МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

Кваліфікаційна робота (проект)

магістра

на тему Дослідження статей теплового балансу регенеративного колодязя з метою зменшення теплових втрат

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1744
спеціальності Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
М. А. Небилиця
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н. Барішенко О.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент директор ТОВ «Електротехмаш»
І.А. Курілець

Запоріжжя 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно -інтегровані технології та робототехніка
Спеціалізація _____
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«____»_____20____року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Небилиці Микиті Анатолійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Дослідження статей теплового балансу регенеративного колодязя з метою зменшення теплових втрат керівник роботи Барішенко О.М., доцент, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «19» вересня 2025 року № 1304-с.

2 Строк подання студентом роботи 10 грудня 2025 р.

3 Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз втрат тепла, розробка моделі нагріву, розробка системи управління.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) структурна схема, функціональна схема автоматизації, схеми технічного завдання, результати аналізу проекту.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Всі	**Доц.Барішенко О.М.**		

7 Дата видачі завдання 24.01.2025 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	**Аналіз стану автоматизації існуючого виробництва. Постановка задачі дослідження**	**27.01-09.03.2025**	
2	**Розробка моделі нагріву сталі**	**26.03-08.06.2025**	
3	**Аналіз запронованних алгоритмів вирішення недоліків нагріву**	**09.06-22.06.2025**	
4	**Розробка системи управління розглянутих способів**	**23.08-06.10, 24.10-27.11.2025**	
5	**Оформлення презентації до доповіді**	**28.11-14.12.2025**	

Студент _____ Микита НЕБИЛИЦЯ
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ Олена БАРІШЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Сергій БАШЛІЙ
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Небилиця М. А. Дослідження статей теплового балансу регенеративного колодязя з метою зменшення теплових втрат.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка», науковий керівник: О. М. Барішенко, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2025.

У роботі запропоновано один з ефективних способів рівномірного нагріву металу - розподілений об'ємний спосіб спалювання палива з організованою рециркуляцією пічних газів. До переваг об'ємного спалювання палива відносяться низька кількість шкідливих викидів з-за відсутності високотемпературних зон, які властиві факельному спалювання палива; рівномірне температурне поле в робочій зоні печі; передумови до відновлення оксидів азоту продуктами неповного згорання палива в робочому просторі печі.

Наведені методи організації об’ємно-регенеративного спалювання палива та рециркуляції пічних газів у нагрівальних печах з метою зменшення теплових втрат.

Ключові слова: НАГРІВАЛЬНИЙ КОЛОДЯЗЬ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ФАКЕЛЬНЕ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА, ОБ’ЄМНО-РЕГЕНЕРАТИВНЕ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА, ТЕПЛОВІ ВТРАТИ.

ABSTRACT

M. Nebylytsia Investigation of thermal balance components of a regenerative soaking pit to reduce heat losses.

Master’s qualification thesis for a degree in specialty 174 "Automation, Computer-Integrated Technologies, and Robotics", supervisor: O.M. Barishenko, Zaporizhzhia National University, Yuriy Potebnia Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems. Zaporizhzhia, 2025.

The thesis proposes one of the effective methods for uniform metal heating: distributed volumetric fuel combustion with organized recirculation of flue gases. The advantages of volumetric fuel combustion include a low amount of harmful emissions due to the absence of high-temperature zones inherent in flame combustion; a uniform temperature field in the furnace working zone; and prerequisites for the reduction of nitrogen oxides by products of incomplete fuel combustion within the furnace workspace.

Methods for organizing volumetric-regenerative fuel combustion and flue gas recirculation in heating furnaces are presented with the aim of reducing thermal losses.

Keywords: SOAKING PIT, AUTOMATED CONTROL SYSTEM (ACS), FLAME COMBUSTION, VOLUMETRIC-REGENERATIVE COMBUSTION, HEAT LOSSES.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1. АНАЛІЗ ВТРАТ ТЕПЛА У РЕГЕНЕРАТИВНИХ НАГРІВАЛЬНИХ КОЛОДЯЗЯХ 12
1.1 Тепловий і температурний режими 12
1.2 Аналіз способів нагріву промислових злитків 16
1.3 Аналіз існуючих способів опалення регенеративного нагрівального колодязя 19
1.4 Об'ємно-регенеративний спосіб спалювання палива 22
2. РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НАГРІВУ СТАЛІ 24
2.1 Обробка металу у регенеративному нагрівальному колодязі 24
2.2 Рішення завдання підвищення якості теплової обробки матеріалів 26
2.3Тепловий баланс регенеративного нагрівального колодязя з факельним способом спалювання палива 28
2.4 Моделювання теплової роботи регенеративних нагрівальних колодязів .. 32
2.5 Рекомендації щодо удосконалення роботи колодязя 36
3. АНАЛІЗ РОБОТИ ПЕЧІ З ВИКОРИСТАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОГО СПОСОБУ ОПАЛЕННЯ 38
3.1 Організація об'ємно-регенеративного способу спалювання палива 38
3.2 Динамічні характеристики палива і повітря в пальникових пристроях при об'ємно-регенеративному способі спалювання палива в промислових печах 41
3.3 Організація рециркуляції пічних газів у нагрівальних промислових печах з метою підвищення якості нагріву металу 49
4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РОЗГЛЯНУТИХ СПОСОБІВ ОПАЛЕННЯ РЕГЕНЕРАТИВНОГО КОЛОДЯЗЯ 60
4.1 Апаратні та програмні засоби автоматизованої системи управління нагрівом злитків 60

4.2 Розробка системи управління технологічним процесом з об’ємно-регенеративним спалюванням палива 61
4.3 Розробка мнемосхеми 63
5. ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕГЕНЕРАТИВНИМ КОЛОДЯЗЕМ 69
5.1 Проведення теоретичних експериментів роботи системи управління при різному спалюванні палива 69
6. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЕФЕКРИВНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ 73
6.1 Техніко-економічні показники роботи регенеративного нагрівального колодязя з опаленням із центру поду 73
6.2 Ефективність та рекомендації до застосування за результатами проведених розробок 76
7. ОХОРОНА ПРАЦІ 78
7.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих факторів 78
7.2 Аналіз умов праці 82
7.3 Заходи по забезпеченню безпеки праці та виробничої санітарії 86
7.4 Засоби індивідуальних захисту 87
7.5 Санітарно-побутові приміщення і пристрої 88
7.6 Пожежна безпека 89
ВИСНОВКИ 92
Список використаних джерел інформації ..... **Error! Bookmark not defined.**

ВСТУП

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Нагрівальні печі промисловості є одними з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів в Україні. Дослідження показують, що питомі витрати палива в печах вітчизняних промислових підприємств значно вище, ніж цей же показник в розвинених країнах. Кількість шкідливих викидів в атмосферу також залежить від ефективності роботи печей. Застосування сучасних теплотехнічних рішень, впровадження раціональних режимів нагріву та автоматизованих систем управління в значній мірі, зумовлюють конкурентоспроможність продукції, рівень виробництва і відповідність теплотехнічних агрегатів передовим вимогам.

В даний час широкого поширення набувають високоефективні теплоутилізатори - малогабаритні регенератори з насадкою, що має високорозвинену поверхню теплообміну. За допомогою таких сучасних регенераторів можливо утилізувати до 90% теплоти відхідних з печі димових газів, підігріти повітря горіння до 900 - 1000 °С і істотно знизити витрату палива в нагрівальних паливних печах. Високотемпературний підігрів повітря змінює характер загоряння і горіння палива, дозволяючи його спалювати в будь-якому співвідношенні з окислювачем. Питання збільшення ступеня рівномірності температурного поля в робочому просторі нагрівальних печей, зниження утворення шкідливих викидів при горінні і окалиноутворення при нагріванні металу в умовах високотемпературного підігріву повітря недостатньо вивчені і вимагають додаткових досліджень.

Якісний і енергоефективний нагрів металу в нагрівальних печах з регенеративної системою утилізації теплоти димових газів можна здійснити за допомогою управління процесами спалювання палива, руху пічних газів і теплопередачі. Організація розподіленого тепловиділення можлива за рахунок регламентованого перемішування реагентів горіння, вибору динамічних характеристик пічних газів, конструктивних параметрів печі і її

елементів. Важливе значення для забезпечення стандартного і рівномірного температурного поля в нагрівальних печах має рециркуляція і періодичний реверс пічних газів, характерний для печей, обладнаних регенераторами. Актуальності набувають питання розробки принципів автоматизованого управління промисловими нагрівальними печам з високотемпературної підігрівом повітря і розподіленим тепловиділенням в робочому просторі.

Таким чином, комплексне вирішення проблеми підвищення якості нагріву металу в нагрівальних печах, зниження витрати палива і кількості шкідливих викидів в атмосферу за рахунок керування спалюванням палива, рухом пічних газів і теплопередачою визначають актуальність розвитку наукових основ тепломасообмінних процесів при нагріванні металу в промислових печах з високотемпературним підігрівом повітря.

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою магістерської роботи є розробка науковогоудосконалення способу спалювання палива у нагрівальних печах.Як удосконалення пропонується розподілене спалювання палива, високотемпературний підігрів повітря, рециркуляція і реверс пічних газів в робочому просторі, розробка автоматичної системи управління.

Об'єкт дослідження:способи спалювання палива у нагрівальних печах.

Предмет дослідження:регенеративний нагрівальний колодязь з опаленням із цента поду.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання:

– провести аналіз і узагальнити наукову інформацію про сучасні напрямки опалювання нагрівальних печей;

– теоретично обґрунтувати ефективність застосування розподіленого об'ємного спалювання палива в промислових нагрівальних печах, обладнаних регенеративної системою утилізації теплоти димових газів;

– підтвердити можливість підвищення енергоефективності, якості нагріву металу, ресурсозбереження та зниження шкідливих викидів за рахунок регламентованого перемішування палива та високотемпературного повітря, розподіленого об'ємного тепловиділення в робочому просторі нагрівальних печей, управління рухом пічних газів;

– розробити принципи організації регламентованого перемішування реагентів горіння і розподіленого спалювання палива в нагрівальних печах за рахунок конструктивних параметрів печі і її елементів, газодинамічних характеристик пічних газів, їх реверсу і рециркуляції;

– розробити принципи конструювання нагрівальних печей та їх елементів, що забезпечують енергоефективний і якісний нагрів металу;

– розробити автоматизовану систему управління;

– провести дослідження на основі теплового балансу, при зміні витрати палива, температури підігрітого повітря.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Математичне моделювання процесів горіння палива, руху газів і теплообміну в нагрівальних печах з регенеративної системою утилізації теплоти димових газів здійснювалося за допомогою чисельного рішення диференціальних рівнянь з умовами однозначності, відповідними досліджуваного процесу. Для оцінки енергоефективностіщодо вдосконалення нагрівального колодязя використовувався тепловий баланс.

НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Розроблено автоматизовану систему управління димоповітряним клапаном, та реалізовано у програмному пакеті SCADA. При вимірюванні температури в підрегенеративному просторі система по заданому значенню температури здійснює перекидання клапану.

2. Проведено теоретичні дослідження на основі розрахунку теплового балансу та встановлено ефективність впровадження удосконаленого способу спалювання палива.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в тому, що дослідження теплових втрат дозволять правильно удосконалити способи спалювання палива.

Була розроблена мнемосхема регенеративного нагрівального колодязя, яка відображає процеси, що відбуваються в робочій камері печі під час термообробки металу та у ній впроваджено нову систему управління, яка дозволяє скоротити час нагріву злитків та витрату палива.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК

Теоретичні дослідження виконані автором самостійно. У наукових працях автора, виконаних разом зі співавторами, його особистий внесок полягає: в розробці системи управління роботою димоповітряним клапаном.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Матеріали магістерської роботи були повідомлені та обговорені на наукових конференціях ЗДІА.

СТРУКТУРА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Магістерська робота складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, переліку посилань і вміщує 95 сторінок основного тексту, 12 таблиць, 18 рисунків.

1 АНАЛІЗ ВТРАТ ТЕПЛА У РЕГЕНЕРАТИВНИХ НАГРІВАЛЬНИХ КОЛОДЯЗЯХ

Прокатний цех займає друге місце, після доменного виробництва за витратами енергії на виготовлення готової продукції. 95% - це газ і електроенергія. На нагрів заготівок під прокатку в печах доводиться 60%, а безпосередньо на прокатку - 40% енерговитрат. Співідношення палива для нагрівальних печей: природний газ - 40%, коксовий газ - 30%, доменний газ - 25%, і 5% мазут [1].

Нагрівальні печі відносяться до основного обладнання прокатних цехів. У більшості випадків помилки, що виникають при нагріві металу, неможливо виправити. Від їх роботи залежать обсяг, якість і економічність виробництва продуктів прокату.

З переходом на використання безперервнолитої заготовки зливковий переділ поступово замінюють і кількість нагрівальних колодязів в експлуатації скорочується. Нагрівальні колодязі переважно використовуються при виробництві прокату зі спеціальних марок сталей та плит на товстолистових станах.

Зростають вимоги до якості продукції та її конкурентоспроможності на світовому ринку, що мотивує до перегляду підходів до конструювання нагрівальних паливних печей, організації процесів згорання газоподібного палива і його раціонального використання, розробки сучасних алгоритмів управління металургійними агрегатами і методів оптимізації виробничих процесів, в тому числі з використанням штучного інтелекту.

1.1Тепловий і температурний режими

Нагрівальні колодязі є камерними печами періодичної дії зі змінним у часі тепловим і температурним режимом. У нагрівальних колодязів, які є об’єктом дослідження в даній роботі, нагрів металу здійснюється садками:

після видачі нагрітих злитків ділянку колодязів знову завантажують злитками. При видачі та посадці злитків в результаті частого відкривання кришки кладка робочого простору нагрівальних колодязів охолоджується. При роботі колодязів на гарячому посаді в перший період нагріву температура злитків вище температури поверхні кладки, і основний споживач тепла в цей період - кладка колодязя. На рис. 1.1 показаний температурний режим, приведений тепловий баланс колодязя при нагріві злитків гарячого посаду для різних періодів.

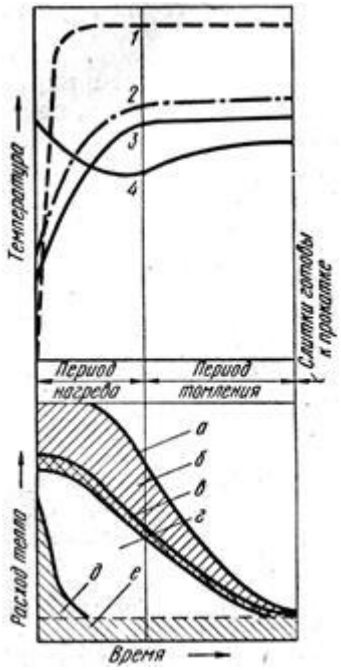


Рисунок 1.1. Температурний режим і тепловий баланс нагрівального колодязя при нагріванні зливків гарячого посаду:

1 - температура кришки; 2 - температура відхідних газів; 3 - температура поверхні злитка; 4 - температура середини злитка; а - загальна витрата тепла; б - втрати тепла з продуктами згоряння; в - втрати тепла внаслідок неповноти горіння палива; г - витрата тепла на нагрів металу; д - тепло, поглинене кладкою, охолодженої при відкриванні колодязя; е - втрати тепла через кладку.

