МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергетичної ефективності підприємства металургійної галузі

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1413 - з
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)
Йовчевскі П.
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Осаул О.І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент Артемчук В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут_____
Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти____другий (магістерський) рівень_____
Спеціальність __141____Електроенергетика,_____ електротехніка____та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика,_____ електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф._____В.Л. Коваленко
«___01__»_____12_____2024__року

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

_____Йовчевскі Пилипу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення енергетичної ефективності підприємства металургійної галузі _____
керівник роботи ___Осаул Олександр Іванович, к.т.н., доцент_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_28_»_02__2024__року №_361 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2024 р._____
3 Вихідні дані до роботи: технічні характеристити та режимні карти роботи камерної нагрівальної печі з викатним подом в умовах металургійного підприємства; річне споживання електричної енергії прокатним виробництвом – 240911 тис. кВт·год
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Характеристика виробничого процесу прокатного цеху 2) Аналіз методів підвищення енергоефективності камерної печі 3) Техніко-економічне обгрунтування проекту 4) Охорона праці та техногенна безпека.
5 Перелік графічного матеріалу 1) Аналіз енергоспоживання 2) Камерна піч з викатним подом 3) Структурна блок-схема керування оптимізованими за економічним критерієм енергетичними параметрами печі 4) Планування

експерименту 5) Алгоритм визначення оптимальних енергетичних параметрів печі разом з системою керування 6) Програмний комплекс та передбачувані техніко-економічні показники 7) Схема звукоізольованої кабіни технолога

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Осаул О.І., к.т.н. доцент		
Розділ 2	Осаул О.І., к.т.н. доцент		
Розділ 3	Осаул О.І., к.т.н. доцент		
Розділ 4	Осаул О.І., к.т.н. доцент		

7 Дата видачі завдання 01.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика виробничого процесу прокатного цеху	30.09.2024	
2	Аналіз методів підвищення енергоефективності камерної печі	15.10.2024	
3	Техніко-економічне обґрунтування проекту	25.10.2024	
4	Охорона праці та техногенна безпека	30.11.2022	

Студент _____ _____ П. Йовчевскі
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ _____ О.І. Осаул
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____ І.І. Коваленко
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Йовчевскі П. Підвищення енергетичної ефективності підприємства металургійної галузі. Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник О.І. Осаул. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

У роботі розглянута енергоємність печі Дніпроспецсталі і прокатного стану, зокрема, розглянуті камерні печі, проаналізовані всі можливі шляхи підвищення енергоефективності печі камерного обігріву, розглянуто вплив електричного поля на процес утворення теплового потоку в умовах підприємства.

Розроблено методику визначення оптимальних енергетичних параметрів нагрівального вузла печі та створено відповідну систему керування. Розроблено програмний комплекс для контролю енергетичних параметрів в пічному просторі при наявності електричного поля, за допомогою якого можна визначити оптимальні енергетичні значення і більш точно спрогнозувати потенційну кількість природного газу, який може бути збережений в умовах будь-якого промислового підприємства.

Ключевые слова: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, НАГРІВАЛЬНА ПІЧ, ТЕПЛОВИЙ ПОТІК, ПРОСТОРОВЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ, ПРОЦЕС ГОРІННЯ, ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ

ABSTRACT

Jovchevski P. Improving the energy efficiency of a metallurgical enterprise. Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, scientific supervisor O.I. Osaul. Zaporizhia National University. Engineering Educational and

Scientific Institute named after Yu.M. Potebnia. Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2024.

The paper considers the energy consumption of the Dneprospetsstal furnace and the rolling mill, in particular, chamber furnaces are considered, all possible ways to increase the energy efficiency of the chamber heating furnace are analyzed, the influence of the electric field on the process of heat flow formation in the conditions of the enterprise is considered.

A method for determining the optimal energy parameters of the furnace heating unit is developed and a corresponding control system is created. A software package has been developed for controlling energy parameters in the furnace space in the presence of an electric field, with the help of which it is possible to determine the optimal energy values and more accurately predict the potential amount of natural gas that can be stored in the conditions of any industrial enterprise.

Keywords: ENERGY EFFICIENCY, HEATING FURNACE, HEAT FLOW, SPATIAL ELECTRIC FIELD, HEAT EXCHANGE INTENSIFICATION, COMBUSTION PROCESS, THERMAL ENERGY

ЗМІСТ

Вступ ……...7
1 Характеристика виробничого процесу …….……....9
1.1 Основні відомості про ПрАТ «Дніпроспецсталь» ..... … 9
1.2 Характеристики прокатного стану 19
2 Дослідження методів підвищення енергетичної ефективності камерної печі……..38
2.1 Загальні відомості про ефективність камерних печей..... 38
2.2 Характеристика термічної печі на прокатному стані ПрАТ «Дніпроспецсталь»..... 46
2.3 Використання кількісного визначення енергетичної ефективності камерних печей зі знижувальною піччю 50
2.4 Застосування імпульсної системи нагріву 51
2.5 Управління тепловими потоками нетрадиційними способами.. 53
3 Техніко-економічне обґрунтування підвищення енергетичної ефективності камерної печі……..72
4 Охорона праці та техногенна безпека.....83
4.1. Характеристика потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.....……83
4.2 Заходи щодо поліпшення умов праці 85
4.3 Заходи з поліпшення санітарних умов праці……90
4.4 Заходи з електробезпеки.....92
4.5 Заходи з пожежної безпеки.....93
4.6 Засоби індивідуального захисту.....95
Висновки ……...97
Перелік посилань …….....98

ВСТУП

У сучасному світі проблема енергозбереження набула глобального масштабу, а раціональне використання природних ресурсів має вирішальне значення. В умовах промислового виробництва оптимізація енергоспоживання є ключовим фактором економії фінансових ресурсів і запорукою ефективної роботи підприємств.

З огляду на постійне зростання вартості палива, для промислових підприємств України дедалі актуальнішим стає зниження обсягів використання природного газу. Це особливо важливо для металургійної галузі, яка є однією з найбільш енергоємних в країні.

Щороку українські підприємства споживають приблизно 42 млрд. кубометрів природного газу, і кількість компаній, що використовують цей ресурс, продовжує збільшуватися.

Втім, зниження витрат газу не повинно негативно впливати на якість виробничих процесів, зокрема на нагрів металу в термічних печах. Тому постає питання про модернізацію обладнання та впровадження нових методів термічної обробки, що дозволять мінімізувати споживання газу.

На українських підприємствах широко застосовуються опалювальні печі на природному газі. Вони належать до комплексних нагрівальних агрегатів, що містять основні та допоміжні пристрої. До їхньої конструкції входять робоча камера, теплогенеруюче обладнання (пальники), системи рекуперації тепла, димовидалення, вентиляції та автоматизованого контролю. Такі печі є незамінними у чорній і кольоровій металургії, машинобудуванні та інших галузях.

Камерні печі – це окремий клас промислових агрегатів, у яких вироби залишаються нерухомими протягом усього періоду нагрівання. Вони використовуються для підготовки металевих заготовок перед прокаткою і

куванням, термічної обробки металів і скла, а також випалу керамічних і емальованих виробів.

За джерелом енергії камерні печі поділяються на газові, рідкопаливні та електричні. Вони також класифікуються за конструкцією (вертикальні, ковпакові, з висувним вогнищем) та рівнем механізації. Їхньою важливою перевагою є можливість роботи на різних видах палива, що дозволяє оперативно змінювати енергоресурс залежно від економічної доцільності.

Наразі перспективним напрямком є впровадження електричних камерних печей, які мають низку переваг: відсутність вихлопних газів, ефективну теплоізоляцію, точний контроль температури, кращі санітарні умови та високу енергоефективність. Такі печі екологічно безпечні, компактні, мають високий ККД та тривалий термін експлуатації.

Проте через значні витрати на електроенергію на багатьох підприємствах продовжують використовувати газові печі. Водночас, зростання вартості енергоресурсів спонукає до пошуку шляхів зменшення енергоспоживання у виробництві. Як відомо, зекономлена тонна палива еквівалентна 2,5 тонни первинних енергоресурсів, тому питання енергозбереження є ключовим при розробці та модернізації нагрівальних агрегатів.

Одним із перспективних напрямків досліджень є вплив електричних полів (з напругою до 1000 В) на процеси теплообміну. Ця тема ще недостатньо вивчена, проте її подальша розробка може сприяти суттєвій економії природного газу та зниженню собівартості продукції. Оскільки більшість промислових печей працюють саме на газі, дослідження в цьому напрямку є надзвичайно актуальними.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Основні відомості про ПрАТ «Дніпроспецсталь»

ПрАТ «Дніпроспецсталь» є ключовим виробником нержавіючого прокату на ринках СНД, а в Україні є безперечним лідером в даному сегменті.

Компанія була заснована в 1932 році в місті Запоріжжя в складі потужного державного металургійного комплексу. Сьогодні це сучасна, клієнтоорієнтована, соціально відповідальна компанія з більш ніж 80-річним досвідом у виробництві високоякісної металопродукції.

Місія ПрАТ «Дніпроспецсталь» - виробництво і реалізація високоякісної продукції зі спеціальних сталей і сплавів, побудова свого бізнесу на благо акціонерів, співробітників і партнерів, несучи повну відповідальність за вплив своєї діяльності на навколишнє середовище.

Цінності компанії:

– створення системи управління відповідно до кращих моделей корпоративного управління та організаційно-фінансової прозорості;

– розширення асортименту продукції, що випускається, поліпшення її якості і термінів виробництва;

– ефективне використання промислових, природних і фінансових ресурсів;

– дотримання принципу економічної доцільності;

– підтримання високого рівня кваліфікації співробітників компанії, стимулювання професійного та творчого розвитку;

– збільшення активів компанії, вартості акцій та інших цінних паперів за рахунок забезпечення ефективного управління, інвестицій та технічного переоснащення;

– забезпечення стабільного економічного зростання без шкоди для

довкілля;

– повага до інтересів представників громадськості у своїй діяльності;

– підтримка соціальних програм, спрямованих на розвиток регіону, в якому працює компанія;

– відповідальність за охорону навколишнього природного середовища та досягнення екологічної ефективності діяльності підприємства;

– Забезпечення промислової безпеки та охорони праці у всіх сферах виробничої діяльності.

Як найбільша міжнародна компанія, Дніпроспецсталь займається розробкою, виробництвом і реалізацією металопродукції з нержавіючої сталі, інструментальної сталі, швидкорізальної сталі (в тому числі порошкової металургії), підшипників, конструкційних сплавів і вуглецевих сталей.

Технології, що використовуються на заводі, дозволяють отримувати високоякісні сталі і сплави, що використовуються в найбільш відповідальних галузях - машинобудуванні, суднобудуванні, автомобілебудуванні, авіації та нафтогазовидобутку.

Цей метал використовується для виробництва деталей машин, безшовних труб і підшипників, інструментів для подальшої обробки металів і сплавів.

Географічне розташування компанії дає значну перевагу при виході на ринки СНД і ЄС. Продукція Дніпроспецсталі користується попитом більш ніж в 60 країнах світу. Зберігаючи лідируючі позиції на вітчизняному ринку, Дніпроспецсталь розширює свою присутність в Європі, Америці та Азії, працюючи з партнерами і дистриб'юторами в 15 країнах світу. Реалізація металопродукції здійснювалася через наступні канали збуту: ТОВ «ДСС Глобал Трейдинг» (Україна), дистриб'ютор «Дсс Інтернешнл» (Швейцарія) і його агенти DSS GmbH (Німеччина) і «DSS America» (США). Наявність власних офіційних дилерів та їх агентів дозволяє компанії реалізовувати продукцію кінцевому споживачеві та спрощує процедуру оформлення замовлень для наших клієнтів.

Основною продукцією ринку є прокат з нержавіючої сталі, високолеговані інструментальні сталі, високошвидкісна механічна обробка, підшипники, леговані та вуглецеві конструкційні марки сталі, включаючи порошкову металургію, електрошлак та вакуумно-дуговий переплав. Дніпроспецсталь виробляє більше 800 марок сталі в 1200 типорозмірах профілів. Завдяки потужній виробничій базі, компанія має широкі можливості у виробництві різних видів спеціального сталевого прокату. Основними одержувачами продукції компанії є трейдери і кінцеві споживачі металопродукції машинобудівної, трубної, будівельної та енергетичної галузей. Компанія постійно модернізує свої виробничі потужності, освоює нові технології, встановлює найсучасніше обладнання, що дозволяє випускати продукцію високої якості.

Конкурентні переваги компанії:

– висококваліфікований персонал, здатний виробляти широкий асортимент спеціальних марок, сплавів і розмірів профілів;

– індивідуальний підхід до замовника та можливість виконання невеликих замовлень з урахуванням додаткових вимог споживача;

– максимально стислі терміни виконання замовлень і чітке їх дотримання;

– широкий асортимент обладнання, різні методи виробництва та обробки сталі;

– Модернізоване обладнання та вдосконалені процеси

– контроль якості продукції;

– Процесна технологія управління підприємством.

З метою планування ресурсів компанії та забезпечення фінансової прозорості підприємства компанія використовує автоматизовану систему управління ресурсами підприємства SAP R/6, яка є потужним інструментом аналізу даних для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Функціональні служби контролюють процес реалізації програм оптимізації

виробництва на постійній основі, з всебічним аналізом досягнутого економічного ефекту. Ведуться роботи з розвитку управлінського обліку та вдосконалення системи щотижневого контролю витрати матеріалів, руху металевих відходів, простоїв основного виробничого обладнання. В результаті постійного контролю за витратою сировини і матеріалів, використання розроблених і впроваджених програм зниження витрат, які охоплюють всі сфери управління компанією: виробництво, матеріали і технології, енергетику, фінанси, було отримано ряд позитивних результатів.

Основні напрямки інвестиційної діяльності компанії:

– енергетична безпека, впровадження енергетичних та ресурсозберігаючих технологій:

А) проекти, спрямовані на зниження витрат палива при виробництві продукції: заміна існуючої вогнетривкої футеровки стругальних труб на футеровку з легких вогнетривких матеріалів, технологія якої дозволяє знизити витрату палива на 10-15%; реконструкція опалювального котла з заміною футеровки, пальників та автоматизованої системи управління;

Б) Проекти, спрямовані на зниження витрат на опалення та гаряче водопостачання: будівництво системи рекуперації тепла відпрацьованих газів для газоподібного кисневого конвертера; Система дозволяє знизити витрати на опалення та гаряче водопостачання житлових приміщень за рахунок використання тепла охолоджувального контуру для нагріву води; початок будівництва місцевої електрокотельні на азотній станції у складі електростанції дозволить значно скоротити витрати на опалення в зимовий період;

В) проекти, спрямовані на модернізацію енергетичної системи компанії: реконструкція, модернізація осередків газопереробного заводу з встановленням високовольтних автоматичних вимикачів в газовій ізоляції; модернізація мережевого трансформатора; модернізація автоматизованої системи обліку електроенергії на підприємствах;

– Проекти, спрямовані на забезпечення енергетичної безпеки та енергонезалежності підприємства: проектування установки зберігання та газифікації рідкого кисню;

– Контроль якості: Монтаж борного каналу на спектрометр, придбання муфельної печі для аналітичної лабораторії, придбання феритометра для науково-дослідного цеху, придбання машини для виробництва концентратів напружень на зразках для випробувань на ударну в'язкість, придбання обладнання для радіологічного контролю;

– оновлення та реконструкція рухомого складу, технологічного обладнання та транспортних засобів: заміна токарного верстата типу ПТ з масштабною механічною обробкою, закупівля посилених колон для реконструкції преса, модернізація лінії безперервної очистки металу; заміна пневматичного турбокомпресора; придбання сідельних тягачів з напівпричепами, автобуса для перевезення співробітників компанії;

– Реалізація природоохоронних програм та проектів: продовження виконання платіжних зобов'язань за новою системою очищення газів від технологічних та неорганізованих викидів, проектування газоочисних установок для технологічних та неорганізованих викидів;

– розвиток інформаційних технологій, модернізація обладнання та комп'ютерних систем;

– Виконання доручень контролюючих органів, фінансування проектів, спрямованих на підвищення безпеки та умов праці працівників Компанії.

Контроль за екологічною безпекою є першочерговим завданням Дніпроспецстальського обласного авіаційного управління. З цією метою на підприємстві виконуються різні види випробувань стану атмосферного повітря, стічних вод, водозаборів, об'єктів охорони навколишнього середовища і т.д. заміри з метою санітарно-гігієнічного контролю працівників дільниці відповідно до умов праці. Дніпроспецсталь постійно реалізує програми, спрямовані на зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Особлива увага

приділяється модернізації, капітальному та поточному ремонту, встановленню нового газоочисного обладнання.

Дніпроспецсталь докладає максимум зусиль для мінімізації негативного впливу свого виробництва на навколишнє середовище і прагне до зниження споживання води в виробничих циклах. Основний водозабір в Дніпропоталі здійснюється з поверхневих джерел і центральних водопроводів. Значна частина води знаходиться в циркуляції і використовується для охолодження виробничого обладнання, в той час як частина відведеної води використовується в технологічному процесі.

Управління основними матеріалами і відходами ВАТ «Дніпроспецсталь» надає великого значення проблемі невідновлюваних природних ресурсів. Сталий розвиток передбачає раціоналізацію споживання, задоволення потреб сьогодення без шкоди для здатності майбутніх поколінь задовольняти власні потреби. Основними матеріалами в нашому виробництві є метали і феросплави. До невідновлюваних матеріалів відносяться: додаткові наповнювачі, графітові електроди, лакофарбові матеріали, паливно-мастильні матеріали (бензин, дизельне паливо). Всі інші матеріали можуть бути перероблені та повторно використані за призначенням або як інші продукти після використання.

Дніпроспецсталь усвідомлює, що зниження витрат палива і енергоємності технологічних процесів, крім зниження собівартості продукції підприємства, також має істотний вплив на економіку екології та природних ресурсів. Тому вона приділяє особливу увагу розробці та впровадженню програм енергозбереження та зниженню енергоємності виробництва. Основним напрямком діяльності в даному напрямку є модернізація технологічного обладнання та впровадження енерго- і ресурсозберігаючих технологій. Серед енергозберігаючих проектів слід виділити наступні: підвищення ефективності роботи газовикористовуючих установок шляхом проведення екологічних і теплових випробувань опалювального обладнання в цехах, що дозволило скоротити споживання газового палива на 342 тонни еквівалентного палива; впровадження локальних міні-електричних котелень в тупиках виїзних об'єктів,

що дозволило заощадити 5000 Гкал теплової енергії; розробка та впровадження установки рекуперації тепла відпрацьованих газів, яка дозволила заощадити 2532 Гкал теплової енергії та забезпечила подачу тепла з рекуперованого тепла до двох цехів та головної насосної станції.

Технологічна схема виробництва ПрАТ «Дніпроспецсталь», яка представлена на рисунку 1.1, включає в себе оптимальне поєднання різних процесів, що дозволяють отримувати високоякісну продукцію зі специфічними властивостями за індивідуальними замовленнями наших клієнтів.

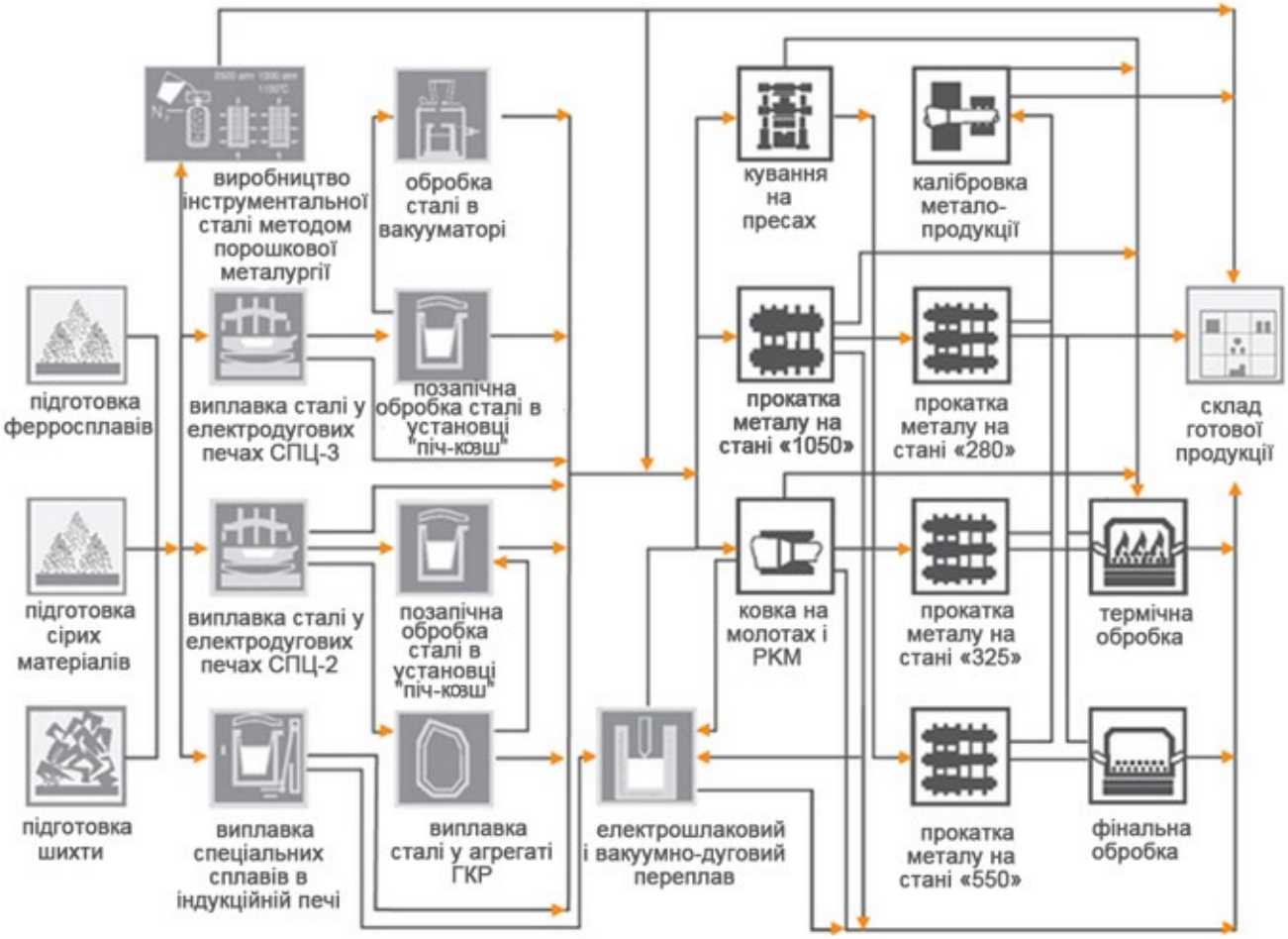


Рисунок 1.1 - Технологічна схема виробництва ПрАТ «Дніпроспецсталь»

Виробництво сталі в СППР представлено чотирма сталеливарними заводами.

