідніми світильниками по ширині приміщення,  
 $Lv = 1,8 \text{ м}$ .

$l$  – відстань від крайніх світильників або рядів світильників до стіни.

#### 4.4 Електробезпека

Живлення цеху відбувається трифазною лінією 10 кВ для печей з подальшим пониженням до 0,4 кВ на пічних трансформаторах; рухоме обладнання та допоміжні механізми цеху приводиться в дію двигунами, що і використовують трифазне або однофазне живлення від РУ 0,4 кВ або від мережі 200 В. Це створює небезпеку ураження персоналу електричним струмом, яке може відбутися внаслідок: випадкового дотику або неприпустимого наближення до струмоведучих частин під напругою; появи напруги на металевих корпусах через порушення ізоляції мережі; появи напруження на відключеному устаткуванні за помилкового включення; появи крокової напруги при замиканні проводу на землю.

Забезпечення електробезпеки регламентується ПУЕ:

- пристрій захисного заземлення згідно СНиП 3.05.06-85 і ПУЕ для захисту людей від ураження електричним струмом при можливому пошкодженні ізоляції ;

- недоступність ТВЧ для випадкового дотику ;

- застосування ізоляції , поточний контроль;
- посилення вимог до електропроводок ;
- застосування попереджувальних сигналізацій , написів і плакатів ;
- використання індивідуальних засобів захисту та пристроїв;
- посилення вимог до кваліфікації персоналу електромонтажних організацій (за ГОСТ Р 50571 1-93 , п. 4.1.1 ).

Для вироблення навичок і систематичної перевірки здатності і готовності оперативних працівників діяти швидко і правильно при аварійних ситуаціях, в цеху №3 не рідше 1 разу на квартал, проводиться протиаварійні тренування. Крім того, при цьому перевіряється вміння персоналу надавати долікарську допомогу, користуватися індивідуальними захисними засобами і т.п.

#### 4.5 Заходи пожежної безпеки

Пожежна небезпека плавильного виробництва характеризується наявністю великої кількості рідкого феросплаву, а також наявністю горючих газів, що відходять, кабельних комунікацій, маслопідвалів і маслотуннелей. У плавильних цехах, можуть відбуватися вибухи і викиди рідкого феросплаву в результаті завантаження в руднотермічні печі вологого металобрухту і шихти. Завантаження металобрухту, наприклад, в конвертери здійснюється однією або двома порціями (совками) і відразу після цього проводиться заливка чавуну. Після заливки чавуну вся маса металобрухту виявляється під рідким чавуном, в результаті чого відбувається інтенсивне випаровування вологи і викид розплавленого металу. Викиди рідкого металу можуть відбуватися також і в тому випадку, коли в рідкий метал вводять вологі розкиснювачі і легуючі матеріали. При прогарі футеровок

руднотермічних агрегатів і фурменних апаратів також виникає вірогідність вибуху з викидом рідкого металу при контакті розплавленого металу з вологими матеріалами. При викиді розплавлений метал може бути джерелом займання горючих матеріалів і сприяє зниженню несучої здатності конструкцій будівлі цеху. Незважаючи на те, що нормативними документами в будівлях IIIа ступеня вогнестійкості допускається застосування незахищених металевих колон, на об'єктах чорної металургії в місцях можливого протоки (викиду) рідкого металу доцільно виробляти захист несучих металевих колон на висоту 1,5 - 2,0 м від рівня підлоги. Захист колон доцільно виконувати вогнетривкою цеглою або бетоном. Межа вогнестійкості захищеної колони повинен бути 2 - 2,5 год. Також нижня частина будівлі сталеплавильного цеху повинна бути виконана з залізобетонних панелей.

Для забезпечення пожежної безпеки кабельного господарства необхідно, в першу чергу, передбачити заходи, що виключають можливість попадання рідкого металу в кабельні та масляні підвали та тунелі, так як це неминуче викличе пожежу, а, отже, і зупинку всього виробництва. Крім цього, для забезпечення пожежної безпеки кабельних комунікацій, маслопідвалів і маслотуннелей застосовують технічні, експлуатаційні, організаційні та режимні заходи.

Слід зазначити, що в електросталеплавильному виробництві значну пожежну небезпеку становлять пічні масляні трансформатори, які розташовують поблизу печей для того, щоб кабельна лінія від низької сторони трансформатора до головки електротриймачів була короткою. При цьому кабелі або гнучкі стрічки струмопроводів захищають від дії прямого теплового випромінювання, наприклад, застосуванням азбестових щитів, або навіть застосуванням водоохолоджуючих струмопроводів. Найбільш небезпечними місцями струмопроводів є контакти. Тому для зниження контактного перехідного опору ці сполуки слід виконувати за допомогою.