З рисунка видно, що в початковий період нагріву подають максимальну кількість тепла, відповідно теплової потужності колодязів. Після того, як кладка досягне своєї робочої температури, починається інтенсивний нагрів металу. Витрату тепла підтримують максимальною до тих пір, поки

температура тієї частини злитка, яка нагрівається швидше, не досягне заданого значення – це період нагріву. Далі наступає період витримки, відбувається поступове зменшення витрати тепла, так як протягом цього часу температура поверхні злитків залишається постійною і тепло витрачається тільки на прогрів злитку по перерізу. У цей період температура відхідних продуктів згоряння залишається приблизно постійною.

Теплову потужність нагрівальних колодязів обирають таким чином, щоб забезпечити швидкий підйом температури кладки і поверхні злитків на початку нагріву. При зниженій тепловій потужності період нагріву затягнеться, а період витримки скоротиться, і повний цикл нагріву буде невигідно великим. При завищеній максимальній витраті палива період нагріву скоротиться, але збільшиться нерівномірність температури по перетину злитка, і період витримки затягнеться. Це також викликатиме надмірне збільшення тривалості повного циклу нагріву.

На роботу нагрівальних колодязів дуже впливає початкова температура злитків. Зазвичай нагрівальні колодязі працюють великою мірою на гарячому посаді, тобто на ділянку нагріву до температури прокатки (приблизно 1200 ºС) розташовують ще не повністю остиглі після розливання злитки, температура яких 700 - 850 ºС. Чим вище частка гарячого посаду і початкова температура злитків, тим більше продуктивність нагрівальних колодязів і тим нижча питома витрата тепла на нагрів металу.

На рисунку 1.2 наведені дані, що показують залежність повної тривалості нагріву від температури посаду 7-т зливків і величини теплової потужності.

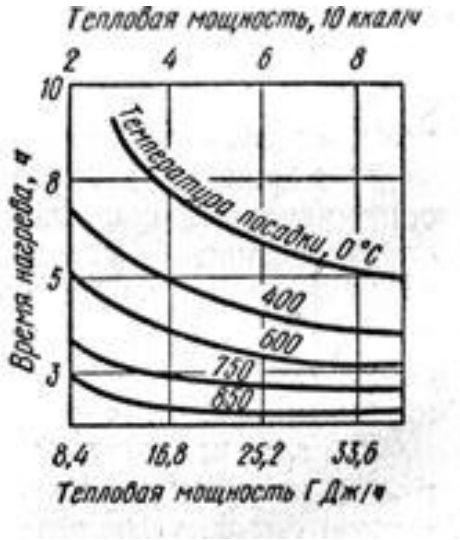


Рисунок1.2. Залежність тривалості нагріву від температури поверхні злитків і теплової потужності колодязя

По рисунку видно, що вплив теплової потужності тим більше, чим нижче температура посада злитків, так як чим вище температура посада, тим коротший період нагріву і нижче максимальна витрата палива.

Оптимальне значення теплової потужності (за хімічним теплом палива) лежить в межах 200-300 МДж/т садки. Робоча температура в нагрівальних колодязях становить 1350-1400 ºС. Для забезпечення робочої температури потрібно спалювати паливо так, щоб калориметрична температура згорання досягала 2100-2200 º С [2].

У нагрівальних колодязях регенеративного типу недосконала система спалювання палива має істотні недоліки. Згорання палива починається над газовими регенеративними насадками, через які подається паливо, протікає в робочому просторі і завершується в протилежних насадках. Це призводить до нерівномірності нагрівання садки металу, так як злитки, розташовані ближче до регенератора, нагріваються значно швидше, ніж злитки в середній частині робочого простору. Другий недолік: для автоматизації теплового процесу печі необхідно правильно обрати в робочому просторі таку точку, по зміні температури якій можна будувати процес автоматизації. В регенеративних колодязях надійно вибрати таку точку неможливо, оскільки в результаті

перекидання клапанів і поганого змішування газу і повітря температура може постійно змінюватися по всій довжині робочого об'єму колодязя, а також можливі і випадкові коливання температур.

1.2 Аналіз способів нагріву промислових злитків

Найбільш ефективним шляхом створення енергозберігаючих теплотехнологій є розробка і реалізація режимів гарячого посаду великотоннажних (блюмінговий і слябінгових) злитків в нагрівальні пристрої, в тому числі з незатверділої серцевиною. За даними роботи [3], при підвищенні середньої температури посада злитків в нагрівальні пристрої (рекуперативні і регенеративні колодязі) на 100 °С середня величина зниження питомих витрат умовного палива складає 4,8 кг у.п./т, а чаду металу - 3-4 % в результаті скорочення тривалості перебування злитків в камері колодязя. Впровадження таких режимів нагріву може бути здійснено з мінімальними витратами, пов'язаними в основному з організацією транспортування злитків до відділення нагрівальних колодязів з максимальним вмістом рідкої фази.

Виконані комплексні дослідження по вивченню закономірностей нагріву великотоннажних злитків гарячого посаду показали, що основними факторами, що визначають теплотехнічні показники роботи осередків нагрівальних колодязів (питома витрата умовного палива, продуктивність колодязів), є кількість рідкої серцевини в зливку в момент посада і вибір відповідного раціонального температурного режиму[4].

Існуючі способи нагріву злитків з підвищеним теплосовмістом і в першу чергу з незатверділої серцевиною можна розділити на дві групи:

– нагрів з витримкою без подачі палива;

– нагрів з регламентованої швидкістю підйому температури в робочому просторі в першому періоді нагріву.

Нагрівання злитків з витримкою без подачі палива

Технологія нагріву злитків з витримкою без подачі палива зводиться до того, що після посада злитків в нагрівальний колодязь і закриття кришки паливо або не подають, або подають так звану «чергову витрату» газу, яка необхідна для безпечного запалювання факела пальника при включенні колодязя в роботу. Далі процес, як правило, ведеться за стандартною традиційною технологією, що включає в себе двухперіодний нагрів (в першому періоді підтримку максимальної теплової потужності колодязя $M_{общ}$=const до виходу на контрольну температуру, в другому - нагрівання при постійній температурі печі $t_п$= const).

У Дніпропетровському металургійному інституті (нині Національна металургійна академія України) розроблений спосіб нагріву злитків з об'ємом незатверділої серцевини на рівні 20%. При цьому злитки завантажують в колодязь, розігрітий до температури на 50-100 °С нижче середньої температури поверхні злитків, а витримку без подачі палива продовжують до тих пір, поки в зливку не залишиться 5-7% м'якого металу, після чого подається максимальна витрата газу і далі нагрів ведеться за традиційною технологією.

У роботах [5-6] наведені режими нагріву великотоннажних злитків з незатверділої серцевиною для умов Криворізького державного гірничо-металургійного комбінату «Криворіжсталь» і Алчевського металургійного комбінату. Так, для умов КГГМК «Криворіжсталь» суть технології підготовки злитка масою 12,5 т полягала в наступному. Через 25-30 хв від кінця розливання злитки роздягали в стриперному відділенні і через 25 хв здійснювали посад в нагрівальні колодязі. У порівнянні зі звичайною технологією, при якій також передбачено нагрів з високим тепловмістом, час від кінця розливання до посада в колодязі скоротили на 25-30 хв. Після посада злитків в колодязі подача палива не здійснювалася в Протягом 2,4 год, а загальний час подачі палива склало 2,0 год (замість 5,67 год). Це дозволило скоротити час нагріву злитка до необхідної температури на 1,27 год і досягти зниження питомих витрат умовного палива 1,4 кг у.п. / т. Для

умов нагріву злитків в регенеративних колодязях ВАТ «Алчевський металургійний комбінат» авторами показано, що при нагріванні злитків масою 9,45-13,9т з рідкою серцевиною в кількості 25% паливо витрачається майже виключно на компенсацію теплових втрат робочої камери і з газами, а нагрів злитка здійснюється за рахунок внутрішнього тепловмісту і прихованої теплоти кристалізації. Залежно від кількості рідкої серцевини злитків в момент посада режим нагріву після витримки без палива може бути традиційним дво- або одноступінчастим при $M_{общ}$=const.

Нагрівання злитків з регламентованою швидкістю підйому температури. Україна запропонований спосіб нагріву злитків з рідкою серцевиною [7], згідно з яким злитки перед посадом в колодязь охолоджуються зі швидкістю 250-350 °С/год до досягнення перепаду температур між центром і поверхнею 500-600 °С. Нагрівання в колодязях здійснюють таким чином, щоб температура поверхні підвищувалася зі швидкістю 160-220 °С/год до заданої температури прокатки, забезпечуючи при видачі перепад температур між центром і поверхнею злитка 150-200 °С. Впровадження такої технології дозволяє домогтися збільшення продуктивності колодязів на 10-30% і скоротити питому витрату умовного палива на 5-10% і знизити окалиноуторення на 3-5%.

В роботі [8] наведено спосіб нагріву злитків з незатверділої серцевиною в кількості 5 -30%, який включає в себе трьохперіодний режим нагрівання з регульованою швидкістю підйому температури. Відповідно до даного способу, на першому місці (до завершення кристалізації злитка) швидкість нагрівання складає 120-130 °С/хв, на другій ступені швидкість підвищується до 255-295 °С/хв, при досягненні температури поверхні злитка 1250-1300 °С роблять витримку злитків при постійній температурі печі до тих пір, поки перепад між поверхнею і центром складе 30-50 °С.

На підставі виконаного огляду способів нагріву злитків з підвищеним тепловмістом і в першу чергу з незатверділої серцевиною виходить, що розробка і реалізація режимів гарячого посаду блюмінговий і слябінгових

злитків представляють важливу наукову і технічну задачу як з точки зору дослідження закономірностей процесів підготовки злитків до прокатці, так і з точки зору створення енергозберігаючого технологічного процесу, що передбачає поряд зі значною економією палива збільшення продуктивності металургійних агрегатів.

1.3Аналіз існуючих способів опалення регенеративного нагрівального колодязя

Основним показником теплової роботи печей є їх економічність за умови дотримання вимог щодо якості оброблюваного матеріалу. Споживання енергії в більшості нагрівальних пристроїв вітчизняних підприємств перевищує рівень, досягнутий в промислово розвинених країнах в кілька, а іноді і в десятки разів. Це пояснюється незадовільною роботою паливосплювальних пристроїв, недосконалістю системи утилізації теплоти димових газів, високими втратами теплоти через огорожу печі і іншими причинами. Технологія також впливає на паливоспоживання печей - нерівномірність і нестандартність нагріву садки змушує штучно затягувати процес обробки матеріалів, що також збільшує споживання палива.

Основною причиною перевитрати енергії, на думку багатьох авторів, є незадовільна утилізація теплоти димових газів [9 - 10]. Ряд печей експлуатується і зовсім без теплоутилізаторів. Частка втрат тепла з димовими газами в тепловому балансі нагрівальних печей може досягати 50 і більше відсотків. Тому основним резервом економії палива є повернення теплового потенціалу димових газів в робочий простір печі з реагентами горіння і, рідше, з матеріалом, що нагрівається.

Як показує досвід експлуатації сучасних нагрівальних печей максимальну економію палива можна отримати, застосовуючи сучасні пальниково-утилізаційні пристрої - в першу чергу - регенеративні пальники. Економія палива при їх застосуванні може досягати 50%. Ефективність

роботи регенеративних пальників і теплообмінників з високорозвиненою поверхнею теплообміну пояснюється тим, що в цих пристроях утилізується до 90% теплоти димових газів. З 80-х років минулого століття, коли регенеративні пальники стали активно впроваджуватися у виробництво, по теперішній час реконструйовано практично всі типи нагрівальних печей.

Однак застосування високотемпературного підігріву повітря має і ряд недоліків, які не дозволяють говорити про вирішення проблеми теплотехніки пічних агрегатів і удосконаленню їх теплової роботи.

По-перше, відомо, що утворення оксидів азоту, які є основними забруднювачами при спалюванні палива, прямо пов'язане з температурою факела. Згідно з механізмом утворення оксидів азоту, запропонованого Я.Б. Зельдовичем ще в 1947 році «швидкі» і «паливні» оксиди азоту утворюються в області порівняно низьких температур (1000 - 1900 К) - в кореневій частині факела. Швидкості утворення «швидких» і «паливних» оксидів азоту слабо залежать від температури, але і їх кількість не є визначальним. «Термічні» оксиди азоту утворюються при температурах понад 1300 К. На утримання «термічних» NO_x в продуктах згоряння найбільший вплив роблять: температура факела і продуктів горіння, умови сумішоутворення і температури підігріву компонентів горіння. Зміст оксидів азоту в димових газах залежить, в основному, від кількості «термічних» NO_x, що утворилися при горінні. Таким чином, високотемпературний підігрів повітря в регенераторах регенеративних пальниках призводить до різкого зростання кількості викидів оксидів азоту, не компенсує навіть зниженням витрати палива.

По-друге, високотемпературний факел, що утворюється при використанні регенеративних пальників підсилює ефект нерівномірного нагріву садки як по довжині робочого простору (нестандартність нагріву), так і по перетину металу, який нагрівається, - за рахунок зростання теплового потоку на поверхні металу, яка повернена до факела. До недоліку факельного

спалювання в регенеративних печах можна віднести місцевий перегрів і оплавлення металу високотемпературним факелом.

Третє, з цієї ж причини, інтенсифікується процес окалиноутворення, швидкість якого також залежить від температури середовища і пічної атмосфери.

Є ряд рішень, спрямованих на усунення перерахованих недоліків в паливних промислових печах.

Способи нейтралізації шкідливих викидів промислових печей можна поділити на дві основні групи:

- технологічні методи зниження концентрації шкідливих викидів;

- методи, пов'язані із застосуванням спеціального обладнання для хімічної очистки димових газів. Слід зазначити, що хімічні, сорбційні, окислювально-сорбційні і відновні методи зниження шкідливих викидів дуже дорогі і пов'язані з введенням в технологічні лінії додаткових очисних систем і агрегатів, вартість яких часто перевищує вартість основного обладнання.

До технологічних методів належать: підготовка палива (додавання присадок, води і (або) пара, і ін.); впорскування води та (або) пара в повітря згорання; впорскування води і додавання пара в осередок згорання; штучна і природна рециркуляція; поетапне і багатоступінчате спалювання палива; згорання з малим надлишком повітря; поліпшення умов теплообміну (підвищення випромінювання факелу) і т.д.

Всі перераховані методи спрямовані на зниження температури вогнища згорання або розтягування факелу за обсягом печі.

Основним способом досягнення рівномірності нагріву садки в печах є раціональне управління рухом газів, що забезпечує рівномірний перенесення теплоти до локальних ділянок металу і футерування.