Для виробництва понад 30 марок швидкорізальної та інструментальної сталі, що відповідає вимогам стандартів ГОСТ, ДІН, ASTM, використовується процес ASEA-STORA (холодне та гаряче ізостатичне пресування з

температура 1100-1150 ° С і тиск 1000 атм.).

У сталеливарному цеху No2 сталь виплавляють у відкритій електродуговій печі з подальшим продуванням в конвертері оксиду аргону і обробкою на агрегаті пічного ковша. Результатом цього процесу є низьковуглецева, стійка до корозії нержавіюча сталь. Цех обладнаний індукційною піччю ємністю 8 тонн для виробництва жароміцних сталей і спеціальних сплавів.

На сталеливарному заводі No3 високоякісна сталь виробляється шляхом обробки напівфабрикату в печі-ковші Daniel з подальшим вакуумуванням розплаву в пилососі Mannesmann Demag.

Сталевий стан No5 оснащений печами ESP і VAR різної потужності, які дозволяють виробляти довгу качанну трубку масою 0,9-6,0 тонн і листові злитки масою 9,3-20,0 тонн.

Переробне виробництво СППР представлено прокатним, калібрувальним, ковальським, ковальсько-пресовим, термічним і металообробним цехами.

На секційному прокатному стані 1050/950 отримують заготовки для подальшої прокатки на секційних прокатних станах, а також прутки діаметром 130-280 мм. На довгих прокатних станах 550, 325 і 280 виробляють вироби діаметром від 8 до 130 мм, з поверхнею в торцевій стані або механічної обробки. Обробка поверхні виробів відбувається на безцентрових пілінгових машинах в повністю механізованому процесі. На ділянці фінішної обробки прокатного стану Loeser RPS 377 обробляє прутки діаметром 120-280 мм з усього асортименту заводської марки масою до 2,6 тонн. Всі вироби діаметром від 20 мм піддаються ультразвуковому контролю відповідно
відповідно до EN 10308, ASTM A388 або SEP 1921.

Калібрувальний цех виробляє холоднотягнуті круглі прутки діаметром 2-45 мм, круглі прутки зі спеціальною обробкою поверхні діаметром 1,9-50 мм, калібровані шестигранні прутки з діаметром вписаного кола 12-46 мм (для ринку СНД).

Великогабаритні поковки круглого, квадратного і прямокутного перерізу з різних видів сталі є продукцією ковальських і пресових цехів. Цех обладнаний

гідравлічними пресами 60 МГ і 32 МГ, обладнаними маніпуляторами на 5 і 10 тонн.

Цех включає в себе ділянки для термічної обробки, рихтування і фінішної обробки поковок, а також для ультразвукового контролю якості.

У металообробному цеху виконується механічна обробка поверхні прутків діаметром 20-200 мм, остаточна обробка прутків зі спеціальним перетином під колесо 160 мм проводиться на верстаті РПС 327. У цеху встановлені дві лінії для токарної обробки і спеціальної обробки поверхні. Тут обробляють прутки прокатних станів 1050, 550, 325 і 280, а також ковальських і пресових станів.

В цілому ВАТ «Дніпроспецсталь» споживає велику кількість енергоресурсів, які наведені в таблиці 1.1 і на схемі (рис. 1.2). Основними енергоресурсами, які споживає компанія, є природний газ та електроенергія.

Одним з найбільш енергоємних цехів підприємства є прокатний стан, енергоспоживання якого наведено в таблиці 1.2 і рисунку 1.3. Тому було прийнято рішення приділити увагу розробці та впровадженню заходів щодо зниження енергоємності виробництва на підприємстві, і зокрема на прокатному стані, а також проаналізувати всі можливі шляхи підвищення енергоефективності.

Таблиця 1.1 - Енергоспоживання ПрАТ «Дніпроспецсталь»

Найменування ресурсу	Одиниць	Розмір	Вартість, млн. Гріс (У)
Електрика	тис. Квт	434641	782,35
Природний газ	тис. м3	66660,4	599,94
Доменний газ	тис. м3	136384	136,38
Тепло	Індекс Гкал	107440	118,18
Технічна вода	тис. м3	29543	35,45

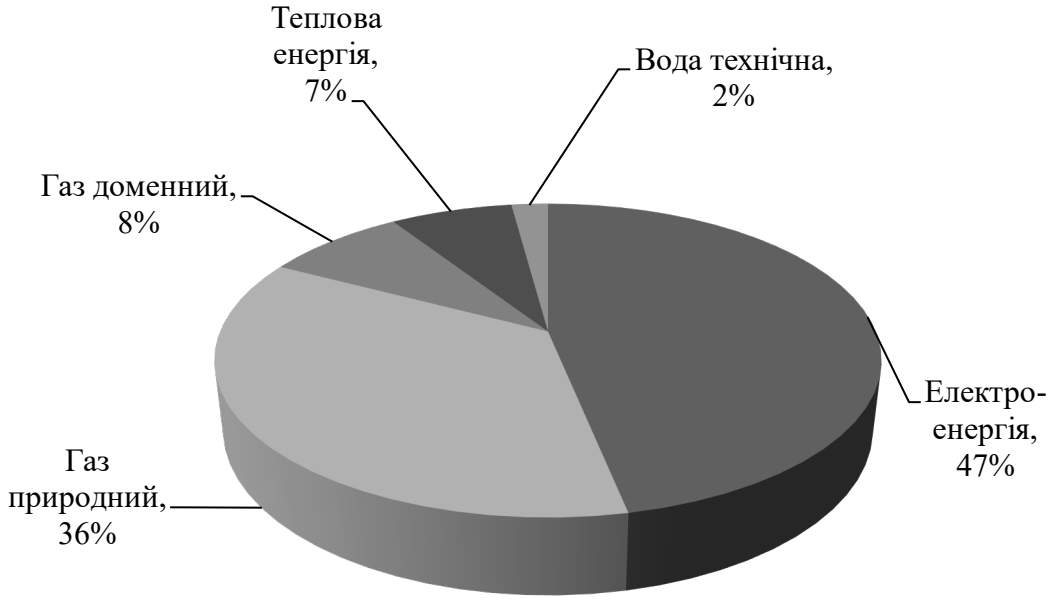


Рисунок 1.2 - Енергоспоживання ПрАТ «Дніпроспецсталь»

Таблиця 1.2 - Енергоспоживання прокатного стану

Найменування ресурсу	Одиниць	Розмір	Вартість, млн. Гріс (У)
Електрика	тис. Квт	130911	235,64
Природний газ	тис. м3	28500,8	256,51
Доменний газ	тис. м3	64240,2	642,40
Тепло	Індекс Гкал	40635	446,99
Технічна вода	тис. м3	8380,5	10,057

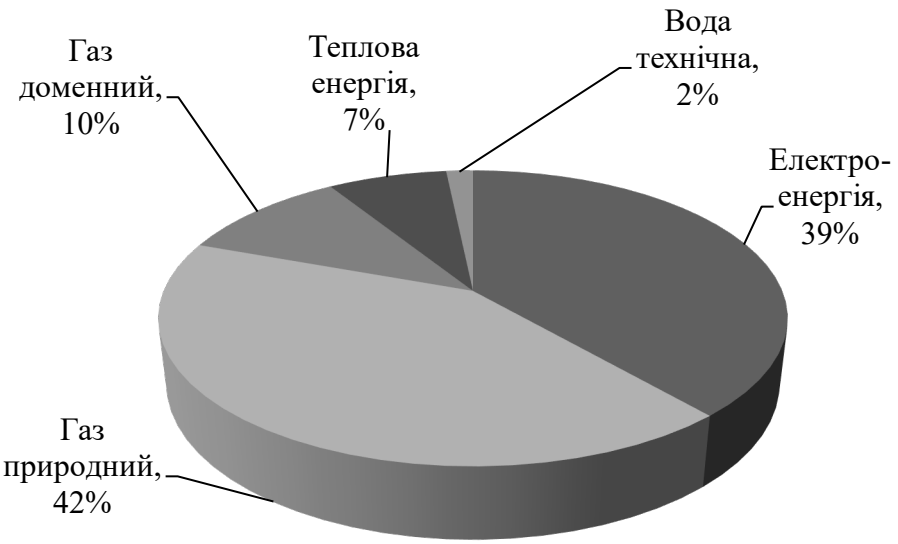


Рисунок 1.3 - Енергоспоживання на прокатному стані

1.2 Характеристики прокатного стану

Прокатний стан складається з нагрівального відділення, прокатних станів: заготівельного стану 1050/950, середнього сорту 550, стану середньої якості 325, дрібноформатного прокатного стану 280, різального відділення, травленняльного відділення, термічного відділення та дільниці очищення злитків. Прокатні стани спеціалізуються на випуску напівфабрикатів з квадратним і круглим перетином.

Досить важливою технологічною операцією є нагрівання металу перед прокаткою. Він повинен забезпечувати нормальні умови для деформації металу і високу якість готової продукції. В останні роки розвивається новий напрямок в техніці, в основі якого лежить управління процесом нагріву металу з метою його оптимізації. Одне із завдань оптимізації процесу нагрівання можна сформулювати як питання максимально швидкого нагрівання заготовки до заданої температури за умови, що термічні напруги не перевищують певної

величини. Як правило, термічні напруги пропорційні різниці температур між товщиною поверхні і центру заготовки.

На Дніпроспецсталі для підігріву злитків використовуються опалювальні свердловини з регенерацією. У прольоті є 12 груп опалювальних свердловин. Група лазів складається з двох осередків розмірами від 1 до 9 4,8×4,6×3 м, з групи 10 по 12 розміри осередків 5,54×4,65×3 м. Для відкривання кришок використовуються пожежні гідранти.

Конструкція опалювальних свердловин регенерації з підігрівом від середини печі підбирається аналогічно вже існуючим свердловинам.

Кожна клітина оснащена газовим пальником, розташованої посередині домашнього вогнища.

Керамічні теплообмінники з вертикальними трубами використовуються для високотемпературного нагріву повітря (до 800°С). Ці теплообмінники збираються зі стандартних восьмигранних труб. Внутрішній діаметр труб – 108 мм, товщина стінки – 16 мм, висота – 356 мм, розташування труб почергове. Відпрацьовані гази надходять по трубах зверху вниз, повітря проходить між трубами з перехресно-потоковим протитечією по відношенню до диму. Керамічні теплообмінники мають загальну площу нагріву повітря 245 м2Для повітряного опалення У теплообмінниках використовується тепло димових газів з температурою близько 1100÷1250 °С .

Повітря подається в свердловину по тангенціальній величині під кутом 8 до горизонталі для зниження вібрації гарячого повітря в зазорі. Для того щоб знизити втрати тепла, поряд з газами, що виділяються, були встановлені металеві трубчасті теплообмінники.

Свердловини обладнуються контрольними і вимірювальними приладами, встановленими на теплових щитах. Процес нагріву злитків відбувається з автоматичним регулюванням температури і тиску горіння в камері. Можливий напівавтоматичний або дистанційне керування.

Заготівельний стан 1050/950 складається з двох лінійно розташованих затискних і штампувальних станцій. Асортиментний ряд: 98÷350 мм квадрат,

електроди, 240 мм квадрат, діаметр кола 130÷300 мм зі спеціальних вуглецевих, легованих і високолегованих сталей, які вимагають особливого режиму нагрівання, прокатки і додаткової обробки готових виробів і заготовок. Стан прокатує злитки, що надходять на прокатний стан, як в гарячому, так і в холодному сідлах.

Стан «тріо» 550 складається з чотирьох стендів, вишикуваних у лінію, перша стійка обтискається, друга і третя груба, а четверта стійка закінчується.

Три робочих місця тріо оснащені механізованими пристроями для вертикального і осьового регулювання рулонів з станинами відкритого типу, з попереднім натягом з'єднання кришки з рамами станини для збільшення жорсткості станини. Твердість підставки становить 90 т/мм.

Фінішна станція «дует» конструктивно схожа на станції 1÷3. Крайова машина перед станцією No4 забезпечує автоматичну обрізку кромки під кутом 90° і утримання роликовою віссю для попередньої обробки після її нанесення на калібр фінішної станції в заданому стані. Довжина рольганга перед клітейкою No4 становить 35 м для виключення викривлення ролика при пересуванні баржами.

Роликові опори робочих місць встановлюються на роликових опорах. У планці стану ролики з'єднані між собою універсальними шпинделями на елементах кочення.

Кліпса для трансмісії відкритого типу з роликами «ялинка». Крутний момент двигуна передається центральним роликом шестерні.

На прокатному полі з лицьового боку стану розташовані чотирьох- і шеститочкові баржі. Перекат передається з 1 станції на 2 за допомогою чотирьохпотокових барж. Крок між нитками становить 3200 і 1600 мм. Хитавиця з 2 станцій на 3 і з 3 по 4 здійснюється за допомогою шеститочкових барж з ходом 1600 мм.

Перше, друге і третє бічні робочі місця обладнані підйомними і човниковими столами. На столі за 1 кліткою стоять дві маніпулятивні лінійки з незалежним приводом.

Характеристика основного напряму державної діяльності:

– потужність електродвигуна головного приводу - 2400 кВт;

– частота обертання двигуна – 0÷150 об/хв;

– кількість оборотів ролика - 0÷150 об / хв;

– довжина роликового стовбура 1 обойми - 1750 мм; 2-4 стійки -1600 мм;

– Довжина рулону min – 580 мм; Макс – 644 мм.

Основне і допоміжне обладнання секційного стану 325 розташоване в п'яти відсіках цеху:

– склад заготівлі;

– грубий проліт;

– становая тяга;

– склад готової продукції;

– машинне відділення.

Заготівля стану 325 входить до складу загальної заготовки секційних станів і примикає до завантажувальних барж нагрівальних печей:

Для нагріву заготовок встановлено п'ять печей методичного нагріву.

Стан 325 складається з двох робочих ліній і призначений для виробництва прокату з вуглецевих, легованих і високолегованих сталей, а також сплавів з особливими властивостями.

Лінія обтиску складається з приводу, зубчастої рейки і трьохроликової робочої станції закритого типу, фінішна лінія складається з приводу, передавальної стійки і п'яти робочих станцій з 4 роликовими пазами, які працюють як двороликові. Відстань між осями робочих ліній млина становить 28 м.

Для охолодження прокату перед різанням на стані є залізничний холодильник з приймальним пристроєм і висувним роликовим транспортером. Довжина рефрижератора – 60 м, ширина – 5 м.

За холодильником розташовані ножиці з рухомим упором для нарізки рулетів на замовлену довжину. Розрізаний метал по рольгангу направляється в пристрій для закидання готової продукції в збірний кишеню.

Склад готової продукції обладнаний зварними секціями (хомутами); У разі прокатки більших партій тріснутих, чутливих сталей застосовують повільно охолоджувані свердловини.

У тонкому просіюванні 280 основне і допоміжне обладнання млина
Він розташований у чотирьох відсіках цеху:

– склад заготовки,
– становая тяга,
– склад готової продукції,
– машинне відділення.

Склад млинової заготовки входить до складу загальної заготовки секційних станів, примикає до зарядної частини нагрівальних печей, містить добову потребу стану, з'єднану з присадкою до заготовки передавальним візком ємністю 20 т.

На млині встановлено п'ять печей методичного обігріву. Відстань від глухого посівного вікна до осі притискної станції становить 14 м.

Стан 280 складається з трьох робочих ліній, призначених для виробництва прокату з вуглецевих сталей, легованих сталей і сплавів зі спеціальними властивостями. Затискна лінія складається з приводу і одного робочого місця на три людини. Чорнова лінія складається з приводу, зубчастої рами і двох «трійок» станційних працівників, лінія працює як змінний «дует». У першій позиції робочими є нижня пара роликів, у другій - верхня пара. Всього дві чорнові лінії працюють тільки для прокатки прутків діаметром 6,5 - 9 мм, ламелей перетином 4х20 мм, трапецієподібного профілю з перетином 8,5х9,9 мм, вони виробляють три шліца. Для виробництва прокату інших асортиментних розмірів використовується тільки чорновий лінійний стелаж.

Між лініями обтиску і чорновими стійками встановлюються ножиці гарячого різання, на яких нарізають або розрізають або розрізають або розрізають або розрізають на шматки в міру необхідності. Відстань між осями обтискного верстата і ножиць - 17 м, між осями ножиць і нагрівальної печі - mb, між осями обтискної і чорнової фрезерної лінії - 39 м. Тріо виступає як змінний дует, сьоме – як дует. Чорнова і кінцева лінії з'єднуються транспортним рольгангом, в якому встановлюється короб.

Відстань між осями чорнової і чистової ліній стану становить 21 м. Уздовж фінішної лінії стану, на відстані 21 м, по осі станції No5 встановлені летючі ножиці, призначені для різання готового прокату довжиною 4,6; 30 м.

Готовий прокат, в залежності від кінцевого розміру, поставляється на стенд No 5 або стенд No 7. Подається в прутках прокат передається з добірних станцій 5 і 7 на літальні ножиці за допомогою напрямних труб і пари тягових роликів, встановлених перед літальними ножицями. Готовий прокат трапецієподібний, перетином 8,5х9,9 мм і діаметром 6,5:14 мм, поставляється в бухтах, намотаних на три намотувачі фірми Garetta, намотувачі для збору тюків і передачі їх на прес-підбирач мають рейковий транспортер

Після різання на рухомих ножицях згорнута в прутки продукція за допомогою транспортного роликового конвеєра передається в залізничну градирню. Холодильник має довжину 33,6 м і ширину 7,24 м.

Склад готової продукції обладнаний зварними секціями для зберігання готового прокату в прутках. Тут є місце для зберігання заворушень.

Технічна характеристика млинового обладнання. Злиток призначений для транспортування злитків з нагрівальних колодязів на приймальний роликовий конвеєр і для розміщення злитків на приймальному роликовому конвеєрі. Злитки складаються з двох механізмів: механізму пересування і механізму нахилу люльки. Швидкість руху візка з рудою - до 5,06 м/с, швидкість підходу злитка до зупинки - 0,4 м/с. Час нахилу люльки - 3,0 - 3,5 сек.

Приймальний рольганг призначений для прийому злитків з рудовозу і подачі їх на поворотний стіл. Приймальний рольганг складається з 10 секцій,

кожна з яких має по 3 кутових ролика. Загальна довжина приймального рольганга поворотного столу становить 17400 мм.

Поворотний стіл призначений для обертання злитків на 180° в горизонтальній площині і направлення злитків в обойму нижньою частиною і розміщується на відстані 39500 мм від стану. Поворотний стіл являє собою поворотний стіл діаметром 2900 мм і складається з 2 механізмів: поворотного механізму і рольганга. Час обертання на 180° становить 4,5 секунди.

Рольганговий транспортний стіл призначений для транспортування злитків і розташовується за поворотним столом; Складається з 12 секцій (3 шт.) порожнистих рулонів. Довжина рольганга 12х1765=2118О.

Вхідний рольганг призначений для передачі злитків від столу для транспортування роликів до працівника і є продовженням робочого рольганга, розташованого в передній частині клітки. Довжина подавального роликового конвеєра становить 14960 мм.

Робочі ролики і ролики станини обтискної стійки розташовані в передній і задній частині стійки і служать для вальцювання (розливання) в ролики і зняття їх з роликів. Фронтальний робочий рольганг складається з 8 повністю кованих роликів з кроком 650 мм.

Задній робочий рольганг має 8 коліс. Окружна швидкість роликів становить 1-3,5 м/с. Ролики для станини, по 2 ролики з кожного боку, розташовані безпосередньо в ложах-кошиках.

Маніпулятор призначений для спрямування хитавиці від датчика до датчика та для корекції нахилу.

Перекидна машина призначена для намотування злитків під кутом 90° (вальцювання).

Технічні характеристики маніпулятора:

- Тип приводу лінійки - електричний;
- Лінійка Dyna – 5465 мм;
- максимальний робочий розчин – 2100 мм;

– максимальне зусилля корекції – 400 кН;
– робочий хід лінійок: правий - 1800 мм; лівий – 1950 мм;
– частота обертання ваг, м/с - 0,6÷1,2;
– висота правих лінійок, мм – 730; лівий, 880 мм;
– тип нахилу - гак з кривошипом і рейковим приводом;
– кількість гачків, 4 шт.;
– підйом гака по вертикалі по вертикалі 860 мм;
– Кількість підйомів гака в хвилину - 5.

Клітка складається з двох закритих лежанок. Робочі ролики виготовлені зі сталі 60XN. Діаметр нових робочих роликів – 1050 мм, мінімальний діаметр точених роликів – 970 мм.

Робочі ролики, які мають довжину стовбура 2250 мм, мають шийки діаметром 640 мм і підтримуються підшипниками з текстолітовими вставками з водяним охолодженням. Максимальне зусилля кочення – 18500 кН, максимальна швидкість кочення – 4,5 м/с. Довжина рулонів коливається в межах 10...800 мм. Вертикальна збірка верхнього ролика здійснюється затискним пристроєм зі швидкістю 200 мм/с.

Зняття комплекту подушок рулону зі стійки і установка нового комплекту в клітку здійснюється механізмом заміни роликів притискної стійки.

Швидкість прокатки на заготівельній кліті – до 5,5 м/с. Ролики виготовлені зі спеціального чавуну, шийки роликів обертаються в текстолітових підшипниках. Для змащування та охолодження шийок роликів до текстолітових вставок подається вода, а для захисту роликових шийок від корозії подається густе мастило.

Верхній ролик кріпиться за допомогою затискного пристрою. Максимальна швидкість підйому верхнього ролика становить 200 мм/с.

У клітці є відкриті лежанки, перевантаження роликів здійснюється за допомогою касети з краном. Регулювання роликів здійснюється безпосередньо в сепараторі.

Розвантажувальний рольганг розташований за робочим рольгангом затискної станції, має довжину 8400 мм і використовується для транспортування ножиць з прокаткою до 900 тонн. Він складається з 8 рулонів з кроком 1200 мм. Ролики мають окружну швидкість 1÷4 м/с і приводяться в рух одиночними електродвигунами ДП-32 (P=12 кВт).

Навантажувальні баржі, встановлені за 900-тонними ножицями, призначені для передачі кочення після різання частини головки на лінію заготівельної станції.

Вантажні баржі складаються з п'яти баржевих колій з баржевими візками і тросами з ходом 2400 мм (5х2400 = 1200 мм). Візки мають хід 8600 мм при швидкості 1,2 м/с. Баржі приводяться в рух електродвигуном МТВ-611-10 (Р = 45 кВт) через редуктор і загальний приводний вал. Загальна довжина буксирного поля становить 14000 мм.