В якості профілактичних заходів в трансформаторних камерах необхідно передбачати стаціонарні установки гасіння пожежі і автоматичну пожежну сигналізацію. Пожежогасіння влаштоване не автоматичної дії (через можливі помилкові спрацьовування, які можуть викликати коротке замикання на голих шино проводах, що проходять в камері). Установка пожежогасіння має ручний дистанційний пуск. Пожежна сигналізація видає сигнал на пульт управління піччю і, як правило, в пожежне депо.

#### 4.6 Засоби індивідуального захисту

Для захисту від небезпечних і шкідливих виробничих факторів робочі повинні використовувати засоби індивідуального захисту і спецодяг:

- суконний костюм;
- капелюх повстяний;
- чоботи;
- захисна каска;
- захисний щиток з оргскла;
- світлозахисні окуляри;
- респіратор.

При обробці колошника і ванни печі, шуровці шихти, заправці стін печі, чищення носка ковшів, чищенні підготовці лотків, при викочуванні і закатку ковшів, робота з гарячими зливками металу розтріскуються при охолодженні – каска з захисним щитком з оргскла.

При прожиге і закритті льоток, випуску металу, розливання чищенні ковшів – захисна каска з захисним щитком з оргскла і світлозахисними очками. При роботі в запилених місцях – респіратор.

Забороняється застосовувати прийоми праці, при яких спецодяг, спецвзуття та індивідуальні засоби захисту не виконують свої захисні функції.

Вимоги безпеки:

- перед початком роботи необхідно надіти суконну одяг, індивідуальні засоби захисту: світлозахисні окуляри, респіратор і каску. Штани надягають навипуск, а куртка застебнута на всі гудзики. При недотриманні порядку носіння одягу неминучі опіки.

- перед роботою перевірити справність обладнання, інструменту, Заземлення, систем блокувань, сигналізації і ключ бирок. У здає зміну майстер золотаря з'ясувати, як працювала піч. Прийом і здача оформляються підписами в пічному журналі.

- на робочій плавильної майданчику не повинно бути сторонніх предметів і устаткування, а також наявності вологи.

Забороняється працювати на несправному обладнанні або користуватися несправним інструментом. Про всі несправності, помічені під час перезміни, плавильник зобов'язаний доповісти майстру.

Вимоги безпеки при роботі з розплавленим металом і шлаком:

- не допускати попадання вологи в розплав, що може призвести до вибуху;

- інструмент, призначений для обробки рідкого розплаву, повинен бути сухим;

- забороняється торкатися струмоведучих частин руками або металевими предметами.

Технологічний посуд, призначений для прийому рідкого розплаву, повинен бути просушений і прогрітий, без наявності сторонніх предметів.

Забороняється встановлювати ковші під випуск розплаву з залишками в них шлаку, сміття, відходів.

Поливання підлоги на робочому місці перед випуском металу і шлаку з печі або заливкою шлаку забороняється. Забороняється перебування людей не пов'язаних безпосередньо з виплавою, розливанням металу.

Усунення зависання шихти в бункерах і труботечках проводиться тільки при відключеною печі двома і більше робочими.

Зависання шихти в бункерах і труботечках усувається шляхом шурування прутом через шибер або спеціально вирізані отвори в труботечках або бункерах зависання. Спускатися в бункера для шурування зависаючих матеріалів забороняється.

Вимоги безпеки при обробці ванни печі:

- при обробці колошника (ванни) печі металевим інструментом надійно тримай його на борту печі або роликах приварених до кожуха печі.

- забороняється стояти на сирій майданчику або предметах проводять електричний струм при обробці колошника.

- при обробці ванни печі гребком зіштовхувати шихту обережно, невеликими порціями, не допускаючи обвалу шихти.

- при обробці ванни печі гребком або списом необхідно стежити за тим, щоб гребок або піка не стосувалися робочих кінців електрода і інших струмоведучих частин.

## ВИСНОВКИ

За результатами проведеного енергоаудиту підприємства можна сказати, що велика доля витрат на енергоресурси припадає на електроенергію, майже 93%. Яка в свою чергу поділяється на активну та реактивну складову. Найбільшими споживачами реактивної енергії є чотири плавильних цеха. Це зумовлено тим, що в даних цехах розташовані руднотермічні печі.