В існуючих печах рівномірності і стандартності нагріву домагаються шляхом застосування внутрішньої і зовнішньої рециркуляції, реверсу пічних газів, імпульсного нагріву, гойдання пальників, зміни напрямку факелу струменем компресорного повітря і іншими способами управління

температурним полем. Ці методи пов'язані з усуненням локальних високотемпературних зон факела і створенням для металу стандартних умов нагріву.

1.4 Об'ємно-регенеративний спосіб спалювання палива

Традиційні пальники проектуються таким чином, щоб забезпечити найбільш повне змішування палива з повітрям. Незадовільне перемішування реагентів згорання веде до утворення, так званого, фізичного недопалу і перевитрати палива для забезпечення технологічного процесу. Це можна віднести практично до всіх нагрівальних печей, обладнаних рекуператорами або які експлуатуються без теплоутилізаторів. Спалювання палива поза робочого простору рекуперативних печей веде до перегріву рекуператорів, виходу їх з ладу, а в разі, коли теплообмінник відсутній, взагалі до прямих втрат палива.

В регенеративних печах ситуація інша. Якщо повне згорання палива організувати до виходу димових газів з насадки регенераторів, то хімічна теплота, що виділилася, буде повернута в піч з підігрітим повітрям або паливом під час циклу нагріву реагентів в регенераторі. Єдиною умовою в такому випадку є недопущення допалу палива після насадки регенераторів. Таким чином, в нагрівальних печах, обладнаних регенераторами, можлива організація об'ємного згорання палива за рахунок регульованого якості перемішування палива та повітря, підігрітого в регенераторах, при якому у всьому обсязі робочої камери створюється малоокислювана атмосфера. Застосування регенераторів з високорозвиненою поверхнею теплообміну, наприклад, з кульковою або стільниковою насадкою, в такому випадку переважно. Завдяки малим розмірам насадки таких регенераторів, вони розміщуються в безпосередній близькості до печі. Зменшуються втрати теплоти при русі гарячого диму і підігрітого повітря на ділянці між регенератором і піччю, повністю виключаються підсоси холодного повітря в

дим і вибивання підігрітого повітря, пов'язані з не газощільністю димоходів, що мають місце при традиційних цегляних регенераторах.

Застосування об'ємного спалювання палива призводить до зміни умов локальної теплопередачі до металу і футеровки в печі. Відсутність концентрованих джерел теплоти призводить до того, що вся поверхня металу знаходиться в рівнозначних умовах нагріву. У печі немає застійних зон або металу, що знаходиться в таких зонах. Організувати об'ємне згорання палива можна за допомогою інтенсивної рециркуляції пічних газів, згорання палива при регульованому його перемішуванні з повітрям і регламентованого перемішування реагентів горіння з подальшим розподіленим спалюванням палива в печі.

Постановкою задачі даної магістерської дипломної роботи є впровадження запропонованого об'ємно-регенеративного способу спалювання палива у регенеративному колодязі з опаленням з центра поду, при якому створюються умови для стандартного нагрівусадки металу, та створення системи управління для рівномірного розподілу продуктів горіння за обсягом робочого простору печі.

2 РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НАГРІВУ СТАЛІ

2.1 Обробка металу у регенеративному нагрівальному колодязі

Нагрівання металу є найважливішою технологічною операцією, в значній мірі визначає економічні показники виробничого процесу в цілому.

Нагрівальні печі служать для термічної обробки металу з метою зміни його структури і механічних властивостей. Цикл роботи печі складається з послідовних операцій загрузки злитків, їх теплової обробки і потім вивантаження нагрітих злитків для подальшої обробки. Робочий простір регенеративного колодязя в малій ступені заповнений оброблюваним матеріалом, який розташовується на поду. Основний обсяг робочого простору заповнений полум'ям і димовими газами, які передають теплоту матеріалу. Нагрівальний колодязь працює на коксодоменному газу, для його спалювання служить пальник. При звичайному факельному горінні суміш горючого газу і повітря не заповнює весь обсяг печі. Горіння відбувається в місці зустрічі потоків газу і повітря на виході з пальника.

Нагрівання металу в обтискному цеху здійснюється в нагрівальних колодязях регенеративного типу з опаленням із центра подини. Схема колодязя представлена на рис.2.1.

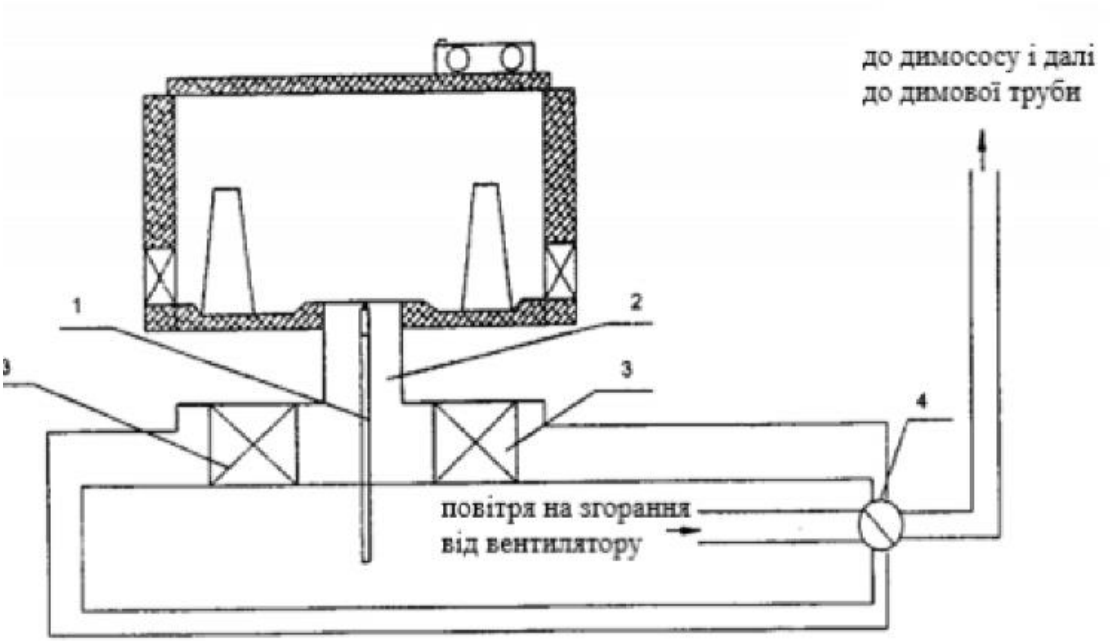


Рисунок 2.1 - Схема регенеративного нагрівального колодязя з опаленням з центру подини:

1 - газоподаюча труба з соплом; 2 - горловина; 3 - регенератори; 4 - димоповітрянний перекидний клапан.

Одним з ефективних способів спалювання палива при високотемпературному підігріві повітря є організація об'ємного згорання. Прикладом може служити нагрівальний колодязь з центральним пальником[16].

Регенеративний колодязь з опаленням з центру подини має майже однакову довжину і ширину камери 4,5-5,0 м і висоту 3,0-3,5 м. У центрі поду встановлена труба з соплом для подачі газоподібного палива, навколо якої розташована футерована вогнетривом горловина, розділена герметичною перегородкою на дві рівні частини. Колодязь має два кулькових компактних регенератора для нагріву повітря і один димовоздушний клапан, за допомогою якого відбувається перемикання регенераторів з диму на повітря і з повітря на дим. Кожна з двох частин горловини з'єднана за допомогою вогнетривких каналів з одним з двох регенераторів. Протягом 3-5 хвилин між перекиданнями клапана кулькова насадка одного регенератора нагрівається димом, що йде з камери колодязя, при цьому дим

охолоджується в регенераторі від 1300 ° С до 200 ° С; в цей час через насадку другого регенератора проходить повітря, яке нагрівається до 1100 ° С і подається в горловину пальника. Після перекидання клапана потоки диму і повітря міняються місцями.

В умовах нагріву заготовок зі змінними теплотехнічними параметрами, а також при змінному темпі видачі заготовок з печей отримання необхідної якості нагріву заготовок можливо лише при автоматичному управлінні роботою ділянки нагрівальних печей.

Нагрівальний колодязь обладнаний системою теплового контролю і автоматичного регулювання, що складається з наступних вузлів:

а) вимірювання і регулювання температури в робочому просторі печі;

б) вимірювання витрати газу і повітря і регулювання співвідношення газ - повітря;

в) вимірювання розрідження перед димовим шибером;

г) автоматичної перекидання клапанів;

д) вимірювання температури газів, що відходять;

е) вимірювання тиску змішаного газу в загальному колекторі.

2.2 Рішення завдання підвищення якості теплової обробки матеріалів

Під якістю теплової обробки прийнято розуміти ступінь відповідності реальних параметрів температурного поля оброблюваного матеріалу протягом усього періоду обробки конкретним вимогам, що дозволяє отримати необхідні кондиції матеріалу: розплавлення або затвердіння матеріалу із заданою швидкістю, досягнення заданого розподілу температур за об'ємом тіла, неперевищення термічними напруженнями допустимого рівня, відсутність тріщиноутворення і т.д.

Таким чином, завдання досягнення заданого рівня якості теплової обробки матеріалів розпадається на дві підзадачі:

- визначення раціональних (оптимальних) параметрів температурного поля і параметрів теплового впливу,які дозволяють їх досягти;

- забезпечення підтримки заданих параметрів теплового впливу протягом реального процесу теплової обробки.

Сьогодні одним з найбільш ефективних інструментів рішення першої підзадачі є метод математичного моделювання на основі теплового балансу. В основі математичної моделі лежить диференціальне рівняння нестаціонарної теплопровідності з відповідними умовами однозначності. При цьому можливі пряма і зворотна постановки завдання. При прямій постановці завдання визначається яке температурне поле матиме місце при заданих параметрах теплового впливу. Зворотній завдання дозволяє визначити параметри теплового впливу (теплові потоки, поле температур гріє або охолоджуючої середовища), що забезпечують заданий температурне поле.

Друга підзадача сьогодні вирішується засобами АСУ ТП, при цьому важливе місце в цій системі може займати математична модель теплового процесу.

Під математичною моделлю процесу розуміють або набір розрахункових залежностей, що дозволяють визначати параметри функціонування пристрою, або технології при заданих чинниках, або набір диференціальних рівнянь, що описують досліджувані процеси.

Аналіз математичних моделей процесів теплової обробки матеріалів в різних технологіях показав, що вони базуються на рішенні чи одного диференціального рівняння нестаціонарної теплопровідності, або цього рівняння в комбінації з іншими диференціальними рівняннями. Для побудови математичної моделі слід враховувати тепловий баланс.

2.3 Тепловий баланс регенеративного нагрівального колодязя з факельним способом спалювання палива

Печі періодичної дії характеризуються змінним в часі температурним режимом. Це накладає деякі особливості на спосіб складання теплового балансу печей. Перш за все, рівняння теплового балансу, також пов'язує надходження та витрачання теплоти, відноситься не до одиниці часу, а до тривалості нагріву металу:

$$Q_{прих} = Q_{расх} \tag{2.1}$$

Прихід теплоти складається з наступних статей, МДж:

– хімічної теплоти палива $Q_{хім}$;

– теплоти, що вноситься підігрітим повітрям $Q_{фіз.в}$;

Витрата теплоти складається з наступних статей, МДж:

– теплоти, витраченої на нагрів металу $Q_м$;

– втрат фізичної теплоти з продуктами горіння, що йдуть з робочого простору печі $Q_{ух}$;

– теплові втрати робочої камери $Q_{пот}$, до яких входять втрати тепла через кладку $Q_{кл}$ та втрати випромінюванням з робочої камери $Q_{изл.}$

Таким чином, рівняння теплового балансу можна представити у вигляді:

$$Q_т + Q_в = Q_м + Q_{ух} + Q_{пот} \tag{2.2}$$

Прихід теплоти

Хімічна теплота від горіння палива:

$$Q_т = B_г \cdot Q_н^р \cdot \tau \tag{2.3}$$

де В – подача палива 2264 м^3/год ;

$Q_н^р$ – теплота згоряння палива, 6637 МДж/м^3;

τ – час нагріву, 6 годин.

$$Q_т = 2264 \cdot 6637 \cdot 6 = 90157008кДж = 90157МДж$$

Фізична теплота підігрітого повітря для горіння палива при $t_в$ = *800°С:*

$$Q_в = B_в \cdot i_в \cdot \tau \quad (2.4)$$

де $B_в$ – подача повітря, 3000 м^3/год;

$i_в$ - теплоємність повітря, 777 кДж/м^3;

$$Q_в = 3000 \cdot 777 \cdot 6 = 13986000кДж = 13986МДж$$

Витрата теплоти

Теплота, засвоєна металом за нагрівання:

$$Q_м = E \cdot i_м \quad (2.5)$$

де Е - Ємність камери, 68440 кг;

$i_м$– теплоємність металу, 638кДж/м^3.

$$Q_м = 68440 \cdot 638 = 43664720кДж = 43664.7МДж$$

Теплота, що виноситься з робочого простору печі з димом:

$$Q_{ух} = B_д \cdot i_д \cdot \tau \quad (2.6)$$

де $B_д$ – вихід продуктів згоряння, 5023 м^3/год;

$i_д$ - теплоємність продуктів згоряння, 1332кДж/м^3.

$$Q_{ух} = 5023 \cdot 1332 \cdot 6 = 40143816кДж = 40143.8МДж$$

Теплові втрати робочої камери:

$$Q_{пот} = \frac{1,1 \cdot (Q_{кл} + Q_{изл}) \cdot 3,6}{\mu_1} \cdot \mu_2 \cdot \tau \quad (2.7)$$

деμ_1, μ_2 - середнє значення КВП на початку і в кінці нагріву, μ_1= 0,475, μ_2 = 0,521;

$Q_{кл}$ - тепловівтратитеплопровідністю через кладку печі, МДж;

$Q_{изл}$ - теплові втрати випромінюванням з робочої камери, МДж.

Теплові втрати через кладку бічних стін і під колодязя:

$$Q_{кл.ст}=F_{кл}\cdot K\cdot(t_{кл}- t_{ос}) \quad (2.8)$$

де К = $\frac{1}{\frac{S1}{\lambda1}+\frac{S2}{\lambda2}+\frac{1}{\alpha}}$- коефіцієнт теплопередачі через кладку стін і під;

$t_{кл}$- температура внутрішньої поверхні кладки, 1200 °С;

$t_{ос}$ – температура навколишньої середовища, 20 °С;

S_1,S_2 – товщина вогнетривкого и теплоізоляційного слоїв стінки колодязя, S_1= 0,6 м, S_2=0,115 м ;

λ_1, λ_2 – коефіцієнт теплопровідності вогнетривкого и теплоізоляційного слоїв стінки колодязя, λ_1=1,15 Вт/м·К, λ_2=0,3 Вт/м·К;

α – коефіцієнт тепловіддачі от наріжної поверхні кладки к навколишньої середовища, 0,035 Вт/м^2·К;

$F_{кл}$– поверхня кладки, 109,8м^2.