Подвійний роликовий конвеєр розташований на баржевому полі лінії штампування, він має довжину 15600 мм і складається з 13 і 14 роликів. Ролики обертаються зі швидкістю 3,7 м/с і 5,22 м/с від окремих електродвигунів АП73-12 (Р = 3,5 кВт) і АР73-10 (Р = 5 кВт). Довжина роликового барабана становить 700 мм і 1500 мм. Діаметр всіх роликів становить 350 мм, Крок 600 мм.

Рольганг перед стійкою заготовки має загальну довжину 16040 мм. Він складається з 15 роликів з кроком 1035, 1100, 1200 мм. Роликовий привід від одиночних електродвигунів ДП-32 (Р=12 кВт). Окружна швидкість роликів становить 1÷5,5 м/с. Діаметр роликового барабана – 380 мм, довжина – 2400 мм.

Непарний рольганг розташований перед заготівлею роликового конвеєра і призначений для роботи при прокатці рулонів довжиною понад 15÷16 м.

Довжина рольганга – 14400 мм, діаметр роликового барабана – 380 мм, довжина – 2400 мм.

Розподільний рольганг розташований в лінії стійок для заготовок за подвійним роликовим конвеєром, його довжина становить 61200 мм. Розподільний стіл складається з 2 секцій: перша секція має довжину 23700 мм з

20 роликами, розташованими в передній частині поля баржі і має швидкість руху котків 5,22 м/с.

Привід від від електродвигунів з індивідуальним приводом (Р = 5 кВт); Ділянка довжиною 37500 мм з 32 роликами, розміщеними на баржевому полі, має швидкість ролика 3,71 м/с.

Привід здійснюється одиночними електродвигунами Р = 3,5 кВт.

Відстань між роликами обох секцій – 1200 мм, діаметр – 350 мм, а довжина ствола – 600 мм.

Вантажні баржі, розташовані за ножицями вантажопідйомністю 1250 тонн, складаються з правої і лівої баржі і призначені для переміщення ріжучих роликів з розподільного ролика на праві або ліві ножиці вантажопідйомністю 1250 тонн.

Ширина баржевого поля – 35200 мм, хід баржі – 2400 × 14 = 33600 мм, хід візка баржі – 10580 мм, при швидкості 1,2 м/с.

Привід здійснюється приводним валом і редуктором від електродвигуна змінного струму (Р=45кВт, р=576 об/хв).

Відстань від поля буксирування до осі заготовки становить 65000 мм.

Рольганги перед ножицями з силою різання 1250 т призначені для подачі роликів на ножиці.

Рольганги приводяться в рух електродвигунами групами через косозубой і косозубой передачі.

Технічні характеристики (для одного рольганга):

- кількість рулонів, 3 шт.;
- діаметр роликового барабана, 350 мм;
- Довжина роликового барабана, 600 мм;
- крок рулону, 700 мм;
- Окружна швидкість роликів, 3,7 м/с;
- приводний електродвигун ДП-42 потужністю 21 кВт;

Ролики рольгангових конвеєрів нероз'ємні, що обертаються в підшипниках кочення. Рольганг оснащений дощатою підлогою.

Рухомий рольганг з висувними ножицями вантажопідйомністю 1250 тонн встановлений позаду ножиць (з боку робочої станції) і призначений для скидання кромок і зразків в жолоб під рольгангом.

Специфікації:

- кількість рулонів, 8 шт.;
- Діаметр роликового циліндра, 350 мм;
- довжина роликового стовбура, 660 мм;
- Окружна швидкість роликів, 3,71 м/с;
- електродвигун рольганга ДП-62 потужністю 64 кВт;
- електродвигун руху рольганга МТМ-411 потужністю 16 кВт;
- хід руху рольганга, 500 мм.

Рольганг згрупований 2-ступінчастою косозубой коробкою передач для конічних шестерень. Ролики ролетів мають водяне охолодження. Розміри основної кромки злитків відкритої дугової плавки обчислюються з номінальної ваги злитків при номінальній висоті прибитої засипки.

Для того щоб забезпечити точність різання вимірюваних довжин, існують допуски на усадку при охолодженні металу.

При вальцюванні литників в кінцевий профіль на першій станції, не знімаючи країв головки і нижніх частин литника в проміжному профілі на пресі з силою 900 т, обрізки видаляють в готовому профілі на ножицях із зусиллям 1250 т або пилках.

Гарячі ножиці 900 т з нижньою виїмкою призначені для торцювання і зачистки прибуткової частини злитка, а при необхідності при прокатці твердих марок сталі - для різання розплутаної перед прокаткою нижньої частини на порожньому затиску. Ножиці розташовані на лінії затискної станції на відстані 19700мм від осі держави. Ножиці приводяться в рух 2 електродвигунами через

редуктор. Потужність кожного мотора – 280 кВт, швидкість обертання – 700÷1400 об/хв. Кількість різів в хвилину на першій швидкості - 6, на другій швидкості -11. Максимальним поперечним перерізом різу є квадрат діаметром 300 мм при перших оборотах при температурі металу не менше 800 ºС.

Специфікації:

– отвір для ножа, 385 мм;

– довжина ножа, 1000 мм;

– Висота верхнього ножа над краєм рольганга, 350 мм.

Ножиці масою 900 т оснащені ножовим тримером, самоскид приводиться в рух електродвигуном Д1-31 (P = 8,5 кВт).

Ножиці оснащені транспортером для збору брухту для збору країв. Транспортер для брухту має довжину 38600 мм і рухається по тунелю зі швидкістю 0,107 м/с.

Скребки в кількості 39 штук змонтовані на листових конвеєрних ланцюгах, на яких одночасно може розміщуватися до 7 тонн кромок. Транспортер, рухаючись по похилій площині, знімає кромку на спеціальному прольоті брухту і перекидає його через розвантажувальний жолоб в спеціальні ящики, які встановлюються на поворотну платформу діаметром 4600 мм. Вантажопідйомність поворотного столу – 40 т, швидкість руху – 0,06 м/с.

Ножиці складаються з наступних основних механізмів:

– ножиці;

– ножичний привід;

– Балансирний шпиндель.

Ножиці приводяться в рух 2 електродвигунами через косозубий редуктор і універсальний шпиндель, з'єднаний з ексцентриковим ножичним валом.

Ножиці типові, з нижнім вирізом, і являють собою два повзунка, що встановлюються в невелику ліжко відкритого типу. Верхній ролик встановлений на ексцентриковому валу і з'єднаний з віссю нижнього супорта 2 шатунами, які поглинають зусилля різання.

Верхній повзунок переміщається уздовж рейок ліжка, нижній повзунок переміщається уздовж рейок всередині верхнього повзунка.

Коли ножиці працюють, ножі охолоджуються водою. Ножиці на лицьовій стороні (при вальцюванні з тильного боку) забезпечені штовхачем відходів, який призначений для проштовхування заднього кінця ролика (під час прокатки переднього кінця) в жолоб системи збору брухту, а також подачі ролика на вимірювану довжину при відборі проб. Ножиці оснащені пристроєм для відбору проб міни. Кількість зразка 1-2 шт, час циклу 35 с.

Конвеєр для збору ножичного брухту призначений для збору обрізків у коробки.

Специфікації

- кількість ребер, що перевозяться за 1 годину – 49 тонн;
- вага транспортувальної кромки на горизонтальній ділянці, 4,7 т;
- швидкість руху стрічки, 0,105 м/с;
- кількість скребків, 21 шт.;
- хід скребка, 27х3000 мм;
- максимальна вага обрізки, 200 кг;
- Електродвигун приводу конвеєра МТ-52-8, 30 кВт.

На валу ведучих зірочок встановлений обертовий барабан, що передає шлам з похилої частини транспортера в розвантажувальний жолоб. Натяг ланцюга отримують за рахунок обважнення нижньої частини вигнутих ланцюгів скребком.

Сортамент сталеливарних заводів і марок сталі. На прокатному стані освоєні такі марки швидкорізальних сталей: R12M3DO10F3-МП, Р12МФ5-МП (ТУ 14-1-2998-80), R6M5DO5-МП, R12M3DO8F2-МП (ТУ 14-1-2804-79), Р6М5Ф3-МП (ТУ 14-1-2998-80), R12M3DO5F2-МП (ТУ 14-1-3343-82) і R9M4DO8-МП (ТУ 14-1-3408-82). Технічні умови на швидкорізальні порошкові сталі розроблені інститутом «УкрНДІспецсталь» і заводом «Дніпроспецсталь»

на підставі результатів випробувань якості металу, виробленого в лабораторних умовах з урахуванням досвіду зарубіжних компаній.

Доповнення вимог ДСТУ 19265-73 до швидкорізальних сталей традиційного способу виготовлення Технічні умови на порошкові сталі
Оцінюються такі показники якості металу:

– накопичення сульфідних включень, які з'являються в макроструктурі металу у вигляді місцевих розчинів шліфувальної поверхні. Дефект обумовлений виділенням сірки на поверхні частинок порошку в результаті високотемпературного процесу нагрівання (в технічних умовах такий вид дефекту називається «обробка сіркою»);

– неоднорідність макроструктури металу за рахунок поділу порошку на фракції в процесі наповнення і вібрації капсул (в технічних характеристиках дефект позначається як «шаруватість»);

– пористість мікроструктури металу, яка утворюється в результаті недостатнього додавання порошку або включення аргону всередину порошкової капсули в процесі гарячого газового пресування;

– Забруднювачами стали кисневі включення, що утворилися в результаті перерозподілу кисню по ділянці преса в процесі високотемпературного нагріву (в технічних умовах цей дефект позначається як «кисневе виведення»), а також інші неметалеві включення, що зустрічаються в звичайних сталях.

Технологічний процес металопрокату. Документом про прийом злитків зі сталевих заводів на прокатний стан є карта аналізу розплаву (видається експрес-лабораторією відповідного металургійного комбінату) з оцінкою відділу технічного контролю на відповідність металу від цієї теплоти вимогам необхідної нормативної документації.

Виплавлювальні злитки, за своїм хімічним складом відповідають графіку (наказу) виплавки і необхідної нормативної документації, використовуються для посадки в квітучу яму.

Доставка злитків для обігріву свердловин обтискної машини здійснюється залізничним транспортом.

Вимоги до технології заготівлі вказуються в переліку умов роботи, де вказується необхідний профіль, довжина, необхідність термічної обробки, стандарти або технічні умови на готовий виріб.

Для злитків, які вводяться в обтискну машину в гарячому стані, основними контрольованими параметрами є хімічний склад і температура. У разі холодних зливків основними контрольованими параметрами є хімічний склад і відповідність маркування даним аналітичної карти розплаву, а також якість поверхні вимогам технологічної інструкції.

Перед осіданням злитків інспектор відділу контролю якості перевіряє відповідність хімічного складу вимогам замовлення, температуру прилягання вимогам інструкції, відповідність місця розташування злитка схемі, наведеній на аналітичній карті плавлення, маркування та якість поверхні.

Контролер ОТК разом з нагрівачем визначає температуру поверхні злитків гарячої каструлі по кривих охолодження або по таблиці. Посадка злитків в опалювальні колодязі відбувається після отримання згоди інспектора з контролю якості.

Час посадки універсальних злитків не повинно перевищувати 15-25 хвилин. в залежності від марки сталі.

У холодну пору року (при температурі нижче -10°С) холодні садові злитки витримують в прольоті опалювальних колодязів не менше 24 годин, а потім висаджують в опалювальні колодязі.

Гарячі і холодні злитки рослин нагрівають перед накочуванням в колодязях регенеративного обігріву.

У затоці є 12 груп свердловин. Кожна група люків складається з двох осередків розмірами 5,54х4,65х3 м.

Свердловини опалюються коксовою сумішшю з додаванням природного газу.

Для спалювання газу кожна камера оснащена газовим пальником посередині печі, двома рекуператорами, розташованими з двох протилежних сторін осередку. Керамічні рекуператори загальною площею 270 м2 використовують тепло димових газів при температурі близько 1100-1250 ° С. Свердловини обладнані контрольно-вимірювальною апаратурою.

Вага клітини в одній клітці не повинен перевищувати 80 тонн.
Кількість злитків, що нагріваються в одній камері, 8 шт. В одній камері можна нагрівати злитки не більше трьох груп марок сталі, що відповідають режиму нагріву. При розміщенні в осередку сталевих злитків з різних груп нагрів здійснюється за режимом для сталі, який відрізняється більш повільним підйомом температури, більш низькою температурою і меншим часом розпаду.

Після дозування таких злитків злитки з інших груп нагріваються з максимальною швидкістю до певної температури.

На посадковій дошці з нагрівачем записуються: кількість плавок, марки сталі, кількість злитків, час початку і закінчення посадки, температура злитків і осередків при посадці, схема посадки злитків. Водій контролю якості вносить аналогічні дані в спеціальний бортовий журнал.

Необхідна температура металу виставляється термостатом на потенціометрі.

Налаштування температури змінюється під час нагрівання металу в залежності від режиму для відповідної марки сталі. Допустимі відхилення від заданих температур – плюс 10 °С, мінус 20 °С. Температуру в свердловинах перевіряють контрольним оптичним пірометром через 20 хвилин впливу заданої температури і тиску для цієї камери, з обов'язковою первинною перевіркою правильності роботи потенціометра.

В умовах тривалістю до 2 годин температура ослабленої клітини злитка знижується на 100 ° С, при простої більше 2 годин - мінімум на 200 ° С.

Після закінчення упору вони нагріваються до лежачої температури, скручуються і злитки випускають для прокатки.

Злитки оформляються рівномірно таким чином, щоб у них не було боргів перед державою.

Подача нагрітих злитків до стану здійснюється за допомогою злитка.

Прокатка злитків відбувається на квітучій «1050», що представляє собою пресовий дует - оборотний стан лінійного типу, що складається з двох станцій: затискної станції (діаметр ролика 1050 мм) і напівфабрикату (діаметр рулону 950 мм). Кожна клітка оснащена 2 моторами потужністю 3500 кВт. Держава була створена в 1955 році, а реставраційні роботи проводилися в 1966 і 1998 роках.

Залежно від розподілу ваги марки сталі злиток затискається до потрібного перетину в 15-25 проходів. Переведення планки з калібру в калібр здійснюється маніпуляторами, лінійками спереду і ззаду. Ролик вистилається під кутом 90° за допомогою самоскида в передній частині стійки (кріпиться на лівій лінійці маніпулятора).

Від затискної станції рулон надходить на ножиці масою 900 тонн, де формується економічна частина.

Квадратна заготовка з перетином понад 170 мм і діаметром сплаву понад 275 мм виходить на затискному стенді.

При прокатці круглих марок діаметром 130-275 мм і напівфабрикатів квадратного перетину 100-160 мм рулон після зняття рентабельної частини на ножицях масою 900 т передається каретками на рольганг лінії напівфабрикатів.

На квадратній заготівлі виходить напівфабрикат в квадратно-овальному і овально-круглому розташуванні, за 2-4 проходи виходить прокат з круглим перетином діаметром 160-275 мм, а на 4-6 проходах в квадратно-ромбово-овально-круглому розташуванні виходить прокат діаметром 130-150 мм.

Квадрат 100-160 мм для сортових станів розкочують в заготовку за схемою ромб-квадрат в 4-6 проходів.

Метал ріжеться на необхідну довжину за допомогою 1250-тонних ножиць або роторних пилок. Тут теж беруться зразки для проведення необхідних аналізів.

Обрізки з ножиць вантажопідйомністю 900 т, 1250 т і інших пилок після розмітки по жолобу подаються на вихідний транспортер в ящиках, встановлених на обертовій платформі.

Напівфабрикати і обрізані до потрібної довжини довгі вироби маркуються і закидаються в кишеню. З кишень, за допомогою кранів, метал перевозиться, в залежності від технології і вимог замовлення, на повільно охолоджуючі ями, платформи або завантажується у вагони.

Охолодження металу після прокатки відбувається, в залежності від марки сталі, або в неопалюваних свердловинах (кар'єрах) уповільненого охолодження, або на повітрі. У прольоті млина є 18 свердловин для охолодження заготовок і 19 свердловин для охолодження сортового прокату.

Розміри робочого простору свердловини:

– для заготовок 5000х5000х2000 мм;
– для сортового прокату 7000х2500х2000 мм.

Температура металу при завантаженні в повільно остигаючу свердловину повинна бути не менше 700°С. Температуру металу вимірюють портативною термопарою через 20 хвилин після завершення зарядки, подальші вимірювання проводять кожні 4 години. Залежно від марки сталі час охолодження може становити від 36 до 92 годин.

Після охолодження метал відправляється на суд, а метал, що вимагає термічної обробки, відповідно до наказу відправляється не пізніше обумовленого часу в ванну.

Травлення металу проводиться для видалення окалини і виявлення поверхневих дефектів. Травильне відділення для сортових млинів складається з 2 ліній.

Кожна лінія є самостійною одиницею, управління лініями здійснюється з станції управління, навантаження і розвантаження здійснюється кранами. Лінія призначена для маринування напівфабрикатів довжиною 1250-3900 мм з максимальним перетином 200х200 мм.

Максимальна вантажопідйомність однієї лінії становить 70 тонн. Середній час перетравлення за один кадр становить 15-20 хвилин.

Кошики пересаджують з ванни в ванну. Кожна лінія має по 6 ванн. Максимальна місткість однієї ванни становить 11 м3.

Ванни облицьовані кислотостійкою цеглою. Температура розчину у ваннах 55-95°С.

Травильний відділ асортименту складається з 3 травильних ванн, однієї мийної ванни та однієї нейтралізуючої ванни. Розміри ванн складають 6,5х1,4х2,2 м.

Травлення металу проводиться за режимами для марок сталі, зазначеними в інструкції. Концентрація кислоти і контроль якості протравленого металу проводиться відповідно до вимог інструкції.

Природний газ на прокатному стані споживається печами камерного обігріву, ККД яких досить низький, тому розробка і впровадження нових науково-технічних заходів в цьому напрямку є першочерговим.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КАМЕРНОЇ ПЕЧІ

2.1 Загальні відомості про ефективність камерних печей

Більшість термічних і нагрівальних печей призначені для нагріву металевих виробів перед безпосереднім куванням, прокаткою і штампуванням. Це покращує структуру самого металу, а також надає готовому виробу міцність, зносостійкість, твердість, ударну в'язкість.

На даний момент існує безліч класифікацій промислових печей, одна з яких поділяє їх за такими критеріями:

– за рахунок джерела теплової енергії - полум'я і електроплити;

– за технологічним призначенням – термічні, сушильні, нагрівальні, плавильні, випалювальні, вальцювальні печі та ін .;

– в робочому режимі – періодична і безперервна робота;

– відповідно до конструктивних особливостей робочого приміщення (камери) – методичні, тунельні, прохідні, камерні з висувною і поворотною піччю;

– за способом використання теплової енергії продуктів згоряння – регенеративної та регенеративної.

Процес термічної обробки включає в себе:

– нагрівання до заданої температури за допомогою спеціалізованих нагрівальних приладів;

– вплив температури протягом певного періоду часу;

– подальше охолодження на високій швидкості.

Найбільш поширеними методами термічної обробки в промислових печах є загартування, нормалізація, цементація, відпустка і відпал.

Камерні печі широко використовуються для термічної обробки матеріалів. Камерні печі - це загальна назва певної групи промислових печей, які

використовуються для термічної обробки матеріалів (речовин) зі скла і металу, а також

також для випалу керамічних виробів.

За своєю конструкцією вони поділяються на:

– вертикальна піч;
– добре прогріватися;
– дзвініця;
– камерні печі з висувною топкою і стаціонарною піччю;
– ямна піч та інші.

Камерні печі обігріваються газом або рідким паливом. ККД таких печей досить високий, саме тому вони користуються популярністю у виробництві.

Одним з видів промислових печей, в яких використовуються рухомі частини, також є роликова піч, яка складається з великої кількості обертових роликів.

Камерна піч - це піч однакової довжини, ширини і висоти робочого простору і однакової температури у всіх своїх точках, призначена для нагрівання або термічної обробки матеріалів. Типовим представником печі камерного опалення є опалювальний колодязь. Одне з основних відмінностей режимів нагріву від режимів термічної обробки в печах аналогічної конструкції полягає в тому, що в термічних печах часто реалізується режим із заданим законом зміни температури металевої поверхні. На практиці такий режим підтримувати набагато складніше, тому він полягає в постійному регулюванні температури атмосфери печі в динаміці.

Перевагою камерних печей є їх універсальність в створенні різноманітних температурних і часових режимів. Недоліки:

1) високі тепловтрати на стінці батареї при періодичних навантаженнях - металевих розрядах;

2) печі не відповідають вимогам діючого виробництва.

Тому камерні печі використовуються там, де не можна використовувати печі безперервної дії, наприклад, у складних режимах термічної обробки, таких як відпал.

Слід звернути увагу на специфіку роботи пальників в термокамері
По-перше, в робочій зоні спостерігаються низькі робочі температури , які знаходяться на рівні температури займання палива і нижче. Тому, щоб забезпечити стабільну роботу пальників, їх необхідно оснастити запальниками (частіше електричними).

По-друге, в камерній термічній печі значно змінюється теплова потужність, а значить і витрата палива (в 10-20 разів і більше). Під час опалювального сезону клітка працює від пальника. Тому пальники встановлюються або в пічних печах, або в камерних печах.

Камерні печі являють собою невеликі печі в бічних стінках для попереднього спалювання палива з коефіцієнтом витрати повітря 0,8. З цих печей дим подається в робоче приміщення за допомогою інжекторних пристроїв завдяки швидким повітряним струменям, що створює хорошу циркуляцію диму, яка омиває клітку по максимуму, а в період витримки може опускатися практично до нуля. Стандартні нагрівальні пальники печі дозволяють регулювати витрату газу в діапазоні 1:4. Тому на камерних термічних печах повинні встановлюватися спеціальні пальники з широким діапазоном регулювання (1:10, 1:20 і більше).

По-третє, в камерних термічних печах зазвичай неприпустимо запускати пальники безпосередньо в робочому просторі, що викликає нерівномірний нагрів. [8]

Камерна піч, показана на рисунку 2.1, призначена для різних видів термічної обробки деталей і інструментів в разовому і дрібносерійному виробництві. Для завантаження і вивантаження деталей в цих печах використовуються монорейкові підвісні плоскогубці і завантажувальні машини. Повітря для горіння в цих печах нагрівається в теплообміннику. Якщо в печах використовується газ середнього тиску і газ спалюється в інжекційних

пальниках, повітря для згоряння нагрівається, а теплообмінник не встановлюється. Продукти згоряння виводяться під парасольку, а потім у вихлопну трубу. При роботі з нормальною пічною атмосферою (окисленням) печі мають максимальну температуру 1150 °С. Іноді виготовляють печі з регульованою атмосферою (захисні печі). Максимальна температура нагріву в таких печах досягає 950°С.