При проведенні досліджень з можливості підвищення енергоефективності руднотермічної печі виявлено, що процес виплавки феросплавів в даних печах суворо регламентується технологічною документацією, тому впливати на витрати активної енергії не можливо. Однак значний потенціал в енергозбереженні має реактивна складова.

Проаналізувавши існуючу систему компенсації реактивної енергії на АТ «Запорізький завод феросплавів» виявлено, що на підприємстві на головній підстанції встановлені конденсаторні батареї, які забезпечують загальнозаводську компенсацію, яка не забезпечує збалансованість між генерацією та споживанням.

Враховуючи те, що на АТ «Запорізький завод феросплавів» навантаження руднотермічних печей носить змінний характер впродовж доби, тижня, місяця і залежить від кількості замовлень на феросплави, регулювання компенсації реактивної енергії необхідно здійснювати у відповідності до часу плавок та їх кількості.

Поставлену задачу реалізовано за допомогою:

1. На основі статистичних даних про об'єм споживання реактивної енергії певною руднотермічною піччю при виплавці відповідної марки феросплаву отримано математичну залежність між необхідним її обсягом та часом плавки.



2. При встановленні індивідуальних автоматичних високовольтних компенсуючих установок, регулювання потужності конденсаторних батарей можливо здійснювати виходячи з отриманих залежностей для кожної печі окремо.

3. Синтезовано алгоритмічну модель для можливості прогнозування об'ємів споживання реактивної енергії цехом та автоматичного керування високовольтними конденсаторними батареями в динаміці

4. Розрахований економічний ефект від впровадження енергозберігаючого заходу. На основі цього можна зробити висновок, що у порівнянні з базовим варіантом запропонований проект дає підприємству можливість економити суттєві грошові кошти не зважаючи на значні капітальні витрати і лише для одного цеху.

5. Отримані результати та запропонований варіант вирішення проблеми оптимальної компенсації реактивної енергії можливо застосувати і для інших сталеплавильних цехів підприємства, зокрема, для цеху №2 та цеху №1

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гасик М. И. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов [Текст] / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев. – М. : СП Интермет Инжиниринг, 1999. – 764с.
2. Губинский В.И. Metallургические печи: Учеб. пособие. - Днепропетровск: НМетАУ, 2006. – 85 с.
3. Струнский Б. М. Руднотермические плавильные печи [Текст] / Б. М. Струнский. – М. : Metallургия, 1972. – 368 с.
4. Офіційний сайт АТ «Запорізький завод феросплавів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://zfz.com.ua/p\\_teperishniy-chas](http://zfz.com.ua/p_teperishniy-chas)
5. Ралько П.І. Методика та обладнання для проведення енергетичного аудиту./ П.І. Радько, В. А. Наливайко, О. В. Окушко, А. В. Міщенко, Є. О. Антипов// "Енергетика і автоматика" №1 – 2018. – 123-134 с.
6. Енергетичний аудит [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.reee.org.ua/download/trainings/ТМ\\_4\\_Аудит.pdf](http://www.reee.org.ua/download/trainings/ТМ_4_Аудит.pdf).
7. Асоціація енергоаудиторів. Енергетичний аудит будинку: встановлення діагнозу та план лікування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aea.org.ua/2014/06/energetichnij-audit-budinku-vstanovlennyadiagnozu-ta-plan-likuvannya>.
8. Філоненко, В.М. Методологія і методи енергетичного аудиту [Електронний ресурс]: курс лекцій для студ. спец. 7.05060105, 8.05060105 “Енергетичний менеджмент” ден. форми навч. / В.М. Філоненко.- К.: НУХТ, 2013.- 68 с.
9. Прокопенко В.В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник. / В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, П.В. Кульбачний// – К.: Освіта України, 2009. – 437 с.

10. Бабенко О.В. Енергетичний аудит. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Бабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 71 с.

11. Качан Ю.Г. Методичні вказівки до виконання курсової роботи для магістрантів ЗДІА спеціальностей «Енергетичний менеджмент» та «Гідроенергетика»/ Ю.Г. Качан, О.В. Волков, А.Г. Лохматов – Запоріжжя: ЗДІА, 2012.-40с.

12. Енергозбереження в промисловості. Ч1. [ Електронне видання] / К. : НТУУ «КПІ». – 2011. –790с.

13. Качан Ю.Г. Основы энергосбережения: Конспект лекций для студентов всех форм обучения специальности 7.000008 “Энергетический менеджмент”/ Качан Ю.Г. – Запорожье : ЗГИА, 2004. - 183 с

14. Мысик В.Ф. Металлургия ферросплавов: технологические расчеты : учебное пособие / В. Ф. Мысик, А. В. Жданов, В. А. Павлов.// – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 536 с.