К = $\frac{1}{\frac{0,6}{1,15}+\frac{0,115}{0,3}+\frac{1}{0,035}}$ = 1,134 Вт/(м$_2$·К).

$Q_{кл.ст}$=109,8 · 1,134 · (1200 – 20) = 224123,76 кДж = 224,123 МДж

Теплові втрати теплопровідністю через кладку кришки колодязя:

$$Q_{кл.кр}= F_{кл}\cdot K_{кр}\cdot (t_{кл}- t_{ос}) \quad (2.9)$$

де $F_{кр}$ - поверхня кришки колодязя, 22,09 м^2;

$K_{кр}$- коефіцієнт теплопередачі через кришку, 2,726.

$Q_{кл.кр}$= *22,09* · 2,726 · (1200 – 20) = 71056,46 кДж = 71,1 МДж

Тепловівтратитеплопровідністю через кладку печі

$Q_{кл}$= $Q_{кл.кр}$+ $Q_{кл.ст}$= 146925,576+ 71056,46 = 217982,036 кДж = 217,98 МДж

Теплові втрати випромінюванням з робочої камери визначаються так:

$$Q_{изл}= 5{,}67\cdot F_{окон}\cdot \left[\left(\frac{t_{печ}+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_{кам}+273}{100}\right)^4\right] \quad (2.10)$$

де $F_{окон}$- площа двох вікон в робочій камері, 4,3 м^2;

$t_{печ}$ – температура в печі, 1270 °С;

$t_{кам}$– температура в робочій камері, 1170 °С.

$$Q_{изл}= 5{,}67\cdot 4{,}3\cdot \left[\left(\frac{1270+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{1170+273}{100}\right)^4\right] = 324920{,}969 \text{ кДж} = 324{,}92 \text{ МДж}$$

$$Q_{пот} = \frac{1{,}1\cdot(217982{,}036+324920{,}969)\cdot 3{,}6}{0{,}475}\cdot 0{,}521\cdot 6 = 14148600 \text{ кДж} = 14148{,}6 \text{МДж}$$

Результати розрахунку зводимо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Результати розрахунку теплового балансу регенеративного колодязя з факельним способом спалювання палива

Прихід тепла	МДж	%	Витрата тепла	МДж	%
Хімічна теплота від горіння палива	90157	86.6	Теплота, засвоєна металом за нагрівання	43664.7	43.9
Фізична теплота підігрітого повітря	13986	13.4	Теплота, що виноситься з робочого простору печі з димом	40143.8	42.5
			Теплові втрати робочої камери	14148,6	13.6
	104143	100		104142.1	100

Нев’язка δ = 0,9

Аналіз теплового балансу колодязю показав, що велика частина теплоти відходить в навколишнє середовище з продуктами горіння та

становить 42,5%, тому необхідно здійснювати заходи для усунення цього недоліку.

2.4 Моделювання теплової роботи регенеративних нагрівальних колодязів

При моделюванні режимів нагріву злитків передбачалося, що температура підігріву повітря і газу по ходу нагріву залишається постійною. Робота регенеративних колодязів є циклічною і пов'язана зі зміною напрямку подачі палива і повітря в камеру. По каналах, через які подавалося паливо і повітря, після перекидання клапанів видаляються продукти згоряння. Паливо, яке до цього часу заповнювало канал, викидається в атмосферу, що призводить до збільшеннявитрати палива. Викид палива в атмосферу призводить до його втрати і дозбільшення парникового ефекту. Збільшення часу між перекиданнямклапанів призводить до меншої кількості перекидань і до меншої кількості палива, що викидається в атмосферу.

На рис.2.2 приведена динаміка нагріву злитків при різній витраті доменного газу.

За рис. 2.2 видно, що менша витрата палива призводить до більш повільного підйому температури печі і повільній швидкості нагріву злитків. Результати моделювання нагріву злитка наведені в табл.2.2.

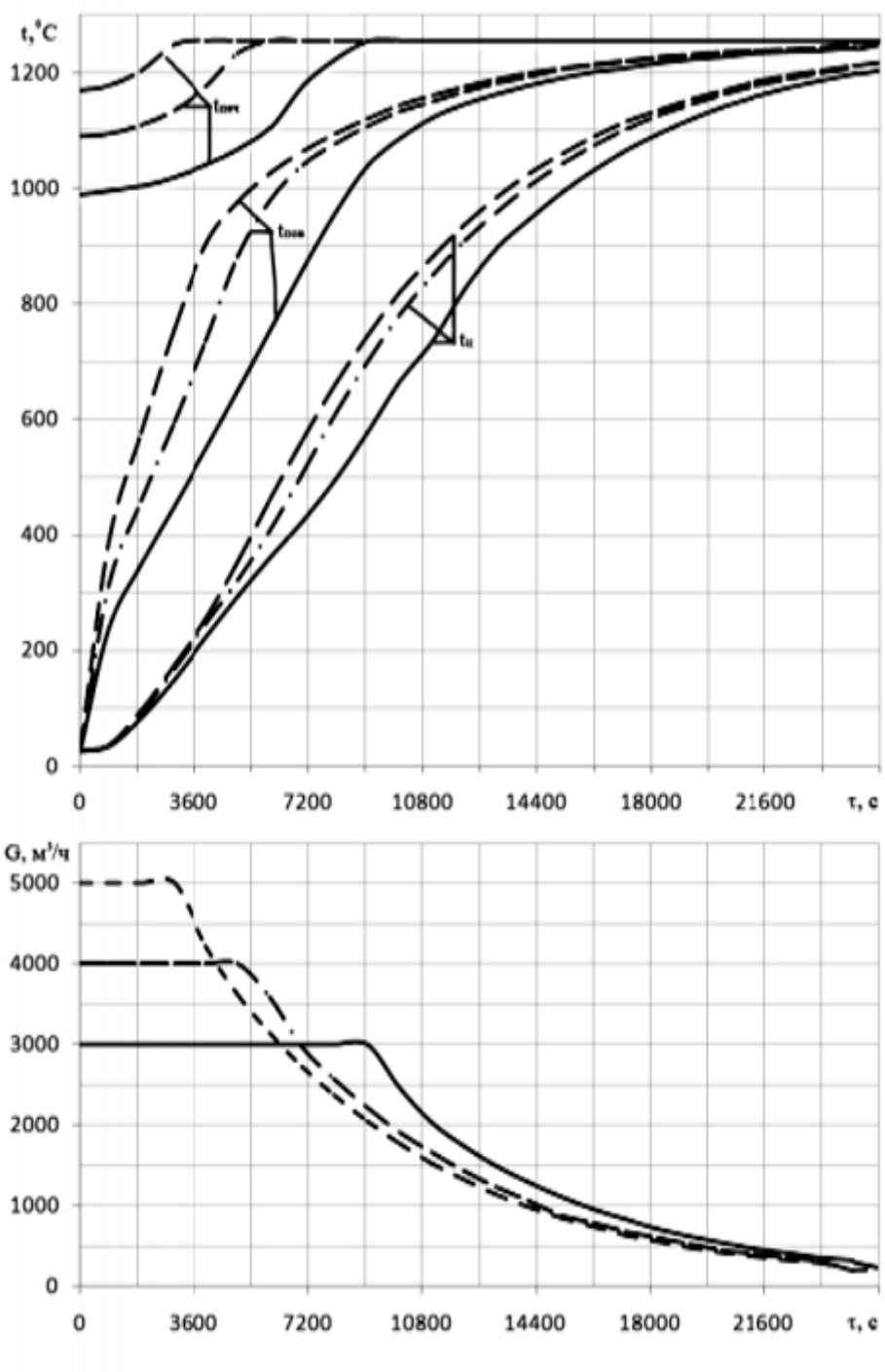


Рисунок2.2 - Динаміка нагріву злитків при різній витраті палива

_____ *витрата газу G=3000 м³/год*
-.-.-.- *витрата газу G=4000 м³/год*
-------- *витрата газу G=5000 м³/год*

Так при витраті палива G=3000 м^3/год температура печі досягає максимального значення $t_{печ}$ =1256 °С тільки через час τ=9000 с. При витраті палива G=5000 м^3/год в момент досягнення максимальної температури печі перепад температуры по перетину становить Δt=550°С, при витраті палива

G=4000 м^3/год перепад температури дорівнює Δt=500°С і при G=3000 м^3/год - Δt=420 °С.

Таблиця 2.2 - Результати моделювання нагріву злитків

Час перекидання, с	Витрата палива, м^3/год	Кількість палива, м^3			Час нагріву, год-хв (с)	Число перекидань	Теплові втрати, м^3
		1 період	2 період	Сума			
900	3000	7085	4115	11200	7-00 (25200)	48	82
900	4000	5594	6166	11760	6-45 (24360)	46	78
900	5000	4224	7856	11880	6-30 (23340)	44	75
780	4000	5650	6090	11740	6-12 (24180)	52	89
Гаряча садка, 900	3000	200	1575	1775	2-32 (9060)	16	27

Досліджувалися режими нагріву злитків при різному часі між перекиданнями. Для всіх варіантів приймалося, що відсутність подачі палива в осередок дорівнювало τ = 120 с.

Кожного разу перекидання клапанів, що дорівнює τ = 900 с і різній витраті палива більший час нагрівання при годинній витраті палива G = 3000м^3/год і дорівнює $\tau_{нагр}$ = 7 год, а при витраті G = 5000 м^3/ год час нагрівання становить $\tau_{нагр}$ = 6 год 30 хв.

Однак загальна витрата палива при годинній витраті G = 5000м^3/год вийде більше, ніж при годинній витраті G = 3000м^3/год. Це викликано тим, що при витраті G = 5000м^3/год відбувається інтенсивний нагрів металу в першому періоді, тобто при постійній витраті палива. Так в першому періоді при витраті G = 5000 м^3/год було витрачено на нагрів 4224 м^3 палива, а при витраті G =3000 м^3/год - 7085 м^3. Але, у другому періоді, коли відбувається вирівнювання температур в тілі і нагрів здійснюється при постійній температурі печі $t^{max}_{печ}$ і зменшеної витраті палива, кількість витраченого палива на нагрів при початковому витраті палива G = 5000 м^3/год склало 7856 м^3, а при G = 3000 м^3/год - 4115 м^3.

При витраті G = 5000 м^3/год нагрів злитка здійснюється більш інтенсивно, ніж при G = 3000 м^3/год. Кількість перекидань n=44 і кількість палива, що втратилось, V= 75м^3 при годинній витраті G = 5000 м^3/год,

менше, ніж при G = 3000 м^3/год. Більш інтенсивній нагрів металу особливо у першому періоді призводить до зменшенню сумарного часу нагріву і зменшенню циклу перекидання клапанів.

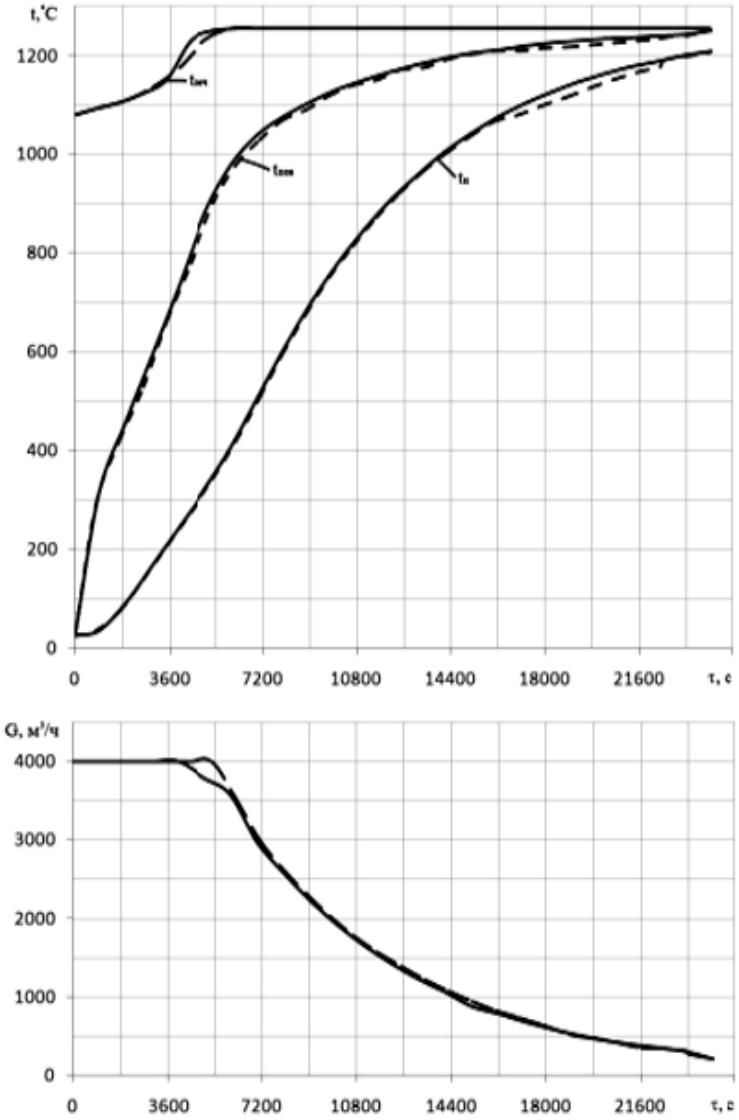


Рисунок 2.3 – Тривалість нагріву злитків при різній тривалості перекидання клапанів

Перекидання клапанів через _____ 900с; - - - - 700с

На рис.2.3 наведені результати моделювання нагріву злитків при різній тривалості між перекиданнями клапанів і однаковому часовій витраті палива G= 4000 м^3/год. При більш частому перекиданні клапанів відбувається зниження інтенсивності нагріву злитків.

Виконано моделювання нагріву злитків гарячого посаду з температурою поверхні $t_п$ = 930 °С при годинному витраті палива G = 3000 $м^3$/год і часом між перекиданнями 900 с. Тривалість нагрівання склала $\tau_{нагр}$ = 2 год 32 хв, сумарна кількість палива на нагрів V = 1775 $м^3$ число перекидань клапанів n = 16, кількість палива, що втрачається за нагрів V = 27 $м^3$.

Як видно з таблиці, зменшення тривалості циклу з τ = 900 с доτ = 780 с привело до того, що при витраті палива G = 4000 $м^3$/год кількість палива на нагрів практично одне і те ж V = 11740 $м^3$. При більш частому перемиканні нагрів зливків виходить більш рівномірним. Це сприяє якнайшвидшому нагрівання. Збільшення числа перемикань призводить до того, що більше палива втрачається в атмосферу.

Таким чином, в результаті моделювання теплової роботи регенеративних нагрівальних колодязів було досліджено, як впливають на тривалість нагріву різні чинники. Показано, що збільшення витрат палива призводить до скорочення часу нагріву, а з іншого боку збільшується кількість витраченого палива на нагрів. Оскільки при більшій часовій витраті палива зменшується число перекидань, то зменшуються і втрати палива в атмосферу.