Рисунок 2.1 - Камерна піч

Камерні печі, що працюють тільки на газоподібному паливі, мають менші розміри, ніж на мазуті, оскільки не мають топкового простору або камери згоряння, зазвичай розташованої під піччю печі.

Піч з кульковим валом 940х1510 мм використовується для нагріву великих ковальських штампів і для цементації, як показано на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 - Одноразова камерна піч з кульковою піччю

Піч обладнана тунельними інжекторними пальниками. Піч має чотири напрямні паза, в яких містяться термостійкі сталеві кульки, які використовуються для полегшення переміщення піддонів з матрицями або цементувальними ящиками. Піддони укладають на кульки і закочують в духовку. Продуктивність такої печі при цементації становить 25 кг, або після нагрівання до загартування 150 кг/год.

Затребуваність камерних печей обумовлена в першу чергу їх широким застосуванням в різних галузях промисловості. У камерних печах перед їх подальшою обробкою нагрівають металеві форми і заготовки, такі як кування або прокатка, декоративні вироби зі скла і металу для декору, а також для випалу глини, кераміки і кінцевої термічної обробки предметів і емальованих виробів.

Відмінності печей з газовою камерою залежать від продуктів, які вони переробляють. У металообробці використовується більш важка і міцна конструкція, що запобігає деформації і механічним пошкодженням при частому навантаженні і розвантаженні сильно оброблених виробів. Також конструкція печі дозволяє уникнути теплового удару, а також швидко відновити температуру всередині, адже перезапуск відбувається під час роботи камери.

Камерні печі для випалу керамічних або скляних предметів оснащуються більш легкими конструкціями. При виготовленні таких печей використовуються легкі матеріали, так як процес випалу відбувається в більш м'якому тепловому режимі, а повторний запуск клітки відбувається при відносно низьких температурах.

Для економічно вигідного виробництва, в залежності від потреб галузі, використовуються печі з різним об'ємом камери від 0,25 м3 до 5,25 м3. При збільшених обсягах виробництва використовуються печі об'ємом до 10 м3.

Ще більші камерні печі призначені для відпалу і нормалізації деталей. Такі печі часто конструюються з висувним подом. Виливки або поковки завантажуються так, щоб більш важкі знаходилися внизу, а більш легкі - вгорі, щоб уникнути деформації. Деталі укладають на підлогу з урахуванням найбільш сприятливої циркуляції пічних газів. Під піччю розташована облицьована висувна візок на колесах з роликовими підшипниками, яка переміщається по рейках за допомогою підключеного до неї електродвигуна.

Відмінною відмінністю більшості таких печей від розглянутих вище камерних печей є те, що через їх конструкцію вогнище не можна розмістити під вогнищем, тому підлога не нагрівається знизу.

Печі працюють на мазуті, газі, а іноді і на електриці. Згоряння палива в цих печах відбувається в робочій камері. Для кращого нагріву деталей сопло або пальник розміщують вище рівня печі, деталі нагріваються в результаті випромінювання стін і стелі, плити, а також конвекції гарячих газів. Обігрів

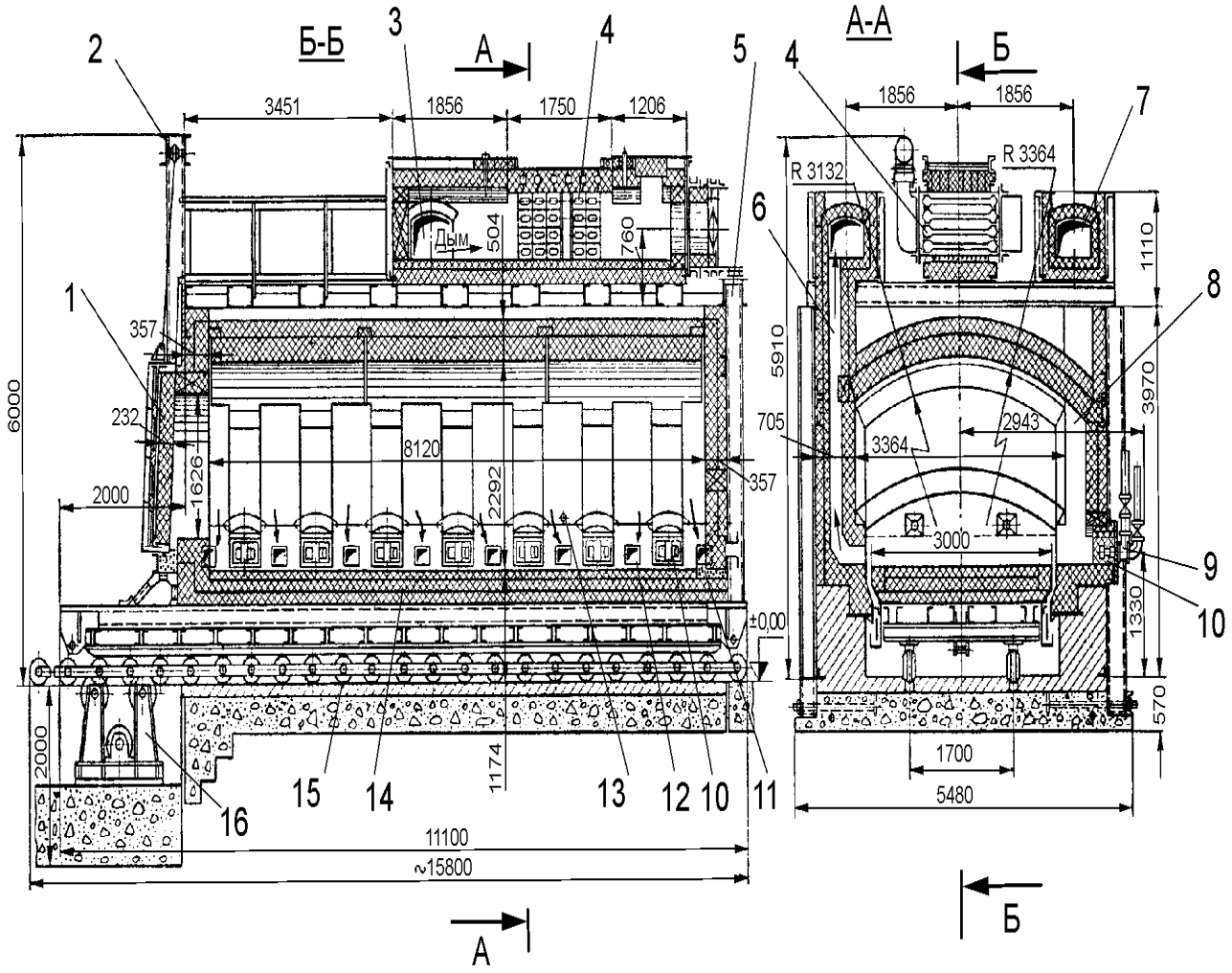
обойми, розташованої безпосередньо на пічному подові, відстає від обігріву її верхніх рядів.

Висувна піч - це піч, в якій метал завантажується і вивантажується цеховим краном на вогнище і валиться щодо стінок і стелі печі. Дана піч використовується в тих випадках, коли маса клітини велика і має складну «архітектуру», наприклад, клітка складається з декількох шарів.

Приклад печі з вогнищем візка показаний на рисунку 2.3. Духова шафа працює наступним чином. В опалювальній порожній печі заслінка піднімається вгору і вогнище, спираючись на ролики, скочується на поміст перед піччю. Часто замість роликів використовуються колеса, які кріпляться до рами печі і переміщаються по спеціально влаштованим рейках.

За допомогою крана на відкачаної печі в певному порядку розміщують металеву клітку. За цей час пальники не працюють, а стіни і склепіння інтенсивно віддають тепло за допомогою випромінювання в те місце, де тільки що стояла западина. Тому місце для вогнищ має бути теплоізольованим. Після того як вся обойма завантажена, топка відкочується назад, заслінка закривається і включаються пальники. Конфорки розташовані в нижній частині бічних стінок). Найчастіше пальники розташовуються в два ряди, а спалювання палива практикується в форкамері.

В даному прикладі камені пальника підібрані таким чином, щоб вони утворювали факел під певним кутом до стіни для забезпечення інтенсивної циркуляції диму і максимальної рівномірності прогріву клітки. Відведення продуктів згоряння з робочого місця здійснюється через димові вікна в бічних стінках. В даному прикладі є 16 каналів, по 8 в кожній стіні. Дим проходить через піднімаються димоходи і потрапляє в збірні канали, розташовані уздовж стінок печі над стелею. З водозбірних каналів дим надходить в загальний канал, де розташований повітронагрівач. Охолоджений в теплообміннику дим направляється в димохід і виводиться в атмосферу без очищення.



1 - дросельна заслінка; 2 - механізм підйому амортизатора; 3 - димохід для підключення колективних повітропроводів; 4 - теплообмінник; 5 - металева рама; 6 - піднімається димохід; 7 - збірні повітроводи, розміщені уздовж стін над склепінням; 8 - робоче місце печі; 9 - пальник; 10 - камінь для пальника; 11 - піщані жалюзі; 12 - димові вікна; 13 - отвір термопари; 14 - під; 15 - ролики (ролики, колеса); 16 – механізм руху вогнища.

Рисунок 2.3 – Камерна піч з висувною подиною

Управління процесом здійснюється за допомогою термопар, що вставляються через спеціально призначені отвори в стінах. Кількість оглядових і робочих вікон обмежена однією заслінкою, закритою в нормальному стані.

Газонепроникність печі забезпечується системою пісочних клапанів, які встановлюються між топкою і всіма стінками, а також між плитою і заслінкою.

Застосування камерних печей з висувною піччю дозволяє поліпшити процес випалу або інших видів термічної обробки. Головною перевагою такого обладнання є комфортний процес завантаження або розвантаження печі, що значно знижує фізичні зусилля обслуговуючого персоналу. Вивантаження самої підлоги за межі печі дозволяє використовувати вантажопідйомне обладнання. Швидкість повторного запуску печі швидко збільшується, що призводить до зниження споживання енергії. Крім того, з'являється можливість використовувати кілька висувних підпунктів. При обробці однієї партії продуктів в печі інша завантажується на додатковий висувний мішок. Всі переваги використання печі з викатною піччю дозволяють досягти економічного ефекту у вигляді економії палива до 20-25%, а ККД збільшується в 1,8-2,4 рази.

2.2 Характеристика термічної печі на прокатному стані ПрАТ «Дніпроспецсталь»

Для відпустки і відпалу металу на прокатному стані застосовують п'ять термічних печей з висувною піччю.

Термічна піч являє собою камеру шириною 3596 мм і довжиною 8000 мм. Завантаження і вивантаження металу здійснюється за допомогою крана на под, який викочується по відношенню до стін і стелі печі, площею 28 м2. Доменна піч на природному газі з теплотворною здатністю +1600 ккал/м3. Паливо спалюється в пальниках 8 труба в трубі. Пальники розташовані нижче рівня топки один навпроти одного, по 4 конфорки з кожного боку. Продукти згоряння видаляються з печі шістьма вікнами, розташованими нижче рівня печі посередині і в торцях робочого простору печі, потім по вертикальних каналах продукти згоряння направляються вниз в загальні димоходи під піччю, а потім в димохід, розташований поруч з піччю. Подача повітря для горіння здійснюється вентилятором високого тиску.

Піч обладнана системою контролю та регулювання технологічних параметрів:

– контроль температури в робочому просторі печі;
– контроль подачі газу в піч;
– контроль надходження повітря в топку;
– контроль тиску в робочому просторі печі;
– контроль тиску газу;
– дистанційне регулювання температури в робочому просторі печі;
– дистанційне регулювання тиску в робочому просторі печі;
– дистанційне регулювання співвідношення газ/повітря
– подача сигналізації про наявність напруги в ланцюзі сигналізації;
– сигналізація падіння тиску газу, сигналізація падіння тиску повітря;
– моніторинг витрат матеріалів – контроль подачі сировини, повітря або пального для забезпечення ефективного горіння;
– автоматизація процесів – програмовані режими роботи для різних матеріалів і технологічних умов;
– аварійне перекриття газу.

Загальні технічні характеристики печі наведені в таблиці 2.1, а робочі показники печі представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 - Загальні технічні характеристики печі

Без п/п	Ім'я	Одиниці	Показників
1	2	3	4
1.	Призначення печі	-	Термічна обробка
2.	Корисна площа печі	м2 площі	28
3.	Потужність печі	тонн/рік	2-6

Продовження таблиці 2.1

1	2			3	4
4.	Теплова потужність			млн ккал/цикл	30-40
5.	Паливо			-	Природний газ
6.	Продукти з підігрівом	Вимір	Довжина секції	Міліметрів Міліметрів	1300 – 3900 130 - 285
7.			Вага заготовок	Історія хвороби	120 - 1000
8.		Сталь з нагрівом		-	Інструмент з шипами з нержавіючої сталі
9.		Вага сепараторів (згідно проекту)		Т	60
10.	Температура нагріву металу	Вагітна		°З	20 - 400
11.		При застосуванні		°З	600 - 900
12.	Спосіб нагріву			-	Відкрите опалення з продуктами згоряння
13.	Тип транспортування печі			-	Vicate Pod
14.	Витяги			рік	10-36

Таблиця 2.2 – Продуктивність печі

Ні з/	Ім'я	Одиниці	Показників
1	2	3	4
1.	Потужність печі	г/рік	6,08
2.	Правильна продуктивність печі	кг/м^{2}рік	2171
3.	Витрата палива матеріалу (в середньому за годину)	Нм^3/рік	2000

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
4.	Витрата тепла	10^6 ккал/рік	39,3
5.	Питома витрата тепла	ккал/кг	646
6.	Питома витрата еквівалентного палива	кг у.т./т	96
7.	Тепловий ККД печі	%	17,90
8.	Коефіцієнт використання палива (кВт)	%	32,50
9.	Чадний газ металу в печі	%	2,0

Для зниження витрати палива можна порекомендувати наступні дії:

– Модернізація системи опалення для збільшення циркуляції диму, швидкого і рівномірного нагріву металу. Мається на увазі використання спеціальних форкамер, пальників, повітряних форсунок, а також їх кількість і розташування;

– під час розробки вогнища, прикриття оголеного простору під підлогою екраном у вигляді світловідбиваючої фольги, що налипає на задній торець печі;

– Поділ функцій нагріву та утримання між різними печами, з перенесенням осередків з однієї печі в іншу під час роботи, завдяки чому печі працюють на постійній потужності;

– застосування волокнистих теплоізоляційних матеріалів в стінці печі;

– використання регенеративних пальників з кульковою насадкою;

– Використання кількісного визначення енергетичної ефективності камерних печей з висувною піччю.

– Застосування імпульсної системи нагріву для камерної печі.

2.3 Використання кількісного визначення енергетичної ефективності камерних печей зі знижувальною піччю

Для того щоб вирішити проблеми, пов'язані з енергоефективністю опалення газових плит, необхідно знати відносний розподіл температурного поля в камері і вміти виявляти зони з різною щільністю теплової енергії. Цю інформацію можна отримати за допомогою математичної моделі [6], яка явно включає в себе як енергетичні характеристики, так і конструктивні параметри об'єкта.

Для математичної моделі вихідними даними є: режими термічної обробки в камерній печі з виносною піччю - відпал, відпустка, загартування; розміри нагрівальних металевих заготовок - довжина, ширина і товщина; вага і якість останніх; Вид палива – природний газ з теплотворною здатністю.

Розподіл температури розраховується чисельним методом і з використанням відомої інженерної методики. Останнє дозволило врахувати різні варіанти обігріву і зміни аеродинамічних параметрів печі (габарити і розташування витяжних вікон в ній).

Розрахунки проводяться в наступному порядку: тепловіддача в робочому просторі печі протягом опалювального сезону; нагрівання металу; теплообмін в робочому просторі печі в період охолодження; охолодження металу; Складання теплового балансу опалення та періоди їх підтримання.

У випадку з камерними печами особливість розрахунку теплопередачі випромінюванням полягає в тому, що стінка в них не адіабатична, а поглинає або віддає тепло. Він охолоджується при навантаженні і посадці холодного металу, тому в перший опалювальний період є значним споживачем тепла і сильно коливається по температурі від адіабатичного до прогріву кладки з часом.

2.4 Застосування імпульсної системи нагріву

На ПрАТ «Дніпроспецсталь» великогабаритні злитки з високосортних сталей, отриманих шляхом електрошлакової виплавки, відпалюються в рециркуляційних печах з візковим подом відповідно до складними багатоступінчастими температурними і часовими режимами [7]. У печах односпрямований обертальний рух потоків димових газів відбувається навколо сепаратора злитків по всій довжині робочого об'єму

Тому пальники РНП-3 були замінені на розроблені на їх основі пальники для часткового попереднього змішування палива і повітря [8]. Наявність нерівномірного нагріву поковок обумовлено існуючою схемою нагріву камери печі полум'ям. Таким чином, пальники РНП забезпечують згоряння палива в факелах, які розташовані в першій половині робочого об'єму печі. На стадії старіння металу в печі зниження витрати палива супроводжується подальшим зменшенням довжини пальника, в результаті чого зона інтенсивного виділення тепла зміщується до виходу пальника, що призводить до нерівномірного розподілу теплових потоків по поверхні металу.

Дослідження теплової роботи камерних печей цього типу за допомогою математичного моделювання [9] дозволили визначити, що збільшення рівномірності нагріву металу в період експозиції може бути досягнуто за рахунок використання імпульсної схеми нагріву. Однак надійна робота пальників РНП, встановлених на цих печах, досягається тільки в діапазоні регулювання теплопередачі 1:8 і значеннях коефіцієнта витрати повітря α = 1,05... 1,15 [10], чого практично неможливо досягти при поступовій зміні витрати палива або співвідношення паливно-повітряного балансу.

З метою розширення діапазонів зміни теплопередачі і коефіцієнта витрати повітря була розроблена ще одна конструкція пальника з частковим попереднім змішуванням [11].

Пальник, показаний на рисунку 2.4, складається з корпусу 1 з завитком 2, центральної газової трубки 3 з наконечником 4, в якій виконані отвори 5, і перегородки 6 з отворами 7 і перегородками 8. На центральній осі газопроводу 3, співвісно з нею, розташована внутрішня газова труба 9, вихідний перетин якої розташований в площині вихідного ділянки клеми 4. Перегородка 6 з отворами 7 розділяє потік паливного газу на окремі форсунки, біля яких утворюються зони вакууму.

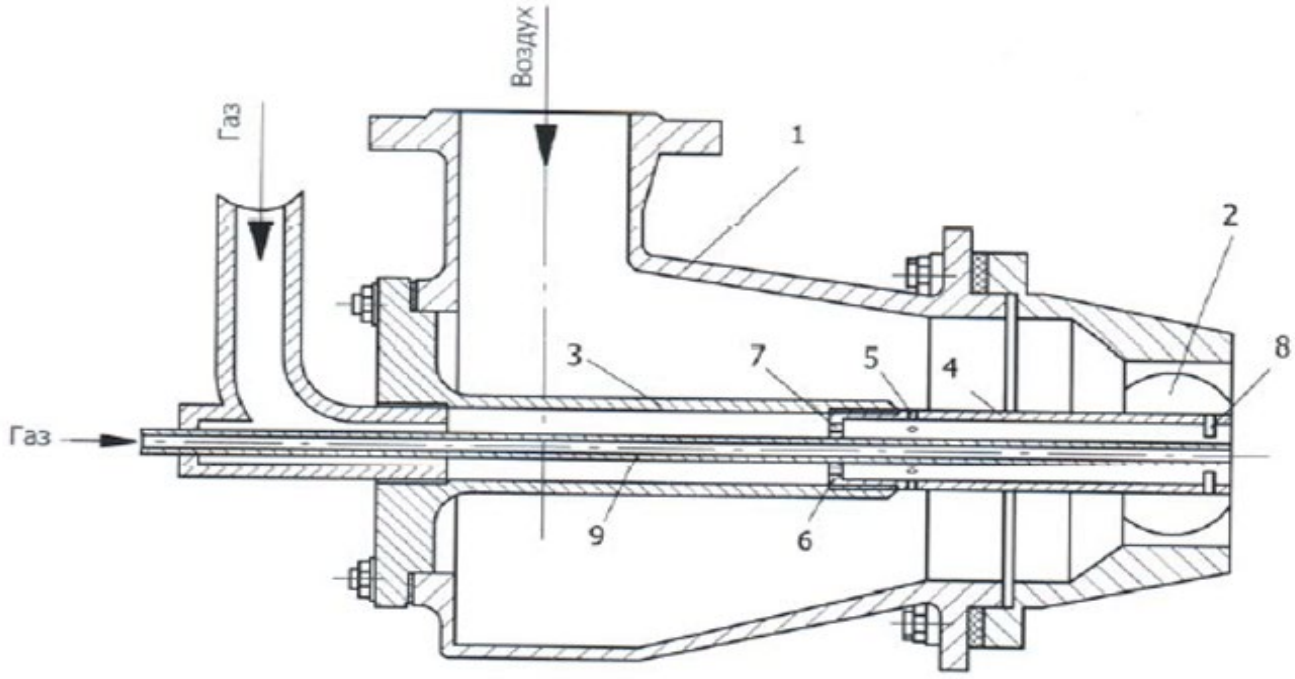


Рисунок 2.4 – Схема пальника з частковим попереднім перемішуванням

На станції випалювання стабільна робота пальників досягається за рахунок коефіцієнта витрати повітря в межах 1... 4, що вказує на високу стійкість їх пальників до відділення полум'я при роботі з малою витратою палива і дозволяє їм стабільно працювати при використанні імпульсної схеми нагріву.

Встановлено, що при імпульсній схемі нагріву печі перегріву досягається більш рівномірний розподіл температури в поковках за рахунок періодичної інтенсифікації теплообмінних процесів по всій робочій камері. Наявність імпульсного пальника з постійною максимально можливою довжиною сприяє підвищенню рівня температури металевої поверхні, що знаходиться в другій

половині робочого об'єму, по ходу руху продуктів згоряння (для кування II було зафіксовано майже двократне зменшення різниці між температурами поверхні і заданою температурою витримки). Також практично відсутній перегрів ковальської поверхні біля пальників. Таким чином, результати досліджень імпульсного контуру нагріву камери нагрівальної печі відповідають результатам математичного моделювання її теплової роботи [10].

При використанні пульсуючого контуру нагріву в печі камерного обігріву досягається підвищення рівня температури металу в другій половині його робочого об'єму в період обслуговування, і тим самим поліпшення якості його нагріву.