15. Гасик М. И. Теория и технология производства ферросплавов [Текст] / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев, Б. И. Емлин. – М. : Металлургия, 1988. – 784 с.

16. Гасик М. И. Марганец [Текст] / М. И. Гасик. – М. : Металлургия, 1992. – 608 с.

17. Свинолобов Н.П. Печи черной металлургии /Н.П. Свинолобов, Л.В. Бровкин// Учебное пособие для вузов.–Днепропетровск:Пороги,2004. – 154 с.

18. Гаврилов В. А. Силикотермия марганца [Текст] / В. А. Гаврилов, М. И. Гасик. – Днепропетровск : Системные технологии, 2001. – 512 с.

19. Шкрабець Ф.П. Електропостачання та електричні мережі: навчальний посібник / Ф.П. Шкрабець, Ю.Г. Качан// Запоріз. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2014. – 214 с.

20. Булсова В.Н. Электрические системы и сети. / Н.В. Булсова, В.Н. Винославский, Г.И. Денисенко, В.С. Перхач// К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 584 с.

21. Чоджой М.Х. Энергосбережение в промышленности/ М.Х. Чоджой – М: Металлургия, 2002. – 436с.
22. Минин Г.П. Реактивная мощность / Минин Г.П. – М. : Энергия, 1978. – 88с. – 2-е изд. перераб.
23. Федоров А.А. Основы компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения с вентильными преобразователями / А.А. Федоров, Г.П Корнилов. – М.: МЭИ, – 1982. – 100с.
24. Ильяшов В.П. Конденсаторные установки промышленных предприятий / Ильяшов В.П. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 152 с.
25. Ковалев И.Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей / Ковалев И.Н. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 200с.: ил. – (Экономия топлива и электроэнергии).
26. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах / Железко Ю.С. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 200с.
27. Методика розрахунків плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами / Затверджена наказом Міністерства палива та енергетики 17.01.02 р. №19. - Режим доступу до журн.: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/z0093-02>
28. Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії. / Затверджена наказом Міністерства палива та енергетики від 17.01.2002 р. №19. - Режим доступу до журн.: <http://ua-info.biz/legal/baseue/ua-xmttie.htm>
29. Качан Ю.Г. Управління проектами енерговикористання. Навчально-методичний посібник для студентів всіх форм навчання спеціальності «Енергетичний менеджмент»/ Ю.Г.Качан, К.О.Братковська – Запоріжжя. ЗДІА, 2009. – 109 с.
30. Тянь Р.Б. Управління проектами: Підручник./Р.Б. Тянь, Б.І. Холод, В.А. Ткаченко – К.: ЦНЛ, 2004. – 224 с.

31. Ковшун Н.Е. Аналіз та планування проектів. Навчальний посібник./ Н.Е. Ковшун – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 344с.
32. Офіційний сайт компанії ООО “НОВОТЕХЭЛЕКТРО” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.n-tel.com.ua/index.html>
33. Офіційний сайт компанії NKU Created on decades [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://krm.nku04.com.ua>
34. Офіційний сайт приватного науково-виробничого підприємства ЛВ МАРКЕТ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lvmarket.com.ua>
35. Офіційний сайт ТОВ «ЕЛЕКТРОСФЕРА» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.electrosphere.com.ua/index.php?opt=page&id=44>
36. Панасейко С.П. Гігієна праці і виробнича санітарія/ С.П. Панасейко – Запоріжжя: ЗГІА, 2004-220с.
37. Закон України «Про охорону праці». Законодавство України про охорону праці. Збірник нормативних документів. 1 том. Київ. 2003.
38. Качан Ю.Г. Методичні вказівки до виконання, оформлення та захисту магістерської кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент»/ Ю.Г. Качан, А.В. Праховник, В.В. Артем'єв – Запоріжжя: ЗДІА – 2006. – 54с.
39. Міщенко В. Ю. Дослідження можливостей підвищення енерго-ефективності руднотермічної печі в умовах АТ «Запорізький феросплавний завод» / В. Ю. Міщенко, В. В. Артемчук// Матеріали ХХІV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. Енергетика, електроніка та інформаційні технології. Том III / II ЗНУ. – Запоріжжя: II ЗНУ. – 2019 р. – с 42.

**Додаток А**

**Демонстраційні матеріали до захисту дипломного проекту  
«Підвищення енергоефективності руднотермічної печі в умовах АТ  
«Запорізький феросплавний завод»**