Застосування гарячого посаду призводить до зменшення витраченого палива на нагрів і скорочення часу нагріву.

2.5 Рекомендації щодо удосконалення роботи колодязя

Якісний та енергоефективний нагрів металу у нагрівальних печах можна здійснити за допомогою управління процесами спалювання палива та рухом пічних газів.

Проаналізувавши процес нагріву злитків у регенеративному нагрівальному колодязі постає необхідність удосконалення методів та пристроїв теплової обробки металу. По результатам дослідження роботи нагрівальної печі виявлено, що найсуттєвіший недолік є нерівномірний

нагрів металу по довжині і висоті робочої камери, тобто так званий нестандартний нагрів. Цей недолік виникає через поширений факельний спосіб спалювання палива, при якому утворюються локальні високотемпературні зони в печі.

Усунення цього недоліку зможе призвести до більш якісної термообробки металу та скорочення її тривалості, що принесе видимий економічний ефект.

Також одним з основних факторів, що впливають на організацію рівномірного температурного поля в нагрівальних печах, є рециркуляція пічних газів.

Виникає необхідність розробити спосіб опалення, який би який би дозволяв управляти швидкістю перемішування продуктів згорання та напрямом їх руху при мінімальних змінах в конструкції печі.

Для рішення вищезгаданих проблем пропонується одним з перспективних способів рівномірної доставки нагрітих газів до поверхні металу, що нагрівається, є розподілений об'ємний спосіб спалювання палива зорганізованою рециркуляцією пічних газів.

До переваг об'ємного спалювання палива можна віднести низьку кількість шкідливих викидів через відсутність високотемпературних зон, властивих факельному спалюванні палива, рівномірне температурне поле в печі,передумови до відновлення оксидів азоту продуктами неповного горіння палива в робочому просторі печі.

Також необхідно розробити мнемосхему, яка відображає процеси, що відбуваються при об’ємному спалюванні палива, та створити систему управління рециркуляцією пічних газів.

3 АНАЛІЗ РОБОТИ ПЕЧІ ЗВИКОРИСТАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОГО СПОСОБУ ОПАЛЕННЯ

3.1 Організація об'ємно-регенеративного способу спалювання палива

Одним з ефективних способів спалювання палива при високотемпературному підігріві повітря є організація об'ємногогоріння. Прикладом може служити нагрівальний колодязь з центральної регенеративної пальником. Схема камери колодязя і пальникового пристрою представлена на рис. 3.1.

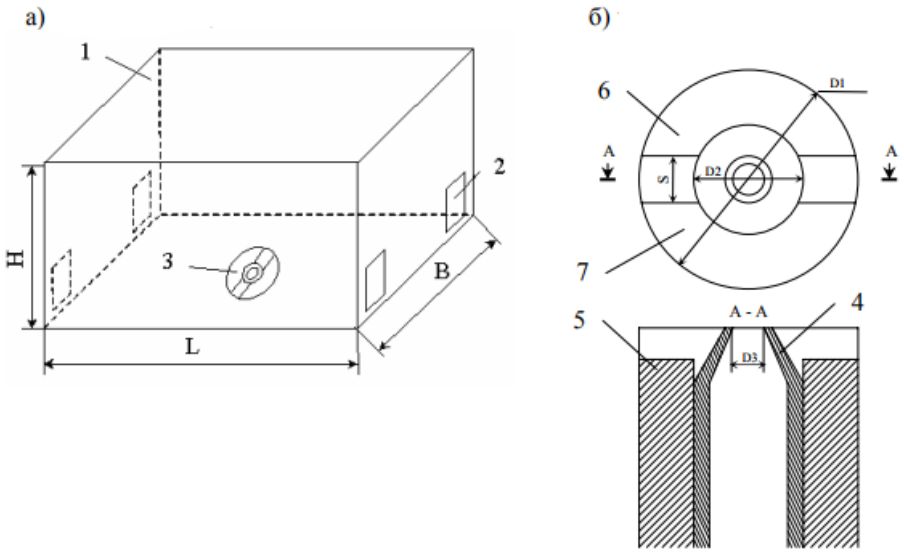


Рисунок 3.1 - Схема камери нагрівального колодязя (а) і пальника (б)

а) камера колодязю, б) пальників пристрій

1- стінки камери колодязю. 2 – бокові димові вікна, 3 – пальників пристрій

Особливістю такого колодязя є конструкція пальникового пристрою 3, яке складається із зовнішнього кільця діаметром D_1, газової труби з соплом 4, з діаметром D_3, розділової перегородки 5 і каналів для проходу повітря 6 і диму 7. Газ постійно надходить в камеру колодязя через сопло 4, а повітря, підігріте в регенераторах, - через канал 6. Відпрацьовані гази після

циркуляції в камері видаляються через канал 7 і направляються в регенератор. Після закінчення часу циклу роботи регенератора відбувається реверс руху повітряних і димових потоків, тобто повітря буде йти через канал 7, а дим буде йти через канал 6. При цьому для збалансованої роботи регенераторів частина димових газів, що визначається складом палива, віддаляється через бічні вікна 2, які через систему боровів пов'язані з димарем.

Організація об'ємно-регенеративного способу спалювання палива в нагрівальних печах можлива шляхом поділу потоків палива і повітря в пальниковому пристрою, яке забезпечувало б задану якість перемішування цих реагентів. На якість змішування впливають дві групи факторів: конструктивні і газодинамічні. Принцип організації об'ємно-регенеративного способу спалювання палива викладено нижче.

Завдяки вибору кількості, геометричних параметрів і взаємного розташування газових сопел і каналів для підведення підігрітого в регенераторах повітря для горіння, а також вибору динамічних характеристик потоків палива і повітря в газових соплах і каналах для підведення повітря, створюються такі умови перемішування реагентів горіння, при яких спалювання відбувається у всьому обсязі робочого простору регенеративної нагрівальної печі. Кут зустрічі потоків реагентів, форма профілю потоків і швидкість витікання палива і повітря розраховуються відповідно до необхідної технології і температурними параметрами нагріву. Регулювання швидкості перемішування забезпечує фізичний недопал на виході з робочого простору регенеративної нагрівальної печі на рівні 0,1 - 5%. При меншій величині фізичного недопалу на виході з регенеративної нагрівальної печі в робочій камері відбувається повне спалювання і об'ємно-регенеративний спосіб спалювання переходить в факельний. Так як на виході з робочого простору в димових газах є незгоріле паливо і невикористаний для горіння кисень, горіння триває при русі продуктів згоряння від робочого простору до регенераторів нагрівальної печі.

Можливо також догорання палива і в верхніх рядах насадки регенераторів. Якщо величина фізичного недопалу на виході з робочого простору регенеративної нагрівальної печі перевищує 5%, то процес згорання буде тривати після регенераторів і коефіцієнт використання палива в робочому просторі регенеративної нагрівальної печі знизиться. У будь-якому випадку аналіз диму на виході з регенератора не повинен виявляти наявність монооксиду вуглецю CO, водню та інших горючих елементів палива. Відсутність високотемпературних зон горіння, властивих факельному способу спалювання, при об'ємно-регенеративної способі спалювання палива призводить до зниження кількості утворених в процесі згорання оксидів азоту на 20 - 50%.

Рівномірне температурне поле в робочому просторі печі при об'ємно-регенеративному способі спалювання палива в поєднанні з реверсивною зміною напрямку траєкторії руху димових газів в регенеративної печі, зумовлює рівномірність нагріву виробів у всьому обсязі робочого простору.

Крім цього при об'ємно-регенеративної спалюванні палива за рахунок високотемпературного підігріву реагентів горіння економія палива досягає величини, характерної для традиційних регенеративних пальників - до 50%.

В результаті аналізу основних принципів організації об'ємно-регенеративного способу спалювання палива був складений список параметрів (табл. 3.1), які необхідно враховувати при побудові алгоритму управління процесом нагріву металу: вихідні (контрольовані і обчислювані), а також параметри для керуючого впливу.

До вихідних параметрів були віднесені: температура поверхні металу,температура продуктів горіння в підрегенеративному просторі, величина фізичного недопалу на виході з робочої камери колодязя і на виході з регенератора, співвідношення швидкостей палива і повітря і їх абсолютні значення, а до керуючих сигналів - витрати палива і повітря, а також частота реверсу продуктів горіння.

Таблиця 3.1 - Параметри процесу нагріву при об'ємно-регенеративної способі спалювання палива

Тип параметру	Параметри
Незмінні	Кількість газових сопел і каналів для підігрітого у регенераторах повітря Геометричні параметри сопел та каналів підігрітого повітря Динамічні характеристики потоків палива та повітря Кут зустрічі потоків реагентів Форма траєкторії руху пічних газів Наявність рециркуляційних зон
Контрольовані (для забезпечення оптимального режиму роботи колодязя)	Температура у робочому просторі Температура продуктів згоряння у підрегенеративному просторі Величина фізичного недопалу на виході із колодязя Величина фізичного недопалу на виході із регенератора
Обчислювані (для організації та забезпечення об’ємно-регенеративного способу спалювання палива)	Швидкість потоків палива і повітря Швидкість перемішування реагентів
Параметри для управляючого впливу	Витрата палива і повітря Частота реверсу продуктів згоряння

3.2 Динамічні характеристики палива і повітря в пальникових пристроях при об'ємно-регенеративномуспособі спалювання палива в промислових печах

Одним з найбільш ефективних методів паливовикористання, з точки зору економії палива, екології та досягнення високої якості нагріву металу в нагрівальних паливних печах металургії і машинобудування, є об'ємно-регенеративний спосіб спалювання палива. Рівномірно розподілене за обсягом робочого простору печі горіння палива, відсутність виражених високотемпературних вогнищ горіння, реверсивний рух димових газів при об'ємно-регенеративному спалюванні створює умови стандартного і рівномірного нагріву садки при зниженні інтенсивності утворення шкідливих викидів в атмосферу (в першу чергу,оксидів азоту). Регламентоване перемішування реагентів горіння - палива і повітря дозволяє підтримувати в

печі малоокислювану атмосферу, що знижує окалиноутворення в процесі нагрівання металу. Невеликий штучний фізичний недопал (до5%) в робочому просторі регенеративного нагрівального пристрою не погіршує техніко-економічні характеристики печі,так як допалення палива відбувається до входу димових газів в регенератори або в перших шарах насадки. Тепловий потенціал виноситься з робочого простору незгорілого палива повертається назад в піч у вигляді фізичної теплоти повітря. Це підтверджується результатами математичного моделювання і п'ятирічної експлуатацією регенеративного нагрівального колодязя, в якому реалізований такий принцип спалювання палива. На сьогоднішній день середня температура нагріву повітря в регенераторах нагрівального колодязя складає 800 - 1000 °С, економія палива досягає 5 кг.у.п. / тонну придатного. Максимальні витрати палива в колодязі знизився з 2100 $м^3$/год до 1500 $м^3$/год. При цьому істотно покращилася рівномірність нагріву металу, зменшився угар, що підтверджено дослідженнями теплотехнічної лабораторії комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг». Регенеративний нагрівальний колодязь працює без зупинок на холодні ремонти з необхідністю ремонту незадовільно працюючих керамічних рекуператорів, які в реконструйованому колодязі були замінені кульковими регенераторами.

На сьогоднішній момент залишається погано вивченим питання організації об'ємно-регенеративного спалювання палива для різних нагрівальних пристроїв. Не менш важливим є і вибір динамічних характеристик потоків палива і повітря в соплах і повітряних каналах пальникових вузлів, при яких створюються такі умови перемішування реагентів горіння, при яких спалювання відбувається у всьому обсязі робочого простору регенеративної нагрівальної печі.

Цей розділ присвячений розробці принципу вибору динамічних характеристик реагентів горіння для організації об'ємно-регенеративного спалювання палива. Досліджено вплив коливань температури підігріву повітря протягом одного циклу нагрівання повітря в мініregенераторах на

співвідношення кількості руху палива і високотемпературного повітря, що йде на горіння.

При організації об'ємно-регенеративного спалювання зі штучним розділенням потоків палива і повітря в пальниковому пристрою забезпечується задана якість перемішування палива та повітря. Для лімітованого перемішування реагентів горіння необхідно не тільки фізично розділити потоки палива і підігрітого повітря, але і створити такі умови взаємодії потоків, при яких вплив профілю струменя палива буде мінімально змінювати струмінь повітря і навпаки. Тобто, при проектуванні пальникових вузлів для об'ємного спалювання палива в регенеративних печах, одним з актуальних питань є вірний розрахунок форми, кількості та геометричних розмірів каналів для проходу повітря і газових сопел, що забезпечують задані характеристики руху реагентів горіння, їх перемішування і спалювання.

У більшості випадків, в традиційних дифузійних пальникових пристроях, потоки палива і повітря строго паралельні або спрямовані під кутом один до одного. При цьому паливний струмінь зазвичай знаходиться в центрі повітряного потоку. Це пов'язано з прагненням забезпечити максимально повне змішування компонентів горіння для запобігання недопалу в факелі і в печі. Зміна розмірів газового сопла і загального діаметра пальника призводить до зміни довжини факела і його жорсткості. Очевидно, що це пояснюється зміною співвідношення кількості руху (імпульсу) паливного і повітряного потоків.

За аналогією з механікою в гідрогазодинаміці кількістю руху (інакше імпульсом) секундної масової витрати середовища називають множення масової витрати середовища (M, кг/с) на швидкість її руху (W, м/с).

При рівномірно розподіленому профілі швидкостей модуль кількості руху текучого середовища знайдеться з виразу:

$$I = M \cdot W = F \cdot \rho \cdot W^2 \qquad (3.1)$$

У разі розрахунку реального потоку ця рівність набуває вигляду:

$$I = M \cdot \overline{\overline{W}} = F \cdot \rho \cdot \overline{W} \cdot \overline{\overline{W}} \qquad (3.2)$$

де $\overline{\overline{W}} = k_2 \cdot W_{ось}$ - швидкість другого усереднення швидкостей по поперечному перерізі потоку, м/с; $\overline{W}$ - швидкість першого усереднення, яка використовується при розрахунку витрати газу через поперечний переріз потоку, м/с;k_2 - коефіцієнт усереднення швидкостей по поперечному перерізі потоку при обчисленні кількості руху. Так як в нас цікавить співвідношення кількості руху палива і загальної кількості руху паливо-повітряної суміші, можна користуватися формулою для рівномірно розподіленого профілю швидкостей.

Для організації об'ємно-регенеративного способу спалювання палива необхідно, щоб імпульси палива і повітря були приблизно рівні. Цим виключається взаємний вплив реагентів, а довжина їх шляху перемішування визначиться геометричними розмірами і взаємним розташуванням сопел і повітряних каналів.

Як приклад розглянемо спалювання природного газу з повітрям, підігрітим в малогабаритних кулькових регенераторах з високою поверхнею теплообміну. Діапазон зміни температури підігріву окислювача в межах одного циклу роботи мінірегенераторов охоплює всі випадки - від мінімального його значення (в кінці періоду нагріву повітря в насадці мінірегенератора) до максимального (відразу після переходу потоків повітря на нагрів в регенеративної насадки).