2.5 Управління тепловими потоками нетрадиційними способами

Основним показником роботи нагрівальних печей є їх ефективність за умови дотримання вимог до технології обробки матеріалу [12]. Енергоспоживання більшості газових опалювальних печей вітчизняних підприємств значно перевищує рівень, досягнутий в промислово розвинених країнах.

В установках, що вимагають спрямованої передачі тепла від продуктів згоряння до теплового інтерфейсу, якщо на ту чи іншу поверхню подати електричний потенціал, то тепловий потік буде прилягати до неї щільніше. Це пов'язано з тим, що наелектризовані частинки продуктів згоряння будуть наближатися до певної поверхні і утворювати біля неї високотемпературну зону, що призведе до збільшення швидкості нагріву. Тому механізм впливу електричного поля на поширення теплового потоку передбачає, що іони і електрони отримують достатню енергію поступального руху і в процесі непружних зіткнень один з одним і з поверхнею нагрівання створюють нові

активні центри у вигляді вільних атомів, радикалів, нових заряджених або збуджених частинок. В результаті такої взаємодії процес теплообміну інтенсифікується.

Існує значна кількість публікацій, присвячених впливу електричних полів на процес горіння [13-16], але з точки зору впливу електричних полів на теплові потоки це питання залишається відкритим і потребує подальших досліджень у цьому напрямку. Тому очевидно, що існує необхідність експериментального підтвердження можливості впливу електричного поля, бажано напругою до 1000 В, на тепловий потік з метою задоволення вимог електробезпеки.

Про те, що полум'я має електричні властивості, відомо дуже давно. Однак тільки в нашому столітті, коли була сформульована молекулярно-кінетична теорія речовини, стало ясно, що електричні властивості полум'я обумовлені наявністю в них заряджених частинок – іонів і електронів. Спочатку передбачалося, що іонізація полум'я термічна, тобто стимулюється відносно високими температурами, що виникають при горінні.

Однак ще в 1909 р Ф. Габер припустив, що іони в полум'ї утворюються в результаті хімічної іонізації в реакції за участю радикалів C_2, CH, OH. Вимірювання концентрації іонів в полум'ї різних вуглеводневих палив, проведені в 1950-х роках, показали, що в залежності від умов горіння і виду палива вона становить 10^{-10} - 10^{12} $см^{-3}$, тобто на 4-6 порядків вище концентрації що повинно спостерігатися при чисто тепловому іонізаційному механізмі.

Також передбачалося, що основним джерелом іонів можуть бути дрібнодисперсні частинки вуглецю з приблизно такою ж вихідною роботою, як графіт (4,35 кВ). Однак це малоймовірно з трьох причин. По-перше, навіть найбідніші полум'я характеризуються високим ступенем іонізації. По-друге, в дифузійному полум'ї максимальна концентрація заряду спостерігається у відносно холодній зоні попереднього перемішування, а не в гарячій верхній частині конуса, де відбувається утворення сажі. Нарешті, Калкотт підрахував, що навіть якби весь вуглець у паливі був у формі частинок зі швидкістю частинок

100 А, результуюча концентрація іонів все одно була б на два порядки нижчою, ніж спостережувалася.

Калкотт, аналізуючи праці різних авторів, присвячені утворенню іонів в полум'ї, дає характерний графік зміни концентрації іонів в зонах полум'я. Можна вважати встановленим фактом, що максимальна іонізація відповідає фронту полум'я, в якому протікають хімічні процеси і концентрація заряджених частинок різко знижується при попаданні продуктів згоряння в зону, хоча в цій зоні спостерігається максимальна температура. Співвідношення концентрацій іонів у цих зонах оцінюється в 1000:1 [17].

В огляді Г. Калкотта, опублікованому в 1957 році, були розглянуті різні можливі механізми утворення іонів в полум'ї і доведено, що саме механізм хемоіонізації відповідає за аномально високу концентрацію іонів в полум'ї. У цих процесах частинки піддаються хімічній перегрупуванню, під час якої виділяється достатньо енергії для іонізації одного з продуктів реакції. Передбачається, що в разі полум'я такий процес протікає як побічна реакція між частинками, що беруть участь в основній реакції горіння. З енергетичної точки зору можливе досить велике число реакцій, в яких в основному стані беруть участь дві частинки, або одна в початковому стані, а інша в збудженому. Таким чином, хемоіонізація, незалежно від того, виробляє вона збуджені частинки чи ні, вважається найбільш ймовірним джерелом іонізації полум'я.

Багато дослідів з електростатичними зондами показують, що в деяких язичках полум'я спостерігається підвищена температура електронів. Наприклад, в недавній роботі Бредлі і Метьюза, які використовували подвійні зонди при зниженому тиску, були виявлені температури до 30 000 К. Енгель і Козенс припустили, що ці електрони є джерелом іонізації в полум'ї, де виявляються підвищені температури електронів. Дійсно, немає сумнівів, що електрони при температурах порядку 30 000 К викличуть іонізацію з великими швидкостями. У цих полум'ях відбувається не тільки хемоіонізація, а й утворюється значна кількість іонів O_{2+}, що може відбуватися в присутності електронів при підвищених температурах. Передбачається, що останні з'являються в результаті

взаємодії зі збудженими молекулами CO_2, які в свою чергу утворюються при рекомбінації молекул чадного газу з атомарним киснем.

Однак підвищені електронні температури виявлялися не у всіх полум'ях при посиленій іонізації. Крім того, при зміні швидкості утворення іонів виходили плоскі плато, відповідні струму насичення при атмосферному тиску в широкому діапазоні прикладених напруг. При цьому напруженість поля в зоні горіння була порядку кВ/см, тому цього було достатньо для значного підвищення температури електронів. Звідси випливає висновок, що в різному полум'ї важливу роль можуть відігравати різні механізми.

В даний час експериментальні дані вказують на те, що найбільш вірогідним механізмом є хемоіонізація, і передбачається, що можуть відбуватися тільки екзотермічні або слабоендотермічні реакції. Були запропоновані два термохімічно корисних механізму:

$$CH+OXC \rightarrow ++E^-,$$
$$CH(A_2\Delta) + C_2H_2 \rightarrow C_3H_3{+}{+}e^- \qquad (2.1)$$

Інтерес до електрофізичних аспектів горіння почав швидко зростати з кінця 1950-х років, коли стало зрозуміло, що традиційні методи контролю і контролю процесу горіння в значній мірі вичерпали себе. Нова експериментальна база дозволила відносно швидко отримати ряд даних, що проливають світло на процеси утворення іонів в полум'ї, але питання про
Роль заряджених частинок в процесі горіння залишається нерозкритою.

Експериментально встановлено, що в полум'ї [18, 13] відбувається поділ зарядів, причому позитивний об'ємний заряд зосереджений в зоні реакції (в фронті полум'я), а негативний - в зоні попереднього полум'я, яку ми будемо називати зоною підготовки [19]. Передбачається, що поділ зарядів відбувається за рахунок амбіполярної дифузії [20]. Носіями негативного заряду в полум'ї є електрони і негативні іони.

Стаціонарне однорідне полум'я - це система, яка має в загальному випадку нейтральний заряд. Однак в самому ламінарному полум'ї заряджені частинки розподілені нерівномірно: реакційна зона і зовнішній конус в основному позитивні, а внутрішній конус в основному негативні. Таке поділ зарядів з різними назвами обумовлено різною рухливістю позитивних іонів і негативних частинок (електронів) і побічно підтверджує, що джерелом заряджених частинок є хімічна реакція, що протікає на фронті полум'я. Коли позитивні іони утворюються в результаті хімічної реакції, вони зазвичай виробляють позитивний заряд у місці їх утворення через свою малу рухливість, тоді як більш рухливі електрони, що утворюються в результаті тієї ж реакції, швидко залишають фронт полум'я і утворюють заряд у внутрішньому конусі з домінуванням негативу [21].

Наявність в полум'ї заряджених частинок в досить високих (в порівнянні з рівноважними) концентраціях закономірно призводить до висновку про можливість впливу на весь процес горіння за рахунок місцевого впливу на електрично заряджену складову, присутню в полум'ї. В принципі, такого електрофізичного ефекту можна досягти двома способами: шляхом застосування електричного, магнітного або комбінованого поля до полум'я, і шляхом введення в полум'я заряджених частинок ззовні.

Вперше широкі дослідження впливу електричних полів на горіння були проведені в роботах А. Е. Малиновського і його колег в 30-х роках XX століття. Вони виявили зміну швидкості згоряння і швидкості поширення полум'я в поздовжніх і поперечних електричних полях, причому в залежності від характеру полів, що перекриваються, спостерігалося як зменшення, так і збільшення цих параметрів. У ряді випадків швидкість горіння збільшувалася до десяти разів, була продемонстрована залежність впливу поля від тиску і частоти прикладеної зовнішньої напруги, а також була продемонстрована можливість гасіння полум'я електричним полем.

Зазвичай при розгляді впливу електричного поля на процеси згоряння для оцінки ступеня цього ефекту використовують диференціальний метод, тобто

визначається зміна будь-якої характеристики горіння в залежності від напруженості прикладеного поля, що присвоюється значенню цих параметрів при відсутності поля.

Таким чином, найбільш часто використовуваними характеристиками згоряння є: нормальна швидкість згоряння і швидкість поширення полум'я, межі стабілізації і критичні витрати на відмову, температура і ентальпія полум'я, концентрація збуджених частинок, іонів і радикалів, склад продуктів згоряння та інші.

Практично у всіх дослідженнях [17,22,23] констатується сильний вплив електричного поля на досліджувані характеристики згоряння, причому ступінь цього впливу залежить від концентрації палива в горючій суміші, що досягає свого максимуму при дифузійному горінні.

На спостережувані ефекти істотно впливає напрямок поля по відношенню до напрямку ліній струму полум'я (зазвичай поздовжніх і поперечних електричних полів), а також полярність електродів, між якими утворюється поле. Останнє пов'язано з тим, що рухливість носіїв заряду з протилежними знаками в полум'ї може сильно змінюватися в різних умовах.

Зміна характеристик процесу згоряння в електричному полі можна пояснити наступними причинами:

– «іонний вітер», що представляє собою виникнення спрямованого руху захоплених ними іонів і захоплених ними нейтральних частинок уздовж силових ліній при включенні поля. Таким чином, іонний вітер змінює хід газового потоку, в результаті чого може змінюватися форма і швидкість поширення полум'я, а також швидкість згоряння по масі;

– перетворення енергії електричного поля в теплову енергію в обсязі полум'я, в результаті чого температура підвищується і за законом Arrhenius, $k = k_0 \exp(-\frac{E}{RT})$ швидкість хімічних реакцій збільшується;

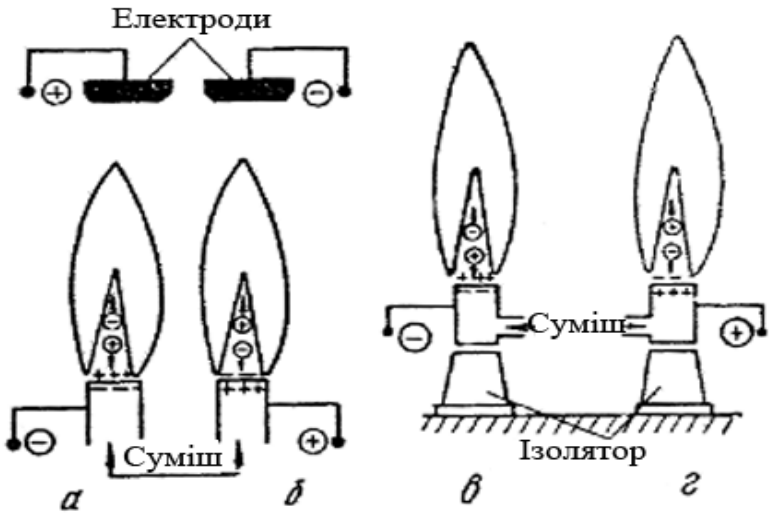
– Прямий вплив електричного поля на швидкість хімічних реакцій, наприклад, обумовлено поляризацією реагуючих частинок і їх активацією, що відбувається внаслідок зіткнень з електронами, які отримують додаткову енергію в полі.

Що стосується полярності частинок в електричному полі, то цей процес, безсумнівно, в якійсь мірі існує, тим більше, що частинками в полум'ї в основному є полярні молекули і радикали. З точки зору розвитку хімічної реакції поляризація реагуючих частинок є фактором, що сприяє хімічним ефектам зіткнень частинок.

Судячи з усього, на процес поширення полум'я впливає електричне поле одночасно за допомогою іонного вітру і перетворення енергії електричного поля в теплову, а також безпосередній вплив на кінетику хімічних реакцій, хоча один з цих процесів може мати вирішальний вплив при правильній силі і напрямку поля. При зміні інтенсивності і напрямку поля може виявитися, що починає домінувати інший процес.

На жаль, теорії з цього приводу немає, тому що реальна структура полум'я до сих пір не відома, немає даних про електричні, магнітні та енергетичні константи частинок в полум'ї, а також про елементарні процеси, що відбуваються, не кажучи вже про таку складну суперпозицію полів, як електрика, температура і концентрація.

Розглянемо можливості застосування електричного поля і електричного заряду до пальника з можливою зміною їх напрямку і марки заряду. На рисунку 2.5 показані чотири варіанти польових і навантажувальних додатків.



а – варіант, при якому створюється поле між негативно зарядженим пальником і позитивним електродом; б – варіант, при якому полум'я поширюється від позитивно зарядженого пальника до негативного електрода; с - варіант, при якому створюється поле між негативно зарядженим пальником і позитивним електродом; другий електрод відсутній і на пальник подається електричний заряд; d - варіант, при якому полум'я поширюється від позитивно зарядженого пальника до негативного; другого електрода немає, але на пальник подається електричний заряд

Рисунок 2.5 - Чотири варіанти перекриття полів і навантаження

На рисунку 2.5, варіант а, створюється поле між негативно зарядженим пальником і позитивним електродом, встановленим в «хвості» полум'я. Таким чином, організовується рух позитивних іонів до пальника вниз і електронів вгору.

У варіанті б (рис. 2.5) полум'я поширюється від позитивно зарядженого пальника до негативного електрода. В цьому випадку електронний промінь буде спрямований в сторону пальника і позитивні іони отримають додатковий рух у напрямку потоку.

Варіанти c і d на рисунку 2.5 відрізняються відсутністю другого електрода і подачею електричного заряду на пальник. У варіантах b і d (рис. 2.5) полум'я дуже чітко видно як єдину систему, що містить електрично заряджені частинки і здатну спотворювати свою структуру при впливі слабкого електричного поля.

У варіанті B пальник має негативний заряд, тому позитивні іони від обсягу полум'я будуть прагнути до горіння; У варіанті D на рисунку 2.5 слід спостерігати протилежне зображення: електронний промінь від полум'я буде спрямований на позитивно заряджений пальник.

Досліди, проведені за схемами c і d з малюнка 2.5, цікаві тим, що, по-перше, виключається можливий вплив на кінетику хімічних реакцій теплового ефекту, одержуваного в результаті перетворення енергії електричного поля при протіканні струму через полум'я в теплоту; По-друге, змінивши знак електричного заряду на пальнику, можна розрізнити і більш чітко визначити вплив іонного вітру на процес поширення полум'я.

Отже, створюються передумови для визначення впливу заряджених частинок, присутніх у полум'ї, на кінетику хімічних реакцій, оскільки підвищення температури полум'я за рахунок перетворення електричної енергії в теплову виключається, а вплив іонного вітру можна враховувати зміною знака електричного заряду на одному електроді пальника.

Нормальна швидкість, як відомо, *ООН* є особливістю процесу горіння і залежить від кінетики хімічних реакцій і температурної провідності середовища:

$$U_{\text{н}} \sim \sqrt{\alpha\bar{\omega}}\ , \qquad (2.2)$$

де $\bar{\omega}$ - середня швидкість хімічної реакції;

a - температурна провідність.

З іншого боку, згідно з постулатом Гая про ламінарні гомогенні полум'я, справедливим є таке співвідношення:

$$S_k = \frac{v}{u_н}, \tag{2.3}$$

де *СК* - лицьова поверхня полум'я (внутрішній конус);

V - витрата горючої суміші.

Таким чином, для суміші даного типу, що складається з питомого палива і окислювача *Un = const*, при постійній витраті *v* і відсутності зміни зовнішніх енергетичних умов площа внутрішнього конуса *Sk* і його висота *hk* – величини постійні: зі збільшенням швидкості згоряння суміші висота *hk* і необхідна площа внутрішнього конуса *Sk* будуть зменшуватися. Зниження *Sk* спостерігається і при зменшенні витрати суміші постійного складу (*Un = const*). Таким чином, співвідношення між параметрами, що характеризують поширення ламінарного однорідного полум'я, можна представити таким чином:

$$\begin{gathered} u_н \downarrow \rightarrow \cos\varphi \downarrow \rightarrow \varphi \uparrow \rightarrow h_k \uparrow \rightarrow S_k \uparrow; \\ u_н \uparrow \rightarrow \cos\varphi \uparrow \rightarrow \varphi \downarrow \rightarrow h_k \downarrow \rightarrow S_k \downarrow \end{gathered} \tag{2.4}$$

Іншими словами, при постійній вхідних умовах (гідродинамічному, тепловому і концентраційному) поверхня фронту горіння зменшується або збільшується в результаті збільшення або зменшення *un*, т. Е. Відношення (2,2) *Un* залежить від температурної провідності і швидкості хімічної реакції.

Розглянемо поширення однорідного полум'я в поздовжньому електричному полі і при наявності одиничного заряду на пальнику відповідно до схем, щоб індивідуально оцінити дію поля за такими характеристиками, як швидкість горіння і межі стійкості полум'я в разі проколу і прослизання.

В процесі аналізу припускаємо, що в кожному конкретному випадку вплив електричного поля на поширення полум'я представлено наступними факторами.

Іонний вітер. Механічне збільшення потоку позитивних іонів загальної маси газів до пальника негативного електрода при додатку поздовжнього

електричного поля за схемою а, яка наведена на рисунку 2.5, повинно призводити до зменшення висоти внутрішнього конуса і поверхні горіння *Sk*; І навпаки, на діаграмі В, коли пальник знаходиться під позитивним потенціалом, слід очікувати збільшення kh і Sk.

Відповідно до співвідношень (2,3) і (2,4), якщо вхідні і зовнішні умови постійні, то такі зміни в *hk* і *Sk* можна пояснити тільки зміною Un , т. Е. Збільшенням або зменшенням нормальної швидкості полум'я.

З точки зору теплової теорії вплив іонного вітру можна пояснити тим, що позитивні іони, несучи з собою масу гарячих газів при перекритті поля на рисунку 2.5а, наближають зону більш високої температури до пальника, в результаті чого створюються умови для більш інтенсивного теплообміну між гарячими продуктами згоряння і свіжою горючою сумішшю. Це, в свою чергу, призводить до прискорення реакції і зміщення фронту полум'я ближче до пальника, при накладенні поля на Рисунок 2.5 б зона більш високої температури буде переміщатися вгору, так як іони будуть нести з собою нейтральну масу гарячих газів до катода, теплообмін зі свіжою сумішшю в цьому випадку погіршиться, розвиток горіння сповільниться, а фронт полум'я збільшить площу горіння.

При подачі заряду на пальник згідно з малюнками 2.5v і d можливі зміни hk і Sk внаслідок електричної взаємодії позитивних іонів із зарядом на пальнику можна пояснити так само, як і польовий ефект. Однак ефект від зміни СК буде набагато слабкіше.

Розглянемо вплив електричного поля і заряду, що перевищують межу стійкості, на пробій і прослизання полум'я стабілізується на пальнику, прийнявши за основний механізм дії іонний вітер. Найпростішою умовою стабільного горіння є рівність:

$$u_н = \omega_{пот}. \qquad (2.5)$$

У випадках, розглянутих на малюнках 2.5 а і в, згідно з прийнятим аналізом впливу поля на швидкість горіння і прийнятою інтерпретацією іонного вітру, слід очікувати, що поле постійного поширення буде розширюватися в бік більш високих критичних швидкостей загасання і його стиснення за рахунок збільшення критичної швидкості, що відповідає проходженню полум'я. Стабілізувати полум'я на негативно зарядженої пальнику допоможе потік позитивних іонів, що несуть масу гарячих газів.

У разі наявності позитивного заряду на пальнику на рисунку 2.5 б і г, позитивний потік іонів і маса інертних гарячих газів будуть прагнути відокремити полум'я від пальника, т. Е. Область постійного горіння буде звужуватися за рахунок зменшення критичної швидкості відмови. У той же час в цих варіантах область стійкого горіння може розширюватися в результаті зниження критичної швидкості сповзання полум'я в пальник.

Якщо розглядати полум'я, стабілізоване на електролізованому кільці, піднятому на певну висоту над пальником (варіант «висячого» полум'я), то застосування поздовжнього електричного поля за схемою на рисунку 2.5а повинно викликати стабілізацію полум'я на виході з пальника під впливом іонного вітру. Те ж саме, але з більш високим значенням потенціалу, можна очікувати подачі електричного заряду на пальник на напругу 2,5 В.

Однак при накладенні поздовжнього електричного поля на Рисунок 2.5б і накладенні заряду на рисунку 2.5 g, стабілізація раніше запалого полум'я на позитивно зарядженому пальнику є недоцільним процесом, якщо його не можна пояснити іонним вітром; Навпаки, поле і заряд, якщо прийняти поняття іонного вітру, повинні сприяти подальшому згасанню полум'я.

Гіпотеза про прямий вплив електричного поля на кінетику процесу горіння є логічним наслідком гіпотези Томсона [24] про активну роль іонів і електронів в процесі горіння. Передбачалося, що за рахунок електронів і іонів, що утворюються на фронті полум'я, гаряча суміш готується до реакції, а тому заряджені частинки визначають процес поширення полум'я. Для підтвердження

своєї гіпотези Д. Томсон провів експеримент з опроміненням вибухонебезпечного газу вторинними електронами, які вибиваються зі свіжопрожареного платинового дроту рентгенівськими променями. В результаті воднево-киснева суміш вибухнула. І хоча пізніше експеримент був визнаний невірним (спостерігана Томсоном реакція згоряння водню пояснювалася каталітичним ефектом платини [25]), ця гіпотеза знайшла прихильників і стала основою для пояснення багатьох ефектів, що виникають при прикладанні електричного поля до полум'я.

Так, результати роботи [26], в якій було показано, що полум'я метану, ацетилену і етилену в поперечному полі з різницею потенціалів 50 - 1800 В (при відстані між електродами 4,85 см) гаснеться, автори пояснюють наступне: так як за поширення полум'я відповідають заряджені частинки, будучи передавачами енергії до свіжої суміші, тому що при накладенні поперечного поля попереду народжуються електрони і іони, Вони будуть відводитися із зони горіння на електроди, в результаті чого їх концентрація знизиться настільки, що при досягненні критичної напруженості поля горіння буде припинено - полум'я згасне.