Вихідні дані для розрахунку:

витрата палива в пальнику - $V_{0т} = 40$ м^3/год;

дійсна витрата повітря, що йде на горіння (при коефіцієнті витрати повітря n = 1,1) - $L_д = 10,37$ м^3/м^3;

щільність палива при н.у. $\rho_{от} = 0,97$ кг/м^3;

щільність повітря при н.у. $\rho_{ов} = 1,2875$ кг/м^3;

мінімальна температура підігріву повітря $t_в$ за сталий цикл роботи регенератора - 900 °С;

максимальна температура підігріву повітря - 1000 °С;

температура природного газу - $t_т = 20$ °С (підігрів палива відсутня);

діаметр газового сопла - 15 мм;

еквівалентний діаметр повітряного вікна - 400 мм.

Секундне кількість руху палива:

$$I_т = \rho_{0т} \frac{V_{0т}^2}{3600 \cdot f_т}\left(1 + \frac{t_т}{273}\right) = 0,97 \frac{40^2}{3600 \cdot \pi \frac{0,015^2}{4}}\left(1 + \frac{20}{273}\right) = 2618,3 \text{ Н}$$

Секундна кількість руху повітря при 900 °С:

$$I_в^{900} = \rho_{0в} \frac{V_{0в}^2}{3600 \cdot f_в}\left(1 + \frac{t_в}{273}\right) = 1,2875 \frac{(40 \cdot 10,37)^2}{3600 \cdot \pi \frac{0,4^2}{4}}\left(1 + \frac{800}{273}\right) = 2107 \text{ Н}$$

де $V_{0в} = V_{0т} \cdot L_д$ - витрата повітря, що йде на горіння.

Секундна кількість руху повітря при 1000 ° С:

$$I_в^{1000} = \rho_{0в} \frac{V_{0в}^2}{3600 \cdot f_в}\left(1 + \frac{t_в}{273}\right) = 1,2875 \frac{(40 \cdot 10,37)^2}{3600 \cdot \pi \frac{0,4^2}{4}}\left(1 + \frac{1000}{273}\right) = 2286 \text{ Н}$$

Тут $f_в$ і $f_т$- відповідно, еквівалентна площа повітряного вікна і газового сопла, м^2.

Як бачимо значення імпульсів палива і повітря в даному діапазоні температури підігріву повітря близькі один до одного.

Судити про те, який з реагентів в паливно-повітряному потоціє провідним, можна по простому співвідношенню – відношеннюкількості руху одного з реагентів (наприклад, палива) до загального імпульсу палива і повітря $I_т / (I_т+I_в)$. У разі рівності цього відношення 0,5 - 0,6 можна вважати, що струмені реагентів один на одного практично не впливають, вносячи в загальну суму імпульсу пічних газів50 - 60%. У разі відхилення цієї величини в більшу або меншу сторону секундна кількість руху одного з реагентів має

переважаюче значення над іншим. Це збільшує конвективне перемішування в паливо-повітряному потоці і вкорочує факел, переводячи спалювання з об'ємно-регенеративного в факельне.

У нашому випадку відношення кількості руху палива до загального імпульсу реагентів дорівнюватиме: на початку періоду нагріву повітря:$I_т$ / ($I_т$+$I_в^{1000}$) = 2618,3 / (2618,3 + 2286) = 0,534 або 53,4 %; в конці цього періоду: $I_т$ / ($I_т$+$I_в^{900}$) = 2618,3 / (2618,3 + 2107) = 0,554 або 55,4 %.

Тобто, зміна відношення імпульсу палива до загального імпульсу реагентів при збільшенні температури підігріву повітря зацикл роботи регенератора на 100 °С становить: ΔI = ($I_т$ / ($I_т$+$I_в^{900}$) - $I_т$ / ($I_т$+$I_в^{1000}$))*100% = 55,4-53,4 = 2% , що практично не позначається на умовах змішування палива і повітря.

Викликає зацікавлення, як буде змінюватися ця величина при зниженні теплоти згорання палива. У таблиці 3.2 і на рисунку 3.2 представлені результати розрахунків зміни ставлення кількості руху палива до загального імпульсу реагентів ΔI, в залежності від дійсної витрати повітря, що йде на горіння. Дійсну витрату повітря змінювали від 1 $м^3/м^3$ (для доменного газу) до10 $м^3/м^3$.

Таблиця 3.2 - Зміна відношення кількості руху палива до загального імпульсу реагентів при різних дійсних витратах повітря

$L_д$,$м^3/м^3$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΔI, %	0,06	0,24	0,5	0,81	1,17	1,4	1,64	1,82	1,94	2,01

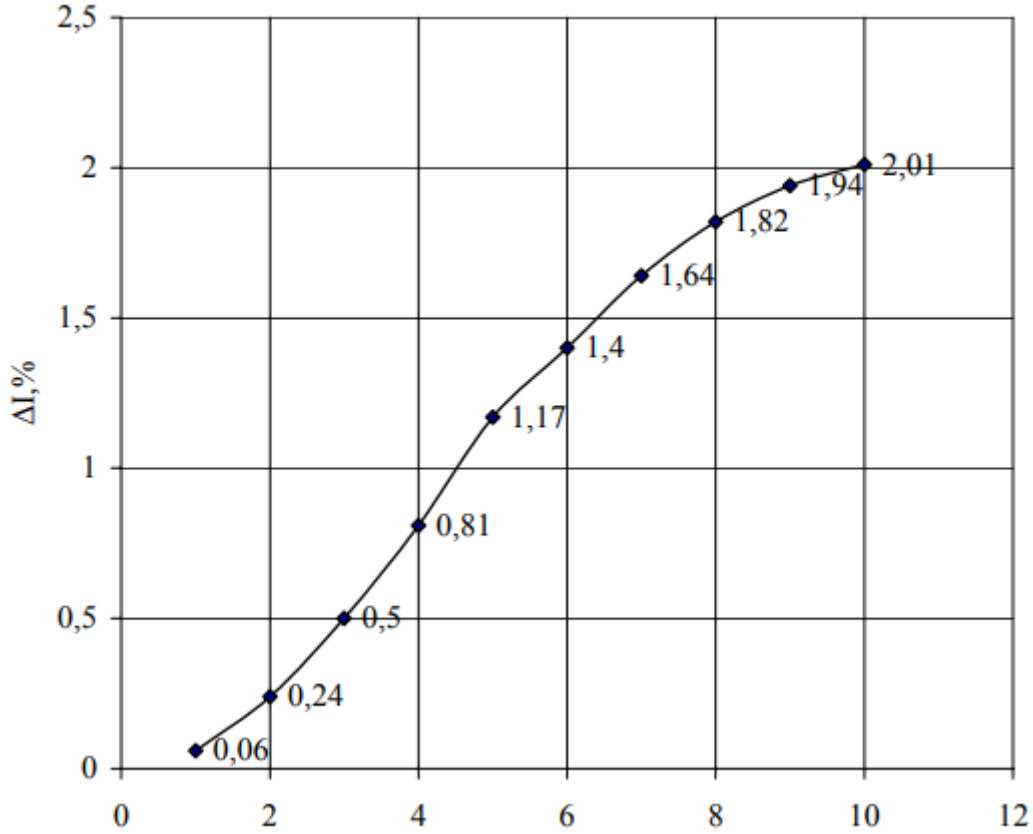


Рисунок 3.2 - Залежність зміни відношення кількості руху палива до загального імпульсу реагентів при різних дійсних витратах повітря

При обладнанні печей пальниками для об'ємно-регенеративного спалювання палива становить інтерес їх режим роботи в процесі розігріву насадки малогабаритних регенераторів до номінальної робочої температури - тобто до моменту виходу температури насадки на квазістаціонарний режим. Вирішення цього завдання може дати відповідь на питання про можливість застосування об'ємного спалювання палива в термічних печах з регенеративними теплообмінниками, в яких використовуються складні графіки нагріву, що передбачають широкий діапазон зміни температури в печі.

Результати розрахунку зміни відношення імпульсу палива до сумарному імпульсу реагентів горіння при збільшенні температури підігріву

повітря в насадці мінірегенератора від 0 °С до 1200 °С представлені в табл.3.3.

Таблиця 3.3 - Вид горіння в залежності від підігріву повітря в регенераторах

$t_в$,℃	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$\frac{I_т}{I_т+I_в^{tв}}$,Н	84,2	79,6	75,5	71,8	68,4	65,3	62,5	60,0	57,6	55,4	53,4
Горе-ние	ФК	ФК	ФК	ФК	ФК	ФК	ФК	ОР	ОР	ОР	ОР

У таблиці позначено: ФК - факельний спосіб спалювання палива;ОР - об'ємно-регенеративний спосіб спалювання палива.

З таблиці видно, що без зміни газодинамічних характеристик струменя палива і повітря (в першу чергу, за рахунок площіповерхні отворів) неможливо забезпечити об'ємно-регенеративне спалювання палива в широкому діапазоні температурних характеристик теплоносія.

Очевидно, що відношення кількості руху палива до сумарного імпульсу реагентів горіння $I_т$ / ($I_т+I_в^{tв}$) при зменшенні загальної теплової потужності (витрати палива) від номінальної величини до нуля не зміниться, так як зниження витрати палива лінійно пов'язано з відповідним зменшенням кількості повітря, що подається на горіння.

Динамічна характеристика паливо-повітряного струменя може не відповідати геометричним розмірам печі. Довжина шляху перемішування реагентів горіння може виявитися менше довжини робочого простору, що призведе до факельної способу спалювання палива з млявим факелом.

ВИСНОВКИ

Як висновок з результатів роботи можна зробити: по-перше, для організації об'ємно-регенеративного способуспалювання палива необхідно

таким чином розраховувати площу поперечного перерізу паливного сопла і повітряного вікна, щоб примаксимальної теплової потужності і номінальній температурі підігріву повітря в мінірегенераторах мати відмінність між кількістю руху реагентів горіння не більше 10%.

По-друге, діапазон зміни температури підігріву повітряпротягом одного циклу роботи мінірегенераторов практично незмінює співвідношення кількості руху повітря і палива і, отже, не переводитьоб'ємно-регенеративний спосіб спалюванняпалива в факельний.

По-третє, при опаленні печі менш калорійним (в порівнянніз природним газом) паливом зміна імпульсу повітря, пов'язанезі зменшенням температури його підігріву протягом циклу роботимінірегенератора, ще менш істотно в силу зменшення дійсної витрати повітря, що йде на горіння.

По-четверте, пальниковий пристрій для об'ємно-регенеративного спалювання палива працює в певному температурному інтервалі підігрітого повітря для номінальної потужності. При зниженні температури підігріву повітря в мінірегенераторах або при розігріві їх насадки має місце факельний спосіб спалювання палива.

3.3 Організація рециркуляції пічних газів у нагрівальних промислових печах з метою зменшення теплових втрат

Однією з основних завдань теплової обробки металу в нагрівальних печах металургії залишається організація рівномірного нагріву виробів. Про рівномірність нагріву можна говорити в трьох аспектах.

По-перше, показником, який визначає якість нагріву металу (що особливо актуально для великотоннажних термічно масивних злитків), є перепад температури по перетину.

По-друге, внаслідок концентрованого підведення теплоти і відведення відпрацьованого диму при факельному спалюванні палива в робочому просторі паливної печі створюється нерівномірне температурне поле.

Нерівномірність температури по довжині печі призводить до нерівномірності нагріву між злитками - до нестандартності нагріву металу. Поняття стандартності слід поширювати тільки на кінцевий продукт – метал, який видається з печі. У печах камерного типу в разі, коли садка вивантажується одночасно, нестандартність нагріву веде до порушення збалансованості подальшого процесу обробки металу тиском. Якщо ж метал видається з печі поштучно, то стандартність нагріву має сенс тільки по відношенню до металу, що видається – різний нагрів металу в печі не має значення.

По-третє, має місце перепад температури по довжині або висоті виробу, що нагрівається, по різним гранях металу.

В існуючих печах рівномірність і стандартність нагріву домагаються внутрішньою і зовнішньою рециркуляцією пічних газів, реверсом, імпульсним нагріванням, роздільної по періодам нагріву подачею палива, хитанням пальника, зміною напрямку факела струменем компресорного повітря, двохстадійним і багатостадійним спалюванням палива іншими способами управління температурним полем.

Відповідно до принципу локальності зовнішнього теплообміну, нагрівання садки визначається випромінюванням і конвекцією від газових обсягів, що знаходяться в безпосередній близькості від поверхні. У працях В. І. Губинського, А. В. Кавадерова і Г. П. Іванцова по променистому теплообміну відзначається переважаючий вплив на тепловіддачу температури шару газу,розташованого безпосередньо біля стінки, що нагрівається. Найбільші зміни температури в процесі тепловіддачі спостерігаються саме в пристінкових шарах газу і основними методами досягнення рівномірності нагрівання садки в печах є раціональне управління рухом газів, що забезпечує перенесення теплоти до локальних ділянок металу і футерування.

Одним з перспективних способів рівномірної доставки нагрітих газів до поверхні металу, що нагрівається є розподілений об'ємний спосіб спалювання палива зорганізованою рециркуляцією пічних газів.

Організація об'ємного горіння палива можлива за допомогою рециркуляції і реверсу пічних газів, а також заданого регламентованого перемішування реагентів горіння,коли паливо в робочому просторі печі згоряє розподілений на всій траєкторії руху пічних газів.

У печах, обладнаних рекуператорами або експлуатуються без теплоутилізаторів, допалювання палива поза робочого простору печей веде до перегріву і виходу з ладу теплообмінників, а в разі їх відсутності - до прямих втрат палива.

У печах з регенераторами ситуація інша. Повне спалювання палива необхідно організувати до виходу димових газів в димову трубу. При цьому хімічна теплота, що виділилася, з високим коефіцієнтом регенерації буде повернута в піч з підігрітим повітрям. Єдиною умовою в цьому випадку є повне спалювання палива до виходу з насадки регенераторів. Наявність в об'ємній зоні горіння паливно-повітряної суміші з температурою, що перевищує температуру займання палива за рахунок високотемпературного підігріву повітря в сучасних регенераторах, робить можливим горіння прибудь-якій кількості кисню.

Застосування регенераторів з високорозвиненою поверхнею теплообміну найбільш переважно. Малогабаритні регенератори вдається розміщувати в безпосередній близькості до печі, в деяких випадках, насадку регенераторів вдається скомпонувати в одному пристрої з пальником або розмістити в стінах печі. Зменшуються втрати теплоти при русі гарячого диму і підігрітого повітря на ділянці між регенератором і піччю,виключаються підсосі холодного і вибивання підігрітого повітря в негазоплотних боровів.

Використання високотемпературного підігріву повітря додатково до перерахованих переваг об'ємного спалювання палива, призводить до суттєвої економії палива.

Одним з основних факторів, що впливають на організацію рівномірного температурного поля в нагрівальних печах, є рециркуляція

пічних газів. Нижче наведені результати дослідження впливу великомасштабної і маломасштабної рециркуляції на температурне поле регенеративної печі.

3.3.1 Рециркуляція як спосіб організації об'ємного спалювання палива і рівномірного нагріву металу в печах

Застосування розподіленого об'ємного спалювання палива призводить до зміни умов локальної теплопередачі від нагріваючого середовища до металу і футеровки в різних точках. Відсутність концентрованих джерел теплоти, властивих факельному способу спалювання палива, призводить до того, що вся поверхня металу, що нагрівається, знаходиться в рівнозначних умовах нагрівання. Немає застійних зон в печі або металу,що знаходиться в таких застійних зонах. Розподілене об'ємне спалювання палива можебути організовано рециркуляцією пічних газів.

Вперше рециркуляція як спосіб вирівнювання температури в печі була запропонована В. Е. Грум-Гржимайло в 1926 році на 3-му теплотехнічному з'їзді в Москві. Вже тоді В.Е. Грум-Гржимайло в доповіді «Нова камерна піч з рециркуляцією пічних газів, що зрівнює температуру» задекларував вирішальне значення газодинамічних процесів в робочому просторі печі: «Мені довелося від Паскаля, яку я проповідував, перейти на гідродинаміку, так як в печах, побудованих на суто гідростатичному принципі,температура нагорі була вище, внизу завжди нижче. Це великий недолік печей, побудованих на суто гідростатичному принципі, і з ним треба закінчити».

Питаннями дослідження впливу кратності рециркуляції пічних газів на рівномірність температурного поля в робочому просторі печі, на якість нагріву металу, наспоживану теплову потужність і інші характеристики і параметри займалися А.У. Пуговкін, Л. А. Неймарк, В. Д. Брук, А. Е. Єріна та інші вчені. Досліджувалися печі з кратністю рециркуляції пічних газів від 2 до 10 і вище і способи досягнення такої рециркуляції.

На сьогоднішній день є зарубіжний досвід застосування інтенсивної рециркуляції пічних газів з метою зниження температури факела в робочому просторі печей.

«Високотемпературне спалювання в повітряній атмосфері» або технологія безполуменевого спалювання палива HiTAC використовує високі швидкості витікання реагентів горіння зметою організації підмішування в паливо і повітря пічних газів і їх розвиненою рециркуляції.

В іншій сучасній технології безполуменевого окислення FLOX® горіння також здійснюється одночасно з організацією великомасштабної внутрішньої рециркуляції «інертних газів в печі». На основі цієї технології спроектовані рекуперативні REKUMAT® і регенеративні REGEMAT® пальники безполуменевого окислення, а також пальники із зовнішнім підігрівом повітря (пальники FLOX®). «Інертний газ» (в основному - дим, що утворюється при горінні) змішується з реагентами (паливом і повітрям) в такій пропорції, що піки температури у фронті полум'я згладжуються і горіння переходить з факельного в об'ємне. Кратність внутрішньої рециркуляції при HiTAC і FLOX® технологіях може досягати $К_{рец}$ = 4 і більше.

3.3.2 Дослідження впливу рециркуляції пічних газів на рівномірність температурного поля і якість нагріву металу в печі

Для визначення впливу характеру руху пічних газів і інших характеристик на температурне поле в робочому просторі печі з петлеподібной траєкторією руху пічних газів була розроблена математична модель нагрівальної печі, заснована на рішенні рівняння теплового балансу з урахуванням рециркуляції диму. У центральній частині печі на кордоні умовного поділу потоку пічних газівна пряму (зони i = 1 .... i = n) і зворотний траєкторії руху (зони i = n + 1 .... i = 2n) (рис.3.3) є локальні турбулентні вихори, що залучають до масообміні процеси шарипічних газів, що рухаються в прямому і зворотному напрямку.

Таке перемішування далі називали дрібномасштабною або локальною рециркуляцією. Наявність і ступінь розвитку локальних зон циркуляції пічних газів може змінювати режим руху пічних газів в широких межах: від режиму «короткого замикання», коли весь витрата пічних газів перетікає із зони i = 1 в зону i = 2n (див. рис. 3.3), до розвиненого декомпенсованого перемішування з поверненням частини масової витрати газу в початкову ділянку траєкторії їх руху (траєкторія руху газів в такому рециркуляційному режимі показана на рис. 3.3. Проміжний режим називається режимом витіснення з компенсованим перемішуванням. Виникнення того чи іншого руху в реальнихумовах залежить від величини енергії струменів пічних газів.

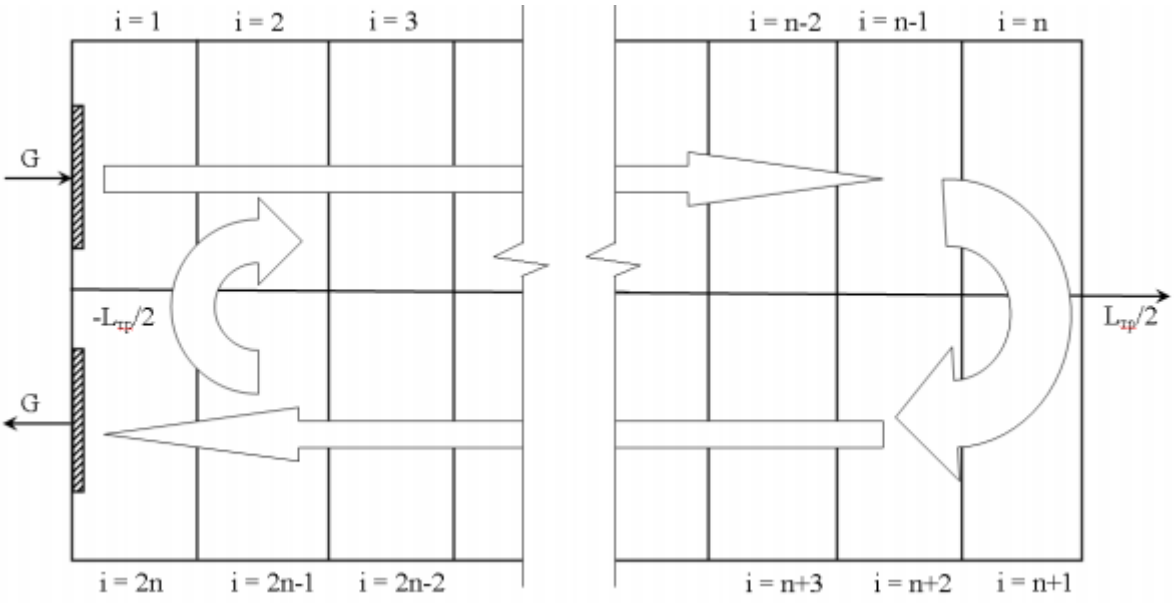


Рисунок 3.3 - Петлеподібна траєкторія руху пічних газів в печі в рециркуляційному режимі

У моделі враховується перетікання пічних газів через попарно розташовані зони: i= 1 - i = 2n; i = 2-i = 2n-1; i = 3-i = 2n-2; ... i = n-i = n + 1.

Так, фізична теплота суміші пічних газів на вході в зону i = 1

$$Q_{вх\ 1}=B_г \cdot t_m \cdot c_m + L_n \cdot B_г \cdot t_в \cdot c_в, \qquad (3.3)$$

на вході в зони *i* = 2… 2n

$$Q_{вх\,i} = \left(1 - \sum_{k=1}^{i-1} m_k\right) \cdot \left(B_г \cdot t_{см\,i-1} \cdot c_m + L_n \cdot B_г \cdot t_{см\,i-1} \cdot c_в\right) + \\ + \sum_{k=1}^{i-1} m_k \cdot v_д \cdot B_г \cdot t_{см\,i-1} \cdot c_д + \sum_{k=1}^{i-1} (\Delta G_{jk} - \Delta G_{kj}) \cdot t_{см\,i-1} \cdot c_д / \rho_д \quad (3.4)$$

на виході с зони *i*

$$Q_{д\,ух\,i} = \left(1 - \sum_{k=1}^{i} m_k\right) \cdot \left(B_г \cdot t_{см\,i} \cdot c_m + L_n \cdot B_г \cdot t_{см\,i} \cdot c_в\right) + \\ + \sum_{k=1}^{i} m_k \cdot v_д \cdot B_г \cdot t_{см\,i} \cdot c_д + \sum_{k=1}^{i} (\Delta G_{jk} - \Delta G_{kj}) \cdot t_{см\,i} \cdot c_д / \rho_д \quad (3.5)$$

де j = 2n–k+1.

У формулах (3.3) - (3.5): $B_г$ - масова витрата палива, кг/с; t_m, $t_в$, $t_{см\ i-1}$- початкова температура палива, температура підігріву повітря горіння і температура суміші палива, повітря і димових газів в (i-1)-й зоні печі, ºС; $C_т$,$C_в$,$C_д$- масова теплоємність палива повітря і диму, Дж/м^3·К; m_k - частка згорілого в k-й зоні палива.

Теплота продуктів згоряння, що потрапляють через межу розділу потоку пічних газівна пряму і зворотну траєкторії руху:

$$Q_{рец\,i} = \Delta G_{ij} \cdot t_{см\,i} \cdot c_д / \rho_д. \quad (3.6)$$

Величина ΔD_{ij} визначається із закону розподілу щільності потоку маси продуктів згоряння через межу розділу прямої і зворотної траєкторій їх руху. Для цього, зокрема, може бути використана наступна залежність:

$$\Delta G_{ij} = \begin{cases} 0, & 1 \le i \le n/2 \\ k_p (G/n) \cdot (b+1) \cdot |l_i|^b, & n/2 < i \le n \\ 0, & n < i \le 3n/2 \\ k_p (G/n) \cdot (b+1) \cdot |l_i|^b, & 3n/2 < i \le 2n \end{cases} \quad (3.7)$$

У формулі (3.7) $l_i = 2y_i / L_{mp}$ - відносна довжина дрібномасштабної рециркуляції; $y_i = \Delta y(i - l/2)$ - координата центру зони і;$\Delta y = L_{mp} / n$ - довжина зони і; b– показник ступеня функції розподілу; $k_p = K_{рец}$-1 - коефіцієнт, що враховує кратність рециркуляції пічних газів, $k_p \geq 0$; i і j - номера зон виходу і входу потоку газів, що рециркулюють, пов'язані співвідношенням $j = 2n$-i + 1.

Функція розподілу у формулі (3.7) обрана таким чином, що зміна показника ступеня b призводить до зміни витрати потоків маси по зонам від рівномірно розподіленої по довжині полутраекторії до зосередженої в прикореневій зоні факела.

Результати розрахунків для випадків нагріву металу з максимальною тепловою потужністю і мінімальним і максимальним результуючим тепловим потоком на метал (за умовами зовнішнього теплообміну) і мінімальної тепловою потужністю наведені на рис. 3.4.

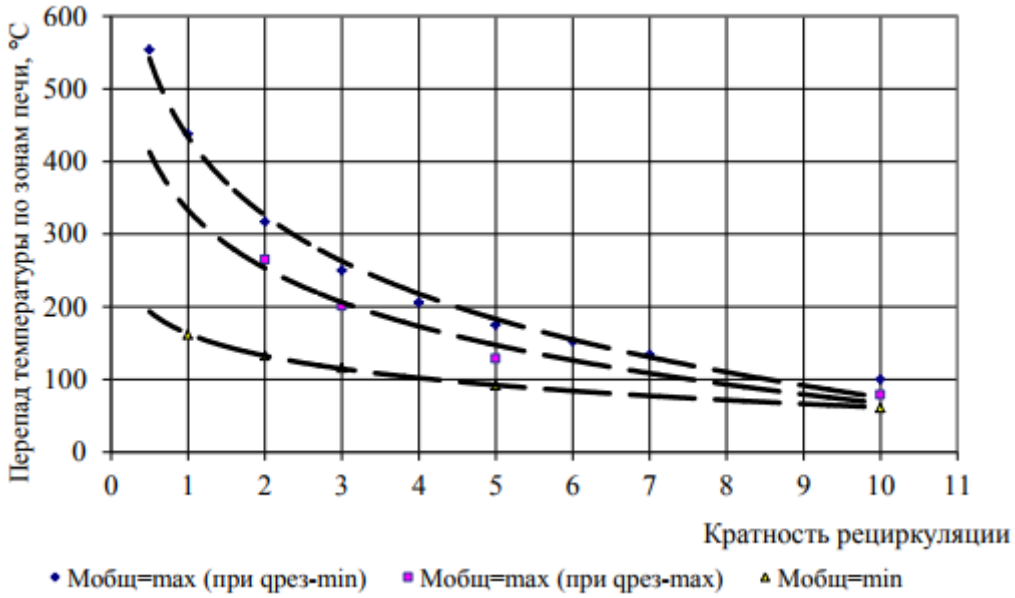


Рисунок 3.4 - Залежність перепаду температури по зонах печі від величини кратності рециркуляції пічних газів в різні періоди нагріву

Функції, що апроксимують розрахункові дані, наведені на рис.3.4 пунктирними лініями, а їх рівняння представлені у вигляді (3.8) - (3.10).

Для нагріву з максимальною тепловою потужністю при $q_{рез}=max$ апроксимуюча функція має вигляд:

$$\Delta t_{q\text{-}max}= 333{,}21–115{,}51\cdot L_n(K_{рец}). \quad (3.8)$$

Для нагріву з максимальною тепловою потужністю при $q_{рез} = min$

$$\Delta t_{q\text{-}min}=433{,}8–155{,}72\cdot L_n(K_{рец}). \quad (3.9)$$

Для нагріву з мінімальною тепловою потужністю:

$$\Delta t =163 –44{,}007\cdot L_n(K_{рец}). \quad (3.10)$$

Для всіх випадків точність апроксимації $R^2 \geq 0{,}97$.

Для визначення впливу ступеня розвитку локальної дрібномасштабної рециркуляції пічних газів на формування температурного поля в робочому просторі печі змінювали значення ступеня b, яка описує рівномірність розподілу дрібномасштабної рециркуляції в печі, у формулі (3.7) від 0,1 до 100. Цей інтервал відображає випадки від рівномірно розподіленої локальної рециркуляції по довжині печі (в межі при $b \rightarrow 0$) по всіх попарно прилеглих зон траєкторії руху пічних газів до повного виключення дрібномасштабної рециркуляції (при $b \rightarrow \infty$), коли гази рухаються по петлеобразній траєкторії, що не обмінюючись через середню лінію печі масою, аналогічно режиму «ідеального витіснення».

Результати розрахунків показують, що локальна дрібномасштабна рециркуляція пічних газів також впливає на формування температурного поля в печі з петлеобразною траєкторією. При зміні частки локальної рециркуляції від нуля (при b = 10) до максимальної її величини при b = 0-0,1 перепад температури між найбільш нагрітої i = 5 і «холодної» i = 1 зонами печі підвищився більш ніж на 15%. Погіршення рівномірності нагріву

пов'язано зі зменшенням градієнта температур газів, що перемішуються і зниженням інтенсивності теплопереносу.