Гіпотеза про прямий вплив поля на горіння підтверджена результатами робіт по вивченню впливу поля на індукційний період і температуру самозаймання рідких і газоподібних палив. Вони показують, що в залежності від напрямку поля індукційний період і температура самозаймання можуть збільшуватися або зменшуватися в порівнянні з одними і тими ж параметрами при відсутності поля. Отримані результати автори пояснюють участю негативних іонів у процесі повільного окислення.

Підсумовуючи вищесказане, слід зазначити, що дві основні точки зору на механізм впливу електричного поля на процес горіння (вплив на динаміку газу в процесі або безпосередній вплив на кінетику реакції) відображають ще два загальних поняття щодо ролі і місця заряджених частинок в процесі горіння, одне з яких заперечує, а інше передбачає участь хімічно заряджених активних частинок в механізмі окислення і горіння.

Звичайно, не можна заперечувати значний вплив масових сил, що утворюються в газі при подачі електричного поля на полум'я на процес горіння, особливо коли напруженість поля велика, але при цьому на електродах відсутня місцева рефракція, тим більше, що в багатьох дослідах поле накладається таким чином, що важко очікувати будь-якого іншого впливу поля. Хіба що через механізм іонного вітру.

Справа в тому, що в наведених вище дослідженнях поле цілісно накладається на все полум'я, і в цьому випадку в результаті екранування поля зарядженими частинками, присутніми при допалюванні, напруженість поля в зоні реакції і в зоні підготовки буде близька до нуля [17]. Звичайно, таке поле здатне впливати на кінетику реакції тільки в зоні допалювання, тобто там, де практично завершені основні процеси, в тому числі і за участю іонів.

У той же час не менш очевидно, що кінетичний механізм поля здатний впливати на макроскопічні параметри горіння тільки в тому випадку, якщо вдасться сформувати поле достатньої інтенсивності для помітного поділу зарядів в зоні реакції і, в світлі останніх досліджень процесу утворення іонів в полум'ї, в області підготовки. При цьому бажано, щоб напруженість поля в зоні допалювання була невеликою, щоб вплив іонного вітру не спотворювався.

Тому для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд першочергових завдань, а саме:

- систематизація існуючих теоретичних та експериментальних даних про механізми впливу на процес теплообміну газових опалювальних печей;
- вивчити ефективність використання електричних полів для інтенсифікації теплообмінних процесів на фізичній моделі печі;
- розробка відповідних методів управління тепловими потоками в поєднанні з алгоритмами оптимізації цього процесу, використання досягнень і математичних моделей печей в подальших дослідженнях [27, 28].

Все це дозволить комплексно вирішити основне завдання - підвищити енергоефективність газових плит, змінюючи не тільки їх конструкцію і

аеродинаміку, але і надаючи додатковий вплив на теплопостачання за допомогою просторових електричних полів.

Для проведення експерименту працівниками заводу був розроблений і створений спеціальний пічний агрегат, принципова схема якого наведена на рисунку 2.6.

Робоча камера печі з внутрішніми розмірами 0,192×0,192×1,1 м футерована легкою вогнетривкою цеглою. В якості палива використовувався природний газ, а за допомогою стандартного пальника була досягнута теплова потужність до 77 кВт.

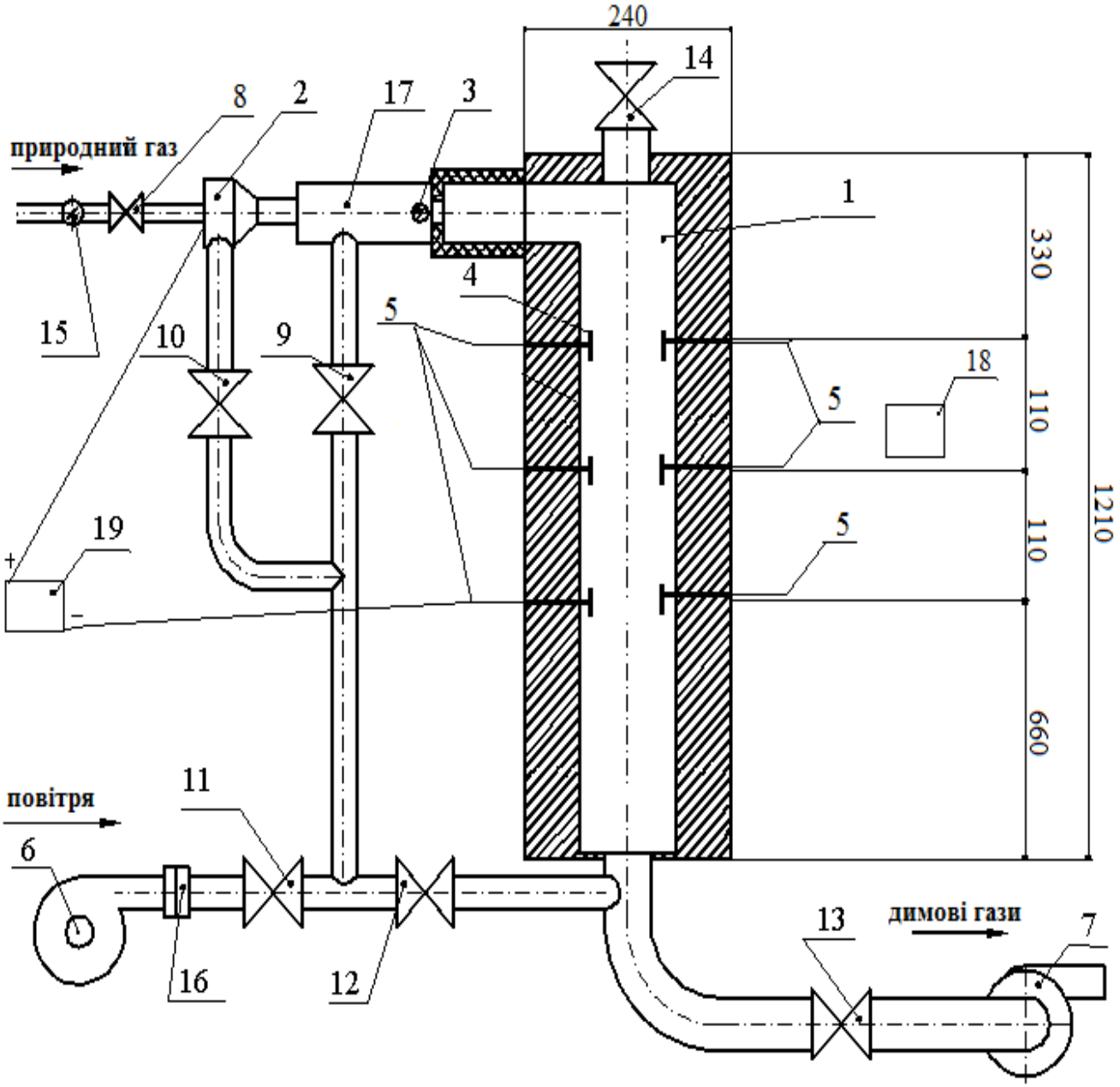
Витрата природного газу і повітря вимірювалася за допомогою газового лічильника типу Gallus 2000 G4 15 і стандартної вимірювальної мембрани 16 відповідно.

Електрична частина експериментальної установки дає можливість змінювати постійну робочу напругу певної полярності, що подається на електроди 5 і факел 2 в діапазоні 0 - 1000 В.

Щоб уникнути похибок вимірювань через вплив напруги на компоненти термопари, був використаний безконтактний метод з використанням лазерних пірометрів, що дозволило отримати достовірні значення температури.

У всіх дослідах питома витрата природного газу становила 0,04 $м^3$/хв.

В результаті було зібрано достатньо статистичних даних про співвідношення між температурою пластин, на які подається напруга, і розмірами і полярністю останніх, а також динамікою нагріву в конкретних точках пічного простору, щоб зробити висновки про можливість і ефективність управління тепловими потоками за допомогою електричних полів. Результати дослідження представлені на рисунку 2.7.

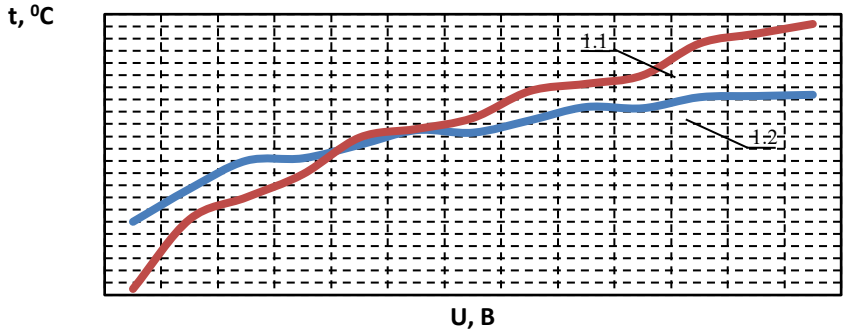


1 – теплоізольований топковий простір; 2 – пальник; 3 - електричний іскровий запальник; 4 – планшет для обстеження; 5 – електроди; 6 - піддувало; 7 – димосос; 8 – 14 – клапани, що керують процесом горіння; 15 – газовий лічильник; 16 – вимірювальна мембрана; 17 – додаткова камера; 18 – безконтактний вимірювальний прилад; 19 – Електрична частина.

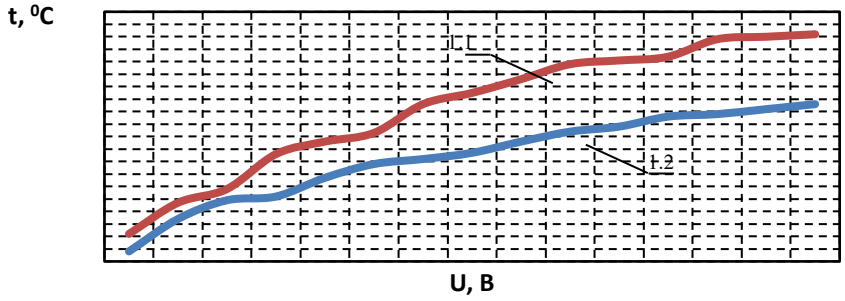
Рисунок 2.6 - Основна схема установки

Як видно на графіках, температури обох пластин зростають, але спостерігається різна динаміка нагріву в залежності від величини прикладеного потенціалу.

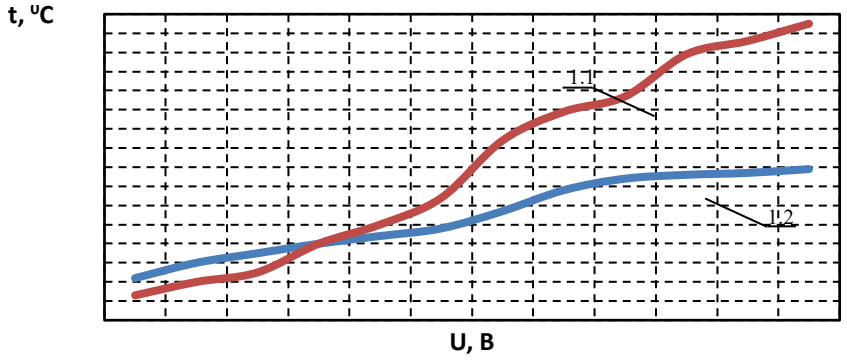
Імпліцитно розуміється зміна полярності, що підтверджує припущення, що число позитивно заряджених іонів і негативно заряджених електронів в продуктах згоряння практично однаково [29].



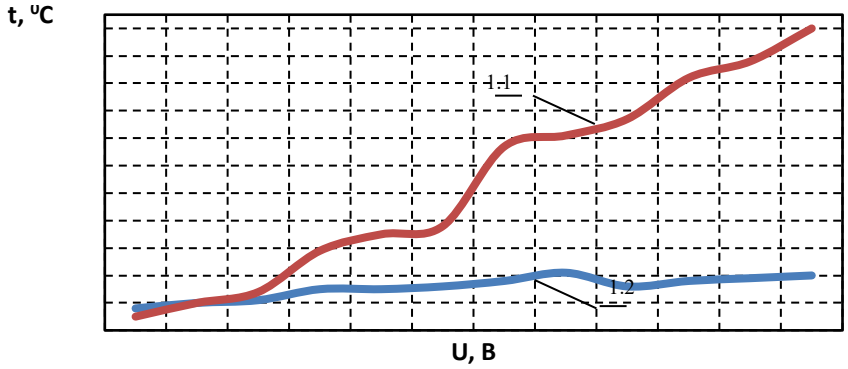
а)



і



с)



d)

Де а - верхні пластини на відстані 15 мм від футеровки печі; б - верхні плити на відстані 45 мм від футеровки печі; в - нижні пластини на відстані 15 мм від футеровки печі; д - нижні плити на відстані 45 мм від футеровки печі

Рисунок 2.7 - Залежність температури пластини від величини напруги

Найбільший ефект мають нижні пластини, які знаходяться ближче до центру печі. Це пов'язано з тим, що при відсутності електричного поля поздовжня швидкість теплового потоку визначається тільки аеродинамічною складовою і буде значною у верхній частині пічного простору, а при подальшому проходженні відпрацьованих газів через топковий простір вона зменшується. Під впливом потенціалу виникає поперечна електрична сила, яка залежить від її величини і змушує заряди певного знака відхилятися від прямолінійної траєкторії. В результаті цієї дії утворюється результуючий вектор швидкості теплового потоку, кут якого по відношенню до пластин є найбільшим в нижній частині пічного агрегату. Тому ефект від запропонованого методу контролю буде максимально великим.

Також з графіків видно, що підвищуються температури протилежних плит, які мають потенціал нижче нуля. Це пов'язано з тим, що деякі обернені заряди відштовхуються один від одного від пластин, до яких був прикладений потенціал, викликаючи тепловий потік до розшарування і бічного нагрівання. Тому цікаво дослідити можливість спрямування теплового потоку, який буде складатися як з іонів, так і з електронів, в заданий простір печі з метою максимальної інтенсифікації процесу теплообміну.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КАМЕРНОЇ ПЕЧІ

Встановлено, що основним споживачем природного газу на прокатному стані ПрАТ «Дніпроспецсталь» є камерні печі з викатною піччю. З метою підвищення їх енергетичної ефективності розроблено методику визначення оптимальних енергетичних параметрів печі перегріву та створено відповідну систему управління. Графічно побудована структурна схема системи управління представлена на рисунку 3.1 і включає в себе такі основні блоки, як заданий технологічний графік нагріву печі, блок порівняння температур і блок визначення оптимальних параметрів.

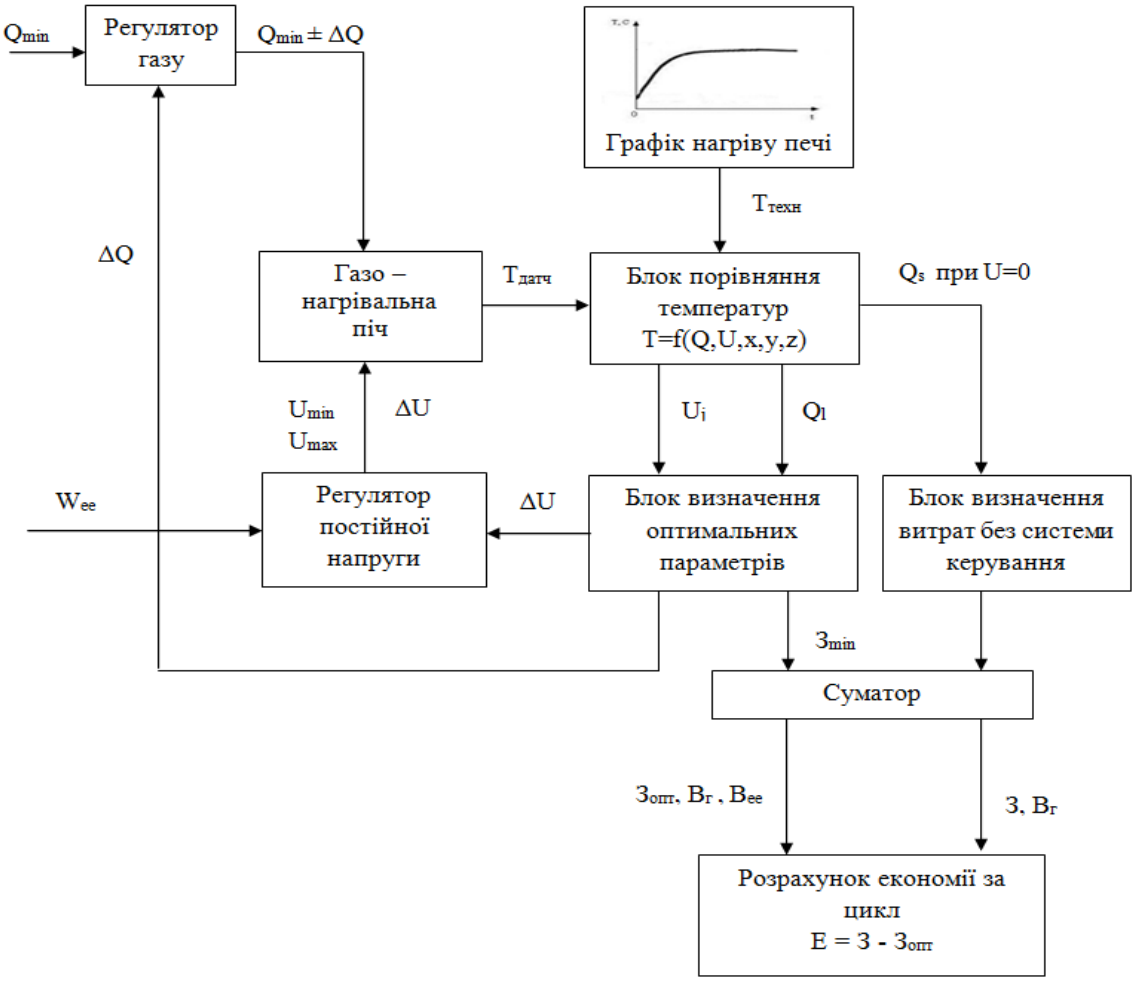


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи управління оптимальними енергетичними параметрами печі перегріву

На рисунку 3.1 показані показники:

Qmin, Qmax - мінімальна і максимальна витрата газу, м^3;

ΔQ - ступінь газопостачання, м^3;

Ql, Qs - поточне значення оптимальної витрати газу і витрати газу без системи управління; *Ql, Qs Qmin* $\in$ *... Qmax* , м^3;

Tdatch.i - температура нагріву печі в заданій точці, °С;

Ttechn.i - температура технологічного нагріву печі в заданій точці, °С;

Umin,Umax - мінімальне і максимальне значення напруги живлення;

Напругою до $\in$ 0...1000 В;

ΔU - крок зміни напруги, В;

Uj - значення струмової напруги в цій точці, *Uj* $\in$ *Umin... Uмакс,* В;

Wee - кількість спожитої електроенергії, кВт год;

Wee - вартість електроенергії, грн/кВт·год;

Vg – вартість газу, м^3;

C - витрати без системи управління, грн;

Зопт - оптимальні витрати, грн;

$\sum$, $\sum_-$ загальні витрати, грн;

E - економічність впровадженої системи, грн.

Для роботи системи контролю за оптимальними енергетичними параметрами нагрівального агрегату печі необхідно на першому етапі спланувати експеримент з метою досягнення максимальної точності, бажано з мінімальною кількістю необхідних операцій і для збереження статистичної достовірності результатів. При розробці матриці для експерименту з дробовим коефіцієнтом типу 25 За відомими методиками було підібрано кілька параметрів, які впливають на розподіл температури всередині агрегату, а саме: *Q* – витрата газу, м3; *U* - напруга між електродом і пальником, В; *x, y, z* – розміри оброблюваної деталі.

Матриця для планування експерименту по температурному режиму газового нагрівача при наявності просторового електричного поля представлена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Матриця для планування експерименту температурного режиму газової опалювальної печі при наявності просторового електричного поля

№	Коефіцієнти	Q	U	x	y	z
1	b_0	+	-	-	-	-
2	b_1	+	-	-	-	+
3	b_2	+	-	-	+	+
4	b_3	+	-	+	+	+
5	b_4	+	-	+	-	-
6	b_5	+	-	+	-	+
7	b_6	+	-	+	+	-
8	b_7	+	-	-	+	-
9	b_8	+	+	-	+	-
10	b_9	+	+	-	-	-
11	b_{10}	+	+	+	-	-
12	b_{11}	+	+	-	-	+
13	b_{12}	+	+	+	+	-
14	b_{13}	+	+	+	-	+
15	b_{14}	+	+	-	+	+
16	b_{15}	+	+	+	+	+
17	b_{16}	-	-	-	-	-
18	b_{17}	-	-	-	-	+
19	b_{18}	-	-	-	+	+
20	b_{19}	-	-	+	+	+
21	b_{20}	-	-	+	-	-
22	b_{21}	-	-	+	-	+
23	b_{22}	-	-	+	+	-
24	b_{23}	-	-	-	+	-
25	b_{24}	-	+	-	+	-
26	b_{25}	-	+	-	-	-
27	b_{26}	-	+	+	-	-
28	b_{27}	-	+	-	-	+
29	b_{28}	-	+	+	+	-
30	b_{29}	-	+	+	-	+
31	b_{30}	-	+	-	+	+
32	b_{31}	-	+	+	+	+

За результатами проектування експерименту, за розробленою для цього матрицею, була отримана необхідна математична модель наступного розміру:

$$T = f(U,H,h,\alpha) = b0 + b1U + b2\,Q + b3x + b4y + b5z + b6U\,Q + \\ + b7(U{\cdot}x) + b8(U{\cdot}y) + b9(U{\cdot}z) + b10(Q{\cdot}x) + b11(Q{\cdot}y) + b12(Q{\cdot}z) + + \\ b13(x{\cdot}y) + b14(x{\cdot}z) + b15(y{\cdot}z) + b16(U{\cdot}\,Q{\cdot}x) + b17(U{\cdot}\,Q{\cdot}y) + + b18(U{\cdot}\,Q{\cdot}z) \\ + b19(U{\cdot}x{\cdot}y) + b20(U{\cdot}x{\cdot}z) + b21(U{\cdot}y{\cdot}\,z) + b22(Q{\cdot}x{\cdot}y) + + b23(Q{\cdot}x{\cdot}z) + \\ b24(Q{\cdot}y{\cdot}z) + b25(x{\cdot}y{\cdot}z) + b26(U{\cdot}\,Q{\cdot}x{\cdot}y) + b27(U{\cdot}\,Q{\cdot}x{\cdot}z) + + b28(U{\cdot}\,Q{\cdot}y{\cdot}z) \\ + b29(U{\cdot}x{\cdot}y{\cdot}z) + b30(Q{\cdot}x{\cdot}y{\cdot}z) + b31(U{\cdot}\,Q{\cdot}x{\cdot}y{\cdot}z);$$ (3,1)

від T – температура нагріву печі, °С;

Q – витрата газу, м3;

U - напруга між електродом і пальником, В;

x, y, z – координати оброблюваної деталі;

$B_0 \ldots B_{31}$ — модельні коефіцієнти.