Найменше значення оцінки середнього квадратичного відхилення температури в зонах печі відповідає випадку, коли спостерігається виражена великомасштабна рециркуляція пічних газів (b = 100). Різниця температури по зонах нагрівальної печі з петлеобразною траєкторією руху пічних газів в цьому випадку мінімально.

Можна зменшити дрібномасштабну рециркуляцію пічних газів, усунувши такі причини утворення локальних вихорів при русі пічних газів, як перешкоди на шляху руху пічних газів (метал, елементи кладки печі, механізми і т.д.), різкі зміни напрямку їх руху та інші місцеві опори. Вони знижують кінетичну енергію, зменшують частку кратності великомасштабної рециркуляції рухомих пічних газів, що призводить до погіршення стандартності нагрівання металу.

ВИСНОВКИ

Аналіз результатів теплової роботи нагрівальної печі з петлеобразною траєкторією руху пічних газів і їх рециркуляцією дозволив зробити наступні висновки:

1. Інтенсифікація рециркуляції пічних газів дозволяє зменшити нерівномірність температурного поля в печі до допустимого значення. Використання графіків і отриманих апроксимуючих функцій дозволяє визначити необхідне значення кратності великомасштабної внутрішньої рециркуляції пічних газів в нагрівальній печі, при якій забезпечується допустима за технологією нерівномірність температурного поля.

2. Максимальна безрозмірна нерівномірність температури по зонам печі, виражена у вигляді відношення перепаду температури в печі до середньої її температурі, при підвищенні кратності рециркуляції з $К_{рец}$ = 1 до $К_{рец}$ = 4-5 знижується з 34% до 14-16%, збільшення рециркуляції до $К_{рец}$ = 7 зменшує безрозмірну нерівномірність температурного поля ще на 2%.

Подальше підвищення рециркуляції малоефективне: при $К_{рец}$ = 10 нерівномірність температурного поля практично не змінюється.

3. При збільшенні частки локальної дрібномасштабної рециркуляції нерівномірність температурного поля в печі може збільшитися на 15%. Зменшення дрібномасштабної локальної рециркуляції пов'язано з усуненням перешкод і місцевих опорів на шляху руху пічних газів, різкої зміни напряму їх руху.

4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РОЗГЛЯНУТИХ СПОСОБІВ ОПАЛЕННЯ РЕГЕНЕРАТИВНОГО КОЛОДЯЗЯ

4.1 Апаратні та програмні засоби автоматизованої системи управління нагрівом злитків

Автоматизована система управління нагрівом злитків призначена для управління технологічним процесом нагріву злитків перед прокаткою на обтискному стані, а також для реєстрації і протоколювання необхіднихтехнологічних параметрів процесунагріву, дій оператора і аварійних ситуацій.

АСУ НС має два рівні. Нижній рівень являє собою 14контролерів, зібраних на базі шасіIPC-610 фірми Advantech. Коженконтролер має в своєму складі процесорну плату PCA-6154L, адаптермережі CAN PCL-841 і дві плати вводу-виводу дискретних і аналогових сигналів (PCL-722 і PCL-813B). Контролери розміщені в герметичних шафах, які встановлені в приміщенні КВП групи нагрівальних колодязів поблизу вторинних приладів КВП.

Контролер керує ходом технологічного процесу нагрівання злитків індивідуально по кожному осередку, впливаючи на приводи димового шибера і регулюючих органів витрат газу і повітря відповідно до встановлених завданнями.

На екран монітора виводиться необхідна для нагрівальника технологічна інформація по групі або по осередку. На згадку контролера записуються всі реєстровані технологічні параметри, вхідні сигнали, що управляють,технологічні та аварійні події.

Верхній рівень включає в себе автоматизоване робоче місце (АРМ)старшого нагрівальниками і інженерну станцію. Промислові комп'ютери зібрані на базі робочоїстанції AWS-825 і шасі IPC-6806Sфірми Advantech з процесорними платами PCA-6154L і адаптерами мережі CAN

PCL-841 та встановлені, відповідно, на робочому місці старшого нагрівальника і в приміщенні АСУ ТП відділення нагрівальних колодязів.

На екран монітора АРМ старшого нагрівальника виводиться загальна диспетчерська інформація по всіх групах і по запитам оператора - технологічна інформація індивідуально побудь-якій групі, включаючи тренди технологічних параметрів за будь-який проміжок часу протягом місяця.

Інженерна станція призначена для внесення змін в режими нагріву і в технологічні бази даних. Через інженерну станцію здійснюється зв'язок з інформаційною мережею підприємства.

Програмне забезпечення розроблене на мові Borland C. За основу були прийняті існуючі технологічні інструкції, скориговані для зручності подання тимчасових функцій в безперервній формі.

Необхіднорозробити систему управління та побудувати операторський інтерфейс дляавтоматизованої системи управління нагріву злитків у регенеративному нагрівальному.

4.2 Розробка системи управління технологічним процесом з об’ємно-регенеративним спалюванням палива

Організація розподіленого об'ємного спалювання палива в нагрівальних печах, обладнаних високоефективними регенераторами, пов'язана зі зміною системи автоматичного керування технологічним процесом. Удосконалення АСУ ТП пов'язано з додатково системами регулювання і контролю, що вводяться, і частково зі зміною алгоритму управління деяких існуючих систем. Системи контролю і регулювання при конструюванні печей підлягають модернізації в зв'язку з широким використанням мікропроцесорної техніки, заміни застарілого обладнання і зі специфікою організації розподіленого об'ємного спалювання палива з високотемпературним повітрям.

У даній роботі вводиться нова система управління перекиданням димоповітряного клапана.

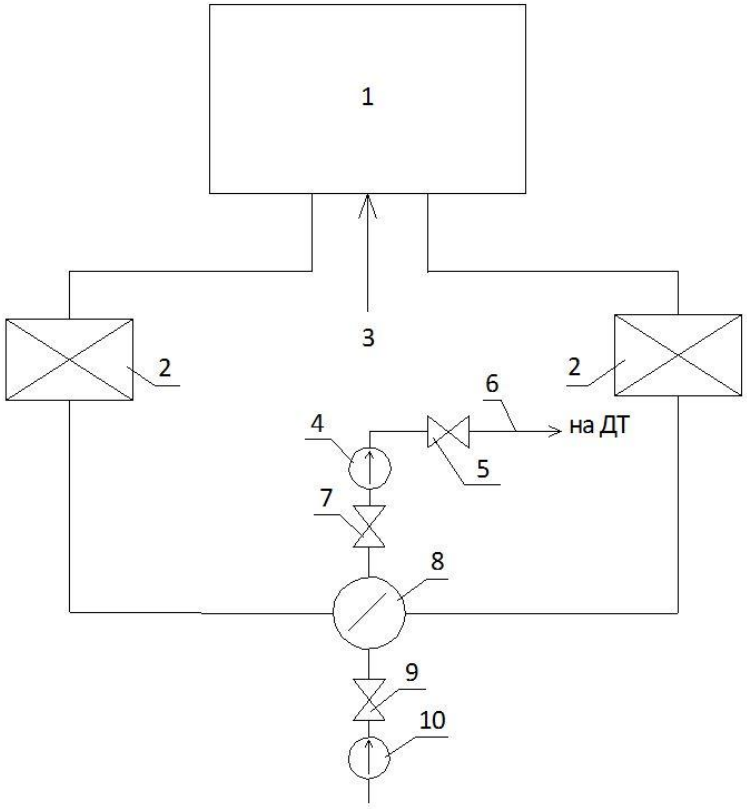


Рисунок 4.1 – Схема управління нагрівального колодязя

1 – піч; 2 – регенератори; 3 – підведення палива до пальника; 4 – димосос; 5 – димовий шибер; 6 – димовий канал перед димовою трубою; 7 – клапан димососу; 8 – клапан перемикач потоків диму і повітря; 9 – повітряний клапан; 10 – вентилятор.

Система управління перекиданням димоповітряного клапана 8 (рис. 4.1) здійснює реверс пічних газів за заданою величиною температури диму під регенератором або за фіксованим часом циклу роботи регенераторів.

Реверс пічних газів відбувається через задані інтервали часу (5-10 хвилин) при досягненні температури 200 °С (або будь-який інший заданої контрольної температури) в підрегенеративному просторі. Регулятор вибирає такий стан регулюючого клапана перед димососом 7, при якому встановлюється розподіл потоків диму через регенератор і вертикальні димові канали, що забезпечує досягнення заданої температури під регенератором (наприклад, 200 °С) за заданий час.

Якщо темп зростання температури під регенератором випереджає заданий (регулятор розраховує очікувані значення температури під насадкою і порівнює їх з поточними), тобто температура диму під регенератором досягне задане значення раніше, ніж за 5 - 10 хвилин, видається команда на прикриття клапана перед димососом 7, що створює підпір по димового тракту регенератора і в робочій камері осередку. Регулятор тиску (існуюча система) відкриває існуючий димової шибер № 3, встановлюючи необхідний тиск в осередку колодязя і одночасно перерозподіляє потік димових газів між регенератором і вертикальними клапанами в сторону збільшення долі димових газів, що йдуть мимо регенератора.

Якщо темп зростання температури нижче заданого, видається команда на відкриття клапана 7, що призводить до перерозподілу потоку димових газів між регенератором та вертикальними каналами в сторону збільшення витрати диму через регенератор.

4.3 Розробка мнемосхеми

Для підвищення якості і термінів проектування спеціального програмного забезпечення використовуються спеціалізовані програмні засоби. Такі комплексні програми для другого, більш пріоритетного, напрямкистворення систем називаються системами диспетчерського управління і зборуданих, або SCADA-системами.

Впровадження нової системи управління нагріву злитків на основі SCADA дозволить досягти наступні результати:

- отримувати дані про технологічний процес в режимі реального часу;
- значно зменшити знос технологічного обладнання;
- скоротити експлуатаційні витрати;
- контролювати технологічні параметри;
- підвищити якість умов праці працівників;

– зберігати дані про хід технологічного процесу для подальшого їх аналізу;

– своєчасно повідомляти про настання аварійних і перед аварійних ситуацій.

У програмному пакеті SCADA було розроблено систему управління регенеративного нагрівального колодязя з двома способами спалювання палива.

Для реалізації алгоритму управління було створено у компоненті «Програма» програму мовою програмування ST. В її структурі створено аргументи, які в свою чергу були прив’язані до створених раніше каналів. Розроблені програми для двох способів спалювання палива представлено на рисунках 4.2 та 4.3.

```
if fakel_In==1 and vozduh0_In==1 and revers1_In==1 and gaz_In==1 and t_vozduh_In>=0 and t_vozduh_In<800 then
t_vozduh_In=t_vozduh_In+100;
t_slitkov_In=850;
Trab_pros_In=800;
t_gaza_In=20;
rashod_V_In=3000;
rashod_G_In=2264;
davlenie_In=9.8;
end_if;
if fakel_In==1 and t_vozduh_In==800  then vozduh_In=1;
nagretui_gaz_In=1;
fakel_gorelka_In=1;
gorenie_In=1;
dumovue_gazu_In=1;
Tduma_iz_regen2_In=550;
dumovaya_truba_In=1;
end_if;
if fakel_In==1 and Trab_pros_In>=800 and Trab_pros_In<1400 then Trab_pros_In=Trab_pros_In+50;
end_if;
if fakel_In==1 and vozduh_In==1 and t_slitkov_In>=850 and t_slitkov_In<1300 then t_slitkov_In=t_slitkov_In+10;
end_if;
if fakel_In==1 and vozduh_In==1 and vremya_In>=0 and vremya_In<360 then vremya_In=vremya_In+8;
end_if;
if fakel_In==1 and t_slitkov_In==900 then gorenie_In=1;
end_if;
if fakel_In==1 and revers2_In==1 and gaz_In==1 then revers1_In=0;
vozduh2_In=1;
dumovue_gazu_In=0;
vozduh_In=0;
dum_gazu2_In=1;
vozduh0_In=0;
end_if;
if fakel_In==1 and revers1_In==1 and fakel_gorelka_In==1 and gaz_In==1 then revers2_In=0;
vozduh0_In=1;
dum_gazu2_In=0;
vozduh_In=1;
dumovue_gazu_In=1;
vozduh2_In=0;
end_if;
if fakel_In==1 and t_slitkov_In==1300 then slitok_nagr_In=1;
nagretui_gaz_In=0;
vozduh2_In=0;
vozduh_In=0;
fakel_gorelka_In=0;
gaz_In=0;
vozduh0_In=0;
gorenie_In=0;
dumovue_gazu_In=0;
dum_gazu2_In=0;
rashod_V_In=0;
rashod_G_In=0;
t_vozduh_In=0;
Tduma_iz_regen2_In=0;
end_if;
```

Рисунок 4.2 – Програма для організації факельного спалювання палива

```
if ob_reg_In==1 and fakel_In==0 and vozduh0_In==1 and revers1_In==1 and gaz_In==1 and t_vozduh_In>=0 and t_vozduh_In<1000 then
t_vozduh_In=t_vozduh_In+100;
t_slitkov_In=850;
Trab_pros_In=1000;
t_gaza_In=20;
rashod_V_In=4500;
rashod_G_In=1500;
Tduma_iz_regen_In=100;
Tduma_iz_regen2_In=100;
davlenie_In=9.8;
end_if;
if ob_reg_In==1 and t_vozduh_In==1000  then vozduh_In=1;
nagretui_gaz_In=1;
fakel_gorelka_In=0;
gorenie2_In=1;
dumovue_gazu_In=1;
//Tduma_iz_regen_In=100;
dumovaya_truba_In=1;
end_if;
if ob_reg_In==1 and Trab_pros_In>=1000 and Trab_pros_In<1400 then Trab_pros_In=Trab_pros_In+50;
end_if;
if ob_reg_In==1 and revers1_In==1 and dumovue_gazu_In==1 and Tduma_iz_regen_In>=100 and Tduma_iz_regen_In<210 then
Tduma_iz_regen_In=Tduma_iz_regen_In+10;
end_if;
if ob_reg_In==1 and Tduma_iz_regen_In==210 and revers1_In==1 then revers2_In=1;
revers1_In=0;
Tduma_iz_regen_In=Tduma_iz_regen_In-110;
end_if;
if ob_reg_In==1 and revers2_In==1 and Tduma_iz_regen2_In>=100 and Tduma_iz_regen2_In<210 then Tduma_iz_regen2_In=Tduma_iz_regen2_In+10;
vozduh2_In=1;
dumovue_gazu_In=0;
vozduh_In=0;
dum_gazu2_In=1;
vozduh0_In=0;
end_if;
if ob_reg_In==1 and Tduma_iz_regen2_In==210 and revers2_In==1 then revers1_In=1;
revers2_In=0;
vozduh0_In=1;
dum_gazu2_In=0;
vozduh_In=1;
dumovue_gazu_In=1;
vozduh2_In=0;
Tduma_iz_regen2_In=Tduma_iz_regen2_In-110;
end_if;
if ob_reg_In==1 and nagretui_gaz_In==1 and t_slitkov_In>=850 and t_slitkov