Опис блок-схеми. Визначаються модельні коефіцієнти, задається технологічний графік нагріву печі, подається газ, а в блоці порівняння температур температура на датчику порівнюється з температурою процесу за заданий проміжок часу.

Якщо температура недостатня, подайте напругу в межах 0... 1000В, крок подачі напруги регулюється, як і крок подачі газу, якщо напруги (в межах 0...1000В) недостатньо для досягнення потрібної температури, то в систему додається природний газ.

У блоці визначення оптимальних параметрів оптимальні Q і U визначаються методом повного розрахунку шляхом послідовної підстановки всіх їх можливих значень в многочлен з урахуванням відповідних обмежень. З масиву даних за економічним критерієм вибираються їх оптимальні значення, при яких витрати будуть мінімальними.

Розраховано економічні витрати цієї системи на управління оптимальними параметрами ресурсів.

Витрати на весь цикл експлуатації печі з встановленою системою управління з оптимальними параметрами локалізуються і порівнюються з витратами на весь цикл роботи печі без неї, розраховується ККД системи управління.

$$E = З - З_{опт}, \tag{3.2}$$

де E - економічність впровадженої системи;

$З$ - затрати без системи керування;

$З_{опт}$ - оптимальні затрати.

На основі структурної схеми розроблений відповідний математичний апарат для визначення оптимальних значень напруги і витрати природного газу на кожному етапі процесу нагрівання металу і представлений у вигляді алгоритму на рисунках 3.2 – 3.4.

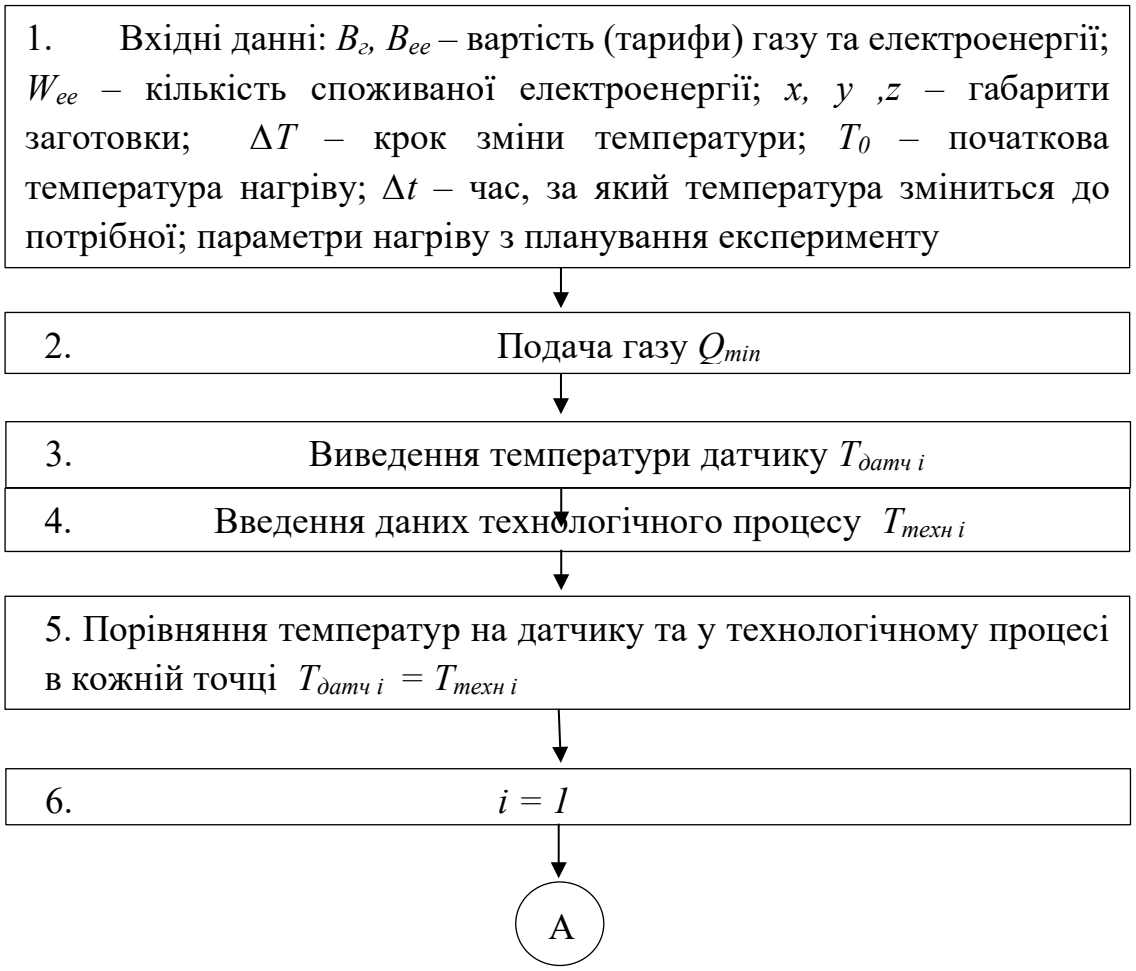


Рисунок 3.2 – Алгоритм визначення оптимальних значень напруги і витрати природного газу на кожному етапі процесу опалення



Рисунок 3.3 – Алгоритм визначення оптимальних значень напруги і витрати природного газу на кожному етапі процесу опалення

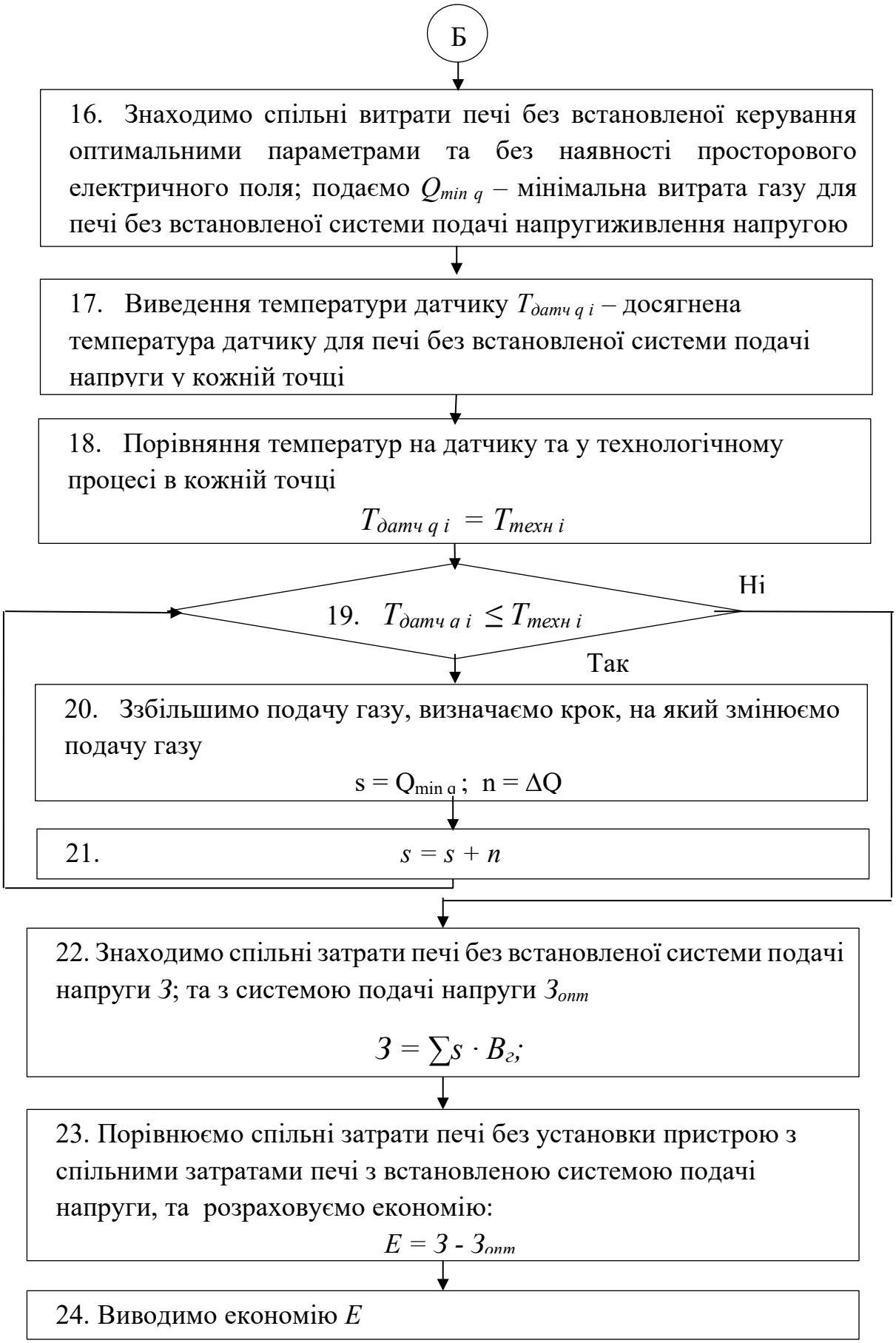


Рисунок 3.4 – Алгоритм визначення оптимальних значень напруги і витрати природного газу на кожному етапі процесу опалення

На рисунку 3.2 у першому блоці зводиться початкова інформація:

$B_г$, $B_{ее}$ – вартість (тарифи) газу та електроенергії;

$W_{ее}$ – кількість споживаної електроенергії;

x, y ,z – габарити заготовки;

ΔT – крок зміни температури;

T_0 – початкова температура нагріву;

Δ - час, необхідний для зміни температури до потрібної; параметри нагріву з конструкції експерименту.

У другому блоці газ подається в топковий агрегат і досягнута температура відводиться на третій блок $T_{датч\ i}$.

У четвертому блоці розташований графік даних про технологічний процес Ttechno $_i$.

Порівняння досягнутої температури з заданою відбувається в п'ятому блоці, де i - точка, в якій порівнюються температури. Якщо необхідна температура не досягнута, напруга подається у восьмому блоці, де крок подачі напруги встановлений на ΔU, а граничні умови – *Umin, Umax.*

Температури в десятому блоці знову порівнюються, якщо потрібна температура не досягнута, подачу газу в одинадцятому блоці збільшують до тих пір, поки температура не стане правильною.

Потім одночасно додається напруга, порівнюються температури, і подача газу в одинадцятому блоці збільшується до тих пір, поки температура не стане правильною.

Таким чином, було встановлено, що всі можливі комбінації напруги і подачі газу досягають потрібної температури.

У чотирнадцятому блоці з усіх можливих комбінацій при потрібній температурі найбільш виграшна комбінація розташовується в кожній точці і виводиться в п'ятнадцятому блоці.

Для знаходження сумарних витрат печі без встановленої системи управління за оптимальними параметрами і без наявності просторового електричного поля витрата газу в печі без встановленої системи визначається

шляхом порівняння температур в агрегатах 18-21. У блоці 22 порівнюються загальні витрати, а в блоці 23 - порівнюються.

Осередки, в які ми вводимо вхідні дані, графік технологічного нагріву печі, розраховані експериментальним шляхом коефіцієнти, все інше - білі клітинки. Програма визначає всі можливі комбінації подачі газу і напруги, а потім вибирає ті комбінації, які досягають потрібної температури в кожній точці і знаходить найбільш економічно вигідні комбінації значень.

Таким чином, запропоноване математичне обладнання дозволить визначити оптимальні значення початкових енергетичних параметрів системи управління елементами печі, і тим самим більш точно спрогнозувати потенційну можливу кількість природного газу, яка може бути збережена в умовах будь-якого промислового підприємства, зокрема, прокатного стану ПрАТ «Дніпроспецсталь».

У робочому циклі піч споживає 83 м^3/год ($Qg_{),}$ близько 16 м^3/год на одну пальник. Якщо нагрів в камерній печі триває 16 годин, з яких 2 пальники працюють протягом двох годин, 4 - протягом шести годин, а 3 пальники - ще шість годин.

$$Qг = 2 \cdot 4 \cdot 16 + 4 \cdot 6 \cdot 16 + 3 \cdot 6 \cdot 16 = 800 м^3/цикл;$$

$$Qg = 800 \cdot 5 = 4000 \text{ м3/цикл - при роботі всіх 5 печей;}$$

Передбачається, що середня кількість робочих днів дорівнює кількості циклів за рік і становить 200 днів, а вартість 1 м^3 природного газу становить 9 грн. B – Витрати.

$$C = 4000 \cdot 200 \cdot 9 = 7{,}2 \text{ млн. грн/рік.}$$

В результаті розрахунків з використанням запропонованих інструментів для предмета дослідження і за результатами експерименту, раніше проведеного

працівниками заводу, де використання просторового електричного поля дозволило заощадити близько 11% природного газу. *Е* – економіка.

$$E = 7{,}2 \cdot 11\% = 0{,}8 \text{ млн грн/рік} = 800 \text{тис. грн /рік};$$

Капітальні витрати - це витрати, спрямовані на відтворення основних фондів для виробничих і невиробничих цілей, створення нових основних фондів, реконструкцію і розвиток існуючих основних фондів, у тому числі об'єктів соціальної сфери.

Для того щоб визначити суму інвестицій, розраховуються витрати на придбання стабілізаторів газу та напруги, а також витрати на споживання електроенергії:

$$K = З_{е.е.} + З_{рег.Q} + З_{рег.U}; \quad (3.3)$$

де $З_{е.е.}$ – витрати на електричну енергію за рік, грн;

$З_{рег.Q}$, $З_{рег.U}$ – витрати на регулятори газу та напруги, грн;

$$З_{рег.Q} = 5 \cdot 24000 = 120 \text{ тис.грн};$$
$$З_{рег.U} = 5 \cdot 1500 = 7{,}5 \text{ тис. грн};$$

При потужності P = 1 кВт і напрузі, що не може перевищувати 1000 В при роботі печі протягом 16 годин, і кількості робочих днів, максимальне значення споживання електроенергії:

$$С.Є. = 1600 \cdot 1{,}8 = 2880 \text{ грн на рік};$$
$$K = 120 + 7{,}5 + 2{,}88 = 130{,}4 \text{ тис. грн на рік};$$

$$T_{ок} = \frac{К}{П};\qquad (3.4)$$

де $T_{ок}$ – термін окупності;

$К$ – сумарні капіталовкладення;

$П$ – прибуток.

Термін окупності - це час, витрачений на покриття витрат конкретного проекту або на відчуження вкладених компанією коштів за рахунок коштів, отриманих в результаті основної діяльності даного проекту.

Прибуток як економічний показник - це різниця між чистим доходом і витратами на виробництво. Прибуток - це кінцевий результат діяльності компанії.

$$T_{ок} = \frac{130,4}{800} = 0,16 \text{ року} = 2 \text{ місяці};$$

Було визначено, що потенційна економія в такому випадку становитиме не менше 800 тисяч гривень на рік.

Економічні розрахунки показали, що загальні інвестиції в проект складають близько 130 тис. грн з терміном окупності, розрахованим виходячи з цін на обладнання у 2024 році, становить близько 2 місяців, що не перевищує норматив.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Визначення характеристик потенційно небезпечних і шкідливих виробничих середовищ

До потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів на території прокатного стану ПрАТ «Дніпроспецсталь» відносяться:

– недостатня освітленість робочої зони;

– ризик ураження електричним струмом;

– рухомі частини механізмів і приводів;

– вібрації від технологічного обладнання та припливно-витяжних установок;

– Шум, створюваний пристроями [21, 22].

Основні шкідливі фактори в існує ризик ураження електричним струмом і шуму до 85 дБА в майстерні, джерелом якого є:

– бустерний компресор;

– Турбобаки;

– насосне та вентиляційне обладнання [23].

Майстерня являє собою приміщення середньої складності (робота середньої складності), тому повинні бути дотримані наступні вимоги:

– оптимальна температура повітря – 22–24 $^{\circ}C$ (допустима температура – 19–21 $^{\circ}C$);

– оптимальна відносна вологість повітря – 40–60% (допустима – не більше 75%);

– Швидкість руху повітря не перевищує 0,1 м/с [24, 25].

Так як природне освітлення в цеху відбувається через віконні прорізи і дуже слабкий, то на робочому місці також слід використовувати штучне освітлення.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів і карта умов праці на робочому місці працівника гаража представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці технолога кисневої компресорної станції

Ні/	Фактори виробничого середовища і робочого процесу	Нормативне значення	Фактична вартість	III клас: шкідливі та небезпечні умови праці, характер праці			Тривалість фактора, %
				I шпилька	II штифт	III Булавка Стю	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3: Клас небезпеки I _____ Клас небезпеки II _____ III-IV класи небезпеки _____						
2	Пил з переважаючим фіброгенним ефектом, мг/м3						
3	Вібрація (повна і локальна), дБ	92	91				
4	Рівень шуму, дБА	80	88	8			75
5	Інфразвук, дБ						
6	УЗД, дБ						
7	Неіонізуюче випромінювання: - Діапазон радіочастот, В/м - Промисловий діапазон частот, кВ/м - Оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м^2						
8	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, ^{0C} - Повітряна швидкість, м/с - відносна вологість повітря, %	 15–23 не більше 0,3 не більше 75	 18 0,2 75				 100 100 100
9	Складність та інтенсивність роботи	Категорія інтенсивності праці - помірна інтенсивність IIа, категорія інтенсивності праці - помірно напружена II					

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в цеху характеризуються наявністю шкідливих виробничих факторів, які не призводять до збільшення частоти втрати працездатності, але характеризуються проявом початкових ознак професійної патології.

4.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

Для створення і автоматичної підтримки оптимальних значень температури, вологості і швидкості руху повітря в холодну пору року в цеху використовується підігрів води, а в теплу пору року - кондиціонування повітря.

До заходів щодо захисту працівників від шуму належать:

- використання сучасного обладнання;
- розміщення пультів управління і контролю в звукоізольованому приміщенні;
- установка звукопоглинаючого кожуха на підвищувальний компресор і насоси;
- використання засобів індивідуального захисту від шуму;
- Раціональне планування приміщень [26, 27].

Найбільш ефективним способом зниження шуму є заміна галасливих технологічних операцій на тихі або зовсім безшумні, але такий спосіб контролю не завжди можливий, тому його зниження в джерелі має першорядне значення. Зниження шуму в кисневому компресорному цеху досягається за рахунок удосконалення конструкції або схеми шумогенеруючої частини обладнання, використання в конструкції матеріалів зі зниженими акустичними властивостями, оснащення додатковим звукоізоляційним пристроєм на джерелі шуму або корпусі, розташованому максимально близько до джерела. Для

боротьби з шумом в трасах трансмісії передбачений шумопоглинаючий кожух, здатний прикрити окремий галасливий вузол машини.

Зниження шуму, створюваного обладнанням, пропонується за рахунок використання шумових бар'єрів, що відокремлюють галасливий механізм від робочого місця або сервісної зони машини. Для обробки стелі і стін галасливих приміщень планується використовувати звукопоглинаючу облицювання, що призводить до зміни спектра шуму в бік більш низьких частот, що значно покращує умови роботи навіть при відносно невеликому падінні рівня.

З З метою захисту обслуговуючого персоналу від шуму на промислових підприємствах з галасливими технологічними процесами або галасливим обладнанням необхідно організувати кабіни спостереження і дистанційного керування. За допомогою звукоізольованих кабін можна забезпечити практично все необхідне шумозаглушення [28].

Побутівки виготовляються з цегли, бетону та інших будівельних матеріалів. Побутівки можуть бути збірними з металевих панелей. У приміщеннях з променистими джерелами тепла кабіни також повинні забезпечувати захист від цього шкідливого фактора.

Збірні звукоізоляційні кабіни монтуються на гумові віброізолятори. З Для зниження шуму, створюваного припливно-витяжною вентиляційною системою, необхідно встановити глушники з боку припливу і витяжки.

Вікна повинні бути мінімального розміру товстого скла або органічного скла. Вікна повинні бути ущільнені гумовими ущільнювачами по всьому периметру. У разі використання подвійного склопакета між склом по периметру вікна встановлюється звукоізоляційний ущільнювач.

У дверях кабіни необхідно забезпечити герметичність і герметичність по всьому периметру дверей. За умови, що необхідна теплоізоляція висока, двері повинні бути подвійними. У місцях прокладання технологічних комунікацій також повинні бути передбачені шумоізоляційні заходи. Внутрішні поверхні кабіни покриті звукопоглинальним матеріалом з максимальними коефіцієнтами звукопоглинання в діапазоні 250-2000 Гц.

Розрахунок необхідної ізоляції кабіни технолога кисневого компресорного цеху проводився за наступним алгоритмом.

Необхідне зниження шуму в салоні визначається як:

$$R_{каб.н.} = L_{ш} - L_{доп}\,, \tag{4.1}$$

де $L_{ш}$ – октавний рівень звукового тиску на робочому місці в галасливому приміщенні в передбачуваному місці кабіни, виміряний в операційній – дБ;

$L_{доп}$ – допустимий рівень звукового тиску на робочих місцях в кабінах, дБ.

Згідно з формулою 4.1, необхідне зниження шуму в салоні в кисневому компресорному цеху становить:

$$R_{каб.н.} = 88 - 80 = 8 \text{ дБ}$$

Необхідна звукоізоляція навколишніх конструктивних елементів (вікон, стін і дверей звукоізоляційних кабін) визначається за формулою дБ :

$$R_{н.і} = L_{сер} - 10lgB + 10lgS_i - L_{доп} + 10lg(n), \tag{4.2}$$

де B_i – постійна кабіни у даній октавній смузі частот, м^2;

S_i – площа i-го елементу кабіни, через який шум проникає в кабіну, м^2;

n – кількість однакових елементів.

Постійну приміщення B_i визначають за формулою:

$$B = B_{1000} \cdot \mu, \tag{4.3}$$

де B_{1000} - стаціонарне приміщення з середньою геометричною частотою 1000 Гц, що визначається за таблицею 4.2 в залежності від обсягу V, м^3 і типу приміщення, м^2;

μ - частотний коефіцієнт, визначений відповідно до таблиці 4.3.

Розрахунки проводилися для частоти 125 Гц.

Об'єм кабіни – м^3:

$$Vк = a \cdot b \cdot h = 3{,}3 \cdot 4{,}2 \cdot 2{,}3 = 31{,}88.$$

Стаціонарне приміщення В1000 з середньогеометричною частотою 1000 Гц визначається з урахуванням типу приміщення по таблиці 4.2, м^2:

$B_{1000} = V/20 = 31{,}88/20 = 1{,}59$

Таблиця 4.2 – Стаціонарне приміщення в залежності від об'єму V, м^3 і типу приміщення

Категорія номера	Опис приміщення	Постійні номери B_{1000}, м^2
1	При невеликій кількості людей (слюсарні майстерні, вентиляційні камери, генераторні зали, машинні зали, випробувальні стенди і т.д.)	В/20
2	З жорсткими меблями і великою кількістю людей або з малою кількістю людей і м'якими меблями (лабораторії, ткацькі та столярні майстерні, офіси і т.д.)	В/10
3	При великій кількості людей і м'яких меблів (офісні приміщення адміністративних будівель, класи навчальних закладів, класи в школах, житлові приміщення і т.д.)	З/6
4	Кімнати зі звукопоглинаючою обшивкою стелі і частиною стін	Б/1,5

Таблиця 4.3 – Помножувач частоти

Об'єм приміщення V, м^3	Помножувач частоти μ на середніх геометричних частотах октавних смуг, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
< 200 шт.	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5

Постійна приміщення B визначається за формулою (4.3), м^2:

$$B = 1{,}59 \cdot 0{,}75 = 1{,}19,$$

Площа вікна складає, м^2:

$$S_{вікна} = 3 \cdot 1 = 3.$$

Площа дверей становить, м^2:

$$S_{дверей} = 0{,}8 \cdot 2 = 1{,}6,$$

Площа п’яти стін, тому що так розташована кабіна, м^2:

$$S_{стін} = 2 \cdot 4{,}2 \cdot 2{,}3 + 2 \cdot 3{,}3 \cdot 2{,}3 + 4{,}2 \cdot 3{,}3 = 48{,}36.$$

Необхідна звукоізольована здатність елементів огороджувальних конструкцій становить, дБ:

$$R_{н.вікна} = 90 - 10\lg 1{,}19 + 10\lg 3 - 80 + 10\lg 1 = 14{,}02,$$

$$R_{н.двері} = 90 - 10\lg 1{,}19 + 10\lg 1{,}6 - 80 + 10\lg 1 = 11{,}29,$$

$$R_{н.стін} = 90 - 10\lg 1{,}19 + 10\lg 48{,}36 - 80 + 10\lg 5 = 33{,}08.$$

Перевірочний розрахунок очікуваного зниження шуму кабіною $R_{каб}$ визначається за формулою:

$$R_{каб} = R_{сер} + 10lg\, B - 10lg \sum_{i=1}^{n} S_i, \quad (4.4)$$

де $R_{сер}$ – середня звукоізоляція всіх огороджень кабіни, дБ;

S_i – площа кожного елемента огородження, м^2;

n – загальна кількість елементів огородження.

Середня ізоляція повітряного шуму даною неоднорідною (збірною) огороджувальною конструкцією $R_{сер}$ визначається за формулою, дБ:

$$R_{сер} = 10lg \left(S_{заг} / \sum_{i=1}^{n} S_i \cdot 10^{-0{,}1 \cdot R_i} \right), \quad (4.5)$$

де $S_{заг}$ – загальна площа неоднорідного огородження, м^2;

S_i та R_i – площа, м^2, та звукоізоляція окремого елементу, дБ.

Середня звукоізоляція $R_{сер}$ за формулою 4.4 становить, дБ:

$$R_{сер} = 10\lg \left(52{,}96 / \left(3 \cdot 10^{-0{,}1 \cdot 23} + 1{,}6 \cdot 10^{-0{,}1 \cdot 12} + 48{,}36 \cdot 10^{-0{,}1 \cdot 38}\right)\right) = 26{,}35.$$

Очікуване зниження шуму кабіною $R_{каб}$ становить:

$$R_{каб} = 25{,}32 + 10\lg 1{,}19 - 10\lg 52{,}96 = 8{,}83.$$

Перевіряємо умову $R_{каб} \geq R_{каб.н.}$: 8,83 ≥ 8 дБ – умова виконується.

Таким чином, вибрано звукоізолюючу кабіну технолога:

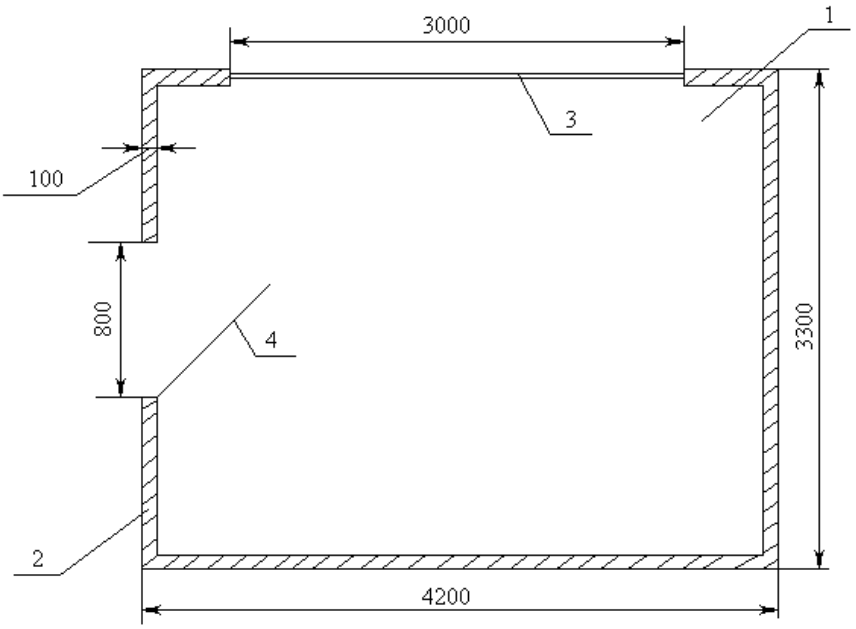
– стіни кабіни виготовляються залізобетонною панеллю товщиною 100 мм, поверхневою густиною 250 кг/м^2;

Тому було прийнято рішення використовувати технологію шумоізоляції салону:

– Стіни кабіни виконані із залізобетонної плити товщиною 100 мм, поверхневою щільністю 250 кг/м^2;

– двері зі стандартної полотна товщиною 40 мм без ущільнювачів.

У кабіні водія процес звукоізоляції показаний на рисунку 4.1.



1 – робоча зона; 2 - стіна; 3 – вікно; 4 – двері.

Рисунок 4.1 – Кабіна технолога з шумоізоляції

Таким чином, кабіна технолога забезпечує необхідну шумоізоляцію, адже згідно з розрахунками: $Rcab \geq Rcab$.: 8,83 ≥ 8 дБ – умова виконана.

4.3 Заходи з поліпшення санітарних умов праці

Мікроклімат (метеорологічні умови) виробничих приміщень, який визначається температурою, відносною вологістю і рухом повітря, має значний вплив на стан організму працівника і його продуктивність.

Під оптимальними мікрокліматичними умовами розуміють сукупність параметрів мікроклімату, які при тривалому і планомірному впливі на людину забезпечують підтримання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту і створюють умови для досягнення високого рівня продуктивності.

Показники мікроклімату в приміщенні наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Нормовані значення температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в кисневому компресорному цеху

Сезон	Категорія робіт	Температура			Відносна вологість повітря, %		Швидкість, м/с	
		Оптимального	Дійсний		Оптимального	Дійсний	Оптимально, не більше	Прийнятно на робочому місці
			Верхня межа	Нижня межа		На робочих місцях не більше		
			Постійний	Постійний				
Холодний	Помірний-Па	19-21	23	17	40-60	75	0,2	Ні більше 0,3
Теплий	Помірний-Па	21-23	27	18	40-60	65 (при 26ºС)	0,3	0,2-0,4

Створення необхідних параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях забезпечується природною і механічною загальнообмінною вентиляцією повітря, тобто зміною повітря в приміщенні, спрямованим на підтримання в ньому відповідних метеорологічних умов і чистоти повітря.

Вентиляція приміщень здійснюється за рахунок видалення з них нагрітого або забрудненого повітря і подачі чистого зовнішнього повітря.

Оптимальна температура повітря в цеху в холодну пору року забезпечується системою водяного опалення.

Одним з факторів, що визначають сприятливі умови праці, є раціональне освітлення робочого місця. Якщо освітлення виробничих приміщень правильно розраховано і виконано, очі працівника будуть зберігати здатність добре розрізняти предмети і знаряддя праці протягом тривалого часу без втоми. Це сприяє зниженню кількості виробничого травматизму і захворювань очей.

Недостатня освітленість робочих місць є однією з причин низької продуктивності праці. При цьому очі працівника сильно втомлюються, важко розрізнити заготовки, знижується темп і якість роботи людини, погіршується загальний стан.

У цеху кисневих компресорів в якості люмінесцентних ламп типу ДХО використовується природне бічне освітлення і штучне освітлення.

Візуальний розряд роботи в майстерні - VIII а. Загальне освітлення - 75 лк.

4.4 Заходи з електробезпеки

Згідно з Правилами улаштування електроустановок, приміщення цехів можуть бути віднесені до I класу - з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом (відносна вологість повітря вище 75%; струмопровідна пил; температура вище 350С або 400С протягом короткого часу, незалежно від пори року; можливість одночасного контакту людини з металевими корпусами електрообладнання та заземленими металоконструкціями будівлі; наявність струмопровідних підлог із землі; залізобетон, цегла і т.д.) [29].

Для захисту від електричного струму передбачено надійне захисне заземлення електрообладнання. Заземлювальні пристрої забезпечують безпеку

людей і захист електроустановок і режимів роботи. Для тієї частини електрообладнання, яка може живитися через пошкодження ізоляції, забезпечується надійний контакт із заземлюючим пристроєм. Інструментальну перевірку стану захисного заземлення пропонується проводити не рідше одного разу на рік, а також після монтажу або ремонту.

Для забезпечення електробезпеки пропонується відповідати таким вимогам:

– конструкція виробничого обладнання, що працює від електрики, повинна включати пристрій для забезпечення електробезпеки;

– обладнання повинно бути захищене від випадкового контакту з струмоведучими частинами;

основними організаційними заходами щодо запобігання ураженню електричним струмом є інструктаж і навчання безпечним методам роботи, перевірка знань з техніки безпеки та інструктаж відповідно до виконаних робіт.

4.5 Заходи з пожежної безпеки

Будівлю, в якій розташована лабораторія, можна віднести до категорії D за рівнем вибухо- та пожежної небезпеки, адже в цеху знаходяться горючі та легкозаймисті речі, які можуть горіти без вибуху при взаємодії з вогнем. За конструктивними характеристиками до будівлі можна віднести будівлі з каркасною схемою будівництва. Елементи каркаса виготовляються з незахищених металевих конструкцій. Навколишні конструкції виконуються з негорючих листових матеріалів з негорючою ізоляцією або з низькою і середньою групою горючості (ступінь вогнестійкості будівлі IIIа) [30].

До можливих причин загоряння відносять підвищену температуру навколишнього середовища, обладнання, наявність паливно-мастильних матеріалів.

Профілактика пожеж повинна досягатися шляхом запобігання утворенню горючого середовища, недопущення утворення джерел займання в горючому середовищі.

Пожежна безпека на електростанції забезпечується за рахунок:

– використання протипожежного інвентарю та супутнього протипожежного інвентарю;

– використання автоматичних систем пожежної сигналізації;

– використання основних будівельних конструкцій будівель з

– регламентовані межі вогнестійкості і межі поширення вогню;

– нанесення вогнестійких фарб на будівельні поверхні;

– пристрої для обмеження поширення вогню;

– організація своєчасної евакуації людей;

– застосування колективних та індивідуальних заходів щодо захисту людей від небезпечних токсичних речовин вогню;

– використання систем протипожежного захисту.

Запобігання вибуху досягається шляхом: регулювання пожежного руху; недопущення нагрівання обладнання до температури самозаймання вибухонебезпечної атмосфери; застосування швидкодіючих засобів захисного відключення можливих джерел електричної ініціації вибуху; використання вибухозахищених пристроїв.

Для гасіння зовнішніх пожеж планується встановлювати гідранти із загальною витратою води 20 л/с.

Для гасіння насиченого киснем одягу на вході в кабіну передбачені протипожежні душі з автоматичною подачею води.

Приміщення обладнані основними засобами пожежогасіння: пінними вогнегасниками типів ОХП-10, ОП-М та ОП-9ММ (хімічна густа піна), ОКВП-

10 (хімічна повітряна піна), вуглекислотою типу ВВ, азбестовими ковдрами, пісочницями, протипожежними щитами.

В якості датчиків використовуються датчики диму і тепла. Ручні датчики встановлюються на виході з приміщення. Сигнал про пожежу виводиться на дунайський прилад, встановлений у приміщенні, де перебуває цілодобовий черговий персонал. Передбачений автоматичний автообдзвін для передачі пожежного сигналу на пульт централізованого спостереження державної протипожежної служби.

Система оповіщення про пожежу першого і другого типів забезпечується гучномовцями, установкою світлових індикаторів і звукових сигналів.

Забезпечується блискавкозахист і заземлення конструкції . Металеві конструкції цеху служать пристроєм для уловлювання блискавки.

Електростатичний індукційний захист забезпечується шляхом підключення всіх металевих корпусів обладнання та інженерних комунікацій до внутрішньої лінії заземлення.

4.6 Засоби індивідуального захисту

На робочих місцях, де неможливо знизити шум і вібрацію до допустимих рівнів технічними засобами або де це технічно та економічно недоцільно, застосовуються засоби індивідуального захисту (далі - ЗІЗ).

ЗІЗ не тільки сприяє профілактиці захворювань, прямо чи опосередковано пов'язаних із шумовим впливом (зниження слуху, компенсаторні захворювання, розлади нервової системи, серцево-судинної системи тощо), а й підвищує продуктивність праці.

Залежно від конструкції ЗІЗ поділяються на шумоізоляційні навушники, що закривають вушну раковину зовні; беруші, які перекривають або прилипають

до зовнішнього слухового проходу; шоломи та звукопоглинаючі шоломи; Костюми для захисту від шуму.

Шумопоглинаючий настил виготовляється з твердих, гнучких і волокнистих матеріалів. Вони можуть бути одноразовими і багаторазовими.

За рівнем захисту від шуму, ваги та тиску на привушну залозу навушники та вкладиші поділяються на три групи: А, В та С. ЗІЗ підбираються виходячи з частотного спектру шуму на робочому місці та з урахуванням комфорту їх носіння під час заданої трудової діяльності та кліматичних умов.

Шумові шоломи закривають всю голову, використовуються при дуже високому рівні шуму в поєднанні з навушниками, а також в шумових костюмах. Навушники виготовлені зі звукопоглинаючих матеріалів, щільно прилягають до вуха і утримуються на місці вигнутою пружиною.

При роботі з ручним моторизованим електричним і пневматичним інструментом для захисту від вібрацій використовуються ручні засоби індивідуального захисту. Це рукавички, а також віброплити або пластини, оснащені ручним кріпленням. З огляду на несприятливий вплив холоду на розвиток вібраційних захворювань, працівникам в зимовий час слід надягати теплі рукавички.

При роботі з ручними механізмами і за гігієнічними нормами загальний час роботи в контакті з вібраціями не повинен перевищувати 2/3 робочого часу. Крім того, одноразове безперервне вібраційне вплив, включаючи мікропаузи, не повинно перевищувати 15-20 хвилин для ручних машин. Рекомендується обідня перерва тривалістю не менше 40 хвилин, також обов'язкові дві регламентовані перерви (для занять на свіжому повітрі, виробничої гімнастики за спеціальним комплексом, фізіопрофілактичних процедур): 20 хвилин через 1-2 години після початку зміни і 30 хвилин через 2 години після обідньої перерви.

Таким чином, приміщення киснево-компресорної установки ПрАТ «Дніпроспецсталь» відповідають практично всім вимогам з охорони праці та технологічної безпеки. Для зниження шуму, пов'язаного з роботою компресорного обладнання, розраховується шумоізоляція технологічної кабіни.

ВИСНОВКИ

1. Проблема енергозбереження актуальна для всіх розвинених країн, зокрема для України, де енергоємні галузі становлять основу економіки. Високе споживання енергії вимагає раціонального використання ресурсів, адже без цього країна ризикує відстати в економічному розвитку.

2. В роботі досліджено енергоспоживання ПрАТ «Дніпроспецсталь» і шляхи підвищення ефективності камерної нагрівальної печі. Особливу увагу приділено впливу електричних полів на тепловий потік, що дозволяє покращити енергоефективність газових печей.

3. Аналіз свідчить, що використання електрофізичних методів здатне змінювати параметри горіння завдяки взаємодії електричних полів із зарядженими частинками полум'я.

4. Запропоновано метод оптимізації енергоспоживання печі, що включає систему управління та математичний апарат для визначення оптимальних параметрів.

5. Використання розробленого алгоритму дозволило скоротити витрати природного газу на 11%, що дає потенційну економію понад 800 тис. грн на рік. Інвестиції в проєкт становлять 130 тис. грн, а термін окупності – лише 2 місяці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Єрофєєва А. А. Підвищення енергоефективності камерних нагрівальних печей шляхом використання керованих електричних полів: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 / А. А. Єрофєєва. – Дніпро: Національна металургійна академія України, 2020. – 156 с.

2. Орловська С. Г., Шкоропад М. С., Зуй О. М. Горіння палива на основі алканів під дією електричного поля // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2019. – № 12 (145). – С. 78–85.

3. Борисенко В. Ю. Аналіз ефективності заходів щодо покращення роботи камерних печей: кваліфікаційна робота / В. Ю. Борисенко. – Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2021. – 89 с.

4. Ващишак І. Р., Мовчан Ю. В. Ефективність впровадження системи енергетичного менеджменту у ТОВ «Науково-Виробнича Фірма 'Зонд'» // Енергетика та екологія. – 2022. – Т. 45, № 2. – С. 112–118.

5. Ємець І. О. Вплив електричних і магнітних полів на електризацію авіаційних палив: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / І. О. Ємець. – Київ: Національний авіаційний університет, 2021. – 143 с.

6. Воронов Г. К. Енерго- та ресурсозбереження у хімічних технологіях: навч. посіб. / Г. К. Воронов. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 312 с.

7. Шарапов С. О. Енергозбереження в компресорних системах: навч. посіб. / С. О. Шарапов. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – 196 с.

8. Енергозбереження в теплотехнологічних процесах та установках: монографія / за ред. В. І. Кравченка. – Київ: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2022. – 248 с.

9. Практичний посібник «Енергоефективний будинок крок за кроком» / Агентство США з міжнародного розвитку (USAID). – Київ, 2020. – 68 с.

10. Спалювання палива та парниковий ефект // Енергетика України. – 2021. – № 3 (57). – С. 33–42.

11. Малиновський А. Є., Россіхін В. С., Наугольников Б. І. Дослідження горіння ацетиленової суміші з повітрям в магнітному полі // Фізика горіння і вибуху. – 1934. – Т. 4, № 2. – С. 189–192.

12. Качан Ю. Г., Коваленко В. Л., Візер А. А. Металургія // Металургія: Наукові праці ЗДІА. – Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2013. – Т. 29. – С. 121–125.

13. Іссерлін А. С. Основи спалювання газового моторного палива: довідковий посібник / А. С. Іссерлін. – Ленінград: Надра, 1987. – 336 с.

14. Губінський В. І. Металургійні нагрівальні печі – сьогодні і завтра // Теорія і практика металургії. – 2004. – № 6 (20). – С. 56–60.

15. Герасимов Ю. А., Іванов В. І., Баздирєв В. С. Підвищення ефективності теплової роботи рециркуляційних термічних печей // Металургійна та гірнича промисловість. – 1991. – № 3 (161). – С. 58–60.

16. Чепрасов А. І., Ревун М., Каюков Ю. Н. Застосування пальників з частковим попереднім перемішуванням в рециркуляційних термічних печах // Термічна технологія металургійного виробництва: збірник наукових праць. – Київ: УМК ВО, 1988. – С. 4–7.

17. Лавров Ф. А., Малиновський А. Є. Вплив поздовжнього електричного поля на процес згоряння газових сумішей // Журнал фізичної хімії. – 1933. – Т. 4, вип. 1. – С. 104–108.

18. Кавера А. Л. Дослідження стану проблем процесів горіння в електричному полі // Вісник Донецького географічного інституту. – 2005. – № 1. – С. 182–187.

19. Ягодніков Д. А., Воронецький А. В. Вплив зовнішнього електричного поля на характеристики процесів займання і горіння // Фізика горіння і вибуху. – 1994. – № 3. – С. 3–12.

20. Афанасьєв В. В., Кідін Н. І. Діагностика та контроль стійкості горіння в камерах згоряння енергетичних установок. – М.: ФІЗМАТЛІТ, 2008. – 176 с.

21. Лоутон Д., Вайнберг Ф. Електричні аспекти горіння. – М.: Енергія, 1976. – 296 с.

22. Фіалков Б. С., Щербаков Н. Д., Пліцин В. Т. Розподіл електричного потенціалу в полум'ї вуглеводнів // Фізика горіння і вибуху. – 1978. – Т. 14, № 2. – С. 104–108.

23. Фіалков Б. С., Щербаков Н. Д. Розподіл позитивних іонів у полум'ї пропан-бутанових сумішей з повітрям // Фізика горіння і вибуху. – 1980. – Вип. 54, № 10. – С. 2655–2659.

24. Кідін Н. І., Ліброви ч В. Б. Ламінарне полум'я діє власним електричним полем // Фізика горіння і вибуху. – 1974. – Т. 10, № 5. – С. 696–705.

25. Степанов Є. М., Дяхков Б. Г. Іонізація в полум'ї та електричному полі. – М.: Металургія, 1968. – 310 с.

26. Томсон Д. Д., Томсон Г. Стан газів електропостачання. – 1928. – Т. 1.

27. Малиновський А. Є., Ткаченко К. Т. Перенесення іонів вибуховою хвилею // Фізика горіння і вибуху. – 1934. – Т. 4, № 2. – С. 198–202.

28. Малиновський А. Є., Лавров Ф. А. Про вплив електричного поля на процеси горіння в газах // Фізика горіння і вибуху. – 1931. – Т. 2, № 3–4. – С. 530–534.

29. Качан Ю. Г., Коваленко В. Л., Спекторова Ю. Б. Моделювання температурного режиму газової опалювальної печі за наявності просторового електричного поля // Металургія: Наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2013. – Т. 30. – С. 121–125.

30. Гусовський В. Л., Ліфшиць А. Е., Тимчак В. М. Прилади для спалювання опалювальних і теплових печей: підручник. – М.: Металургія, 1981. – 272 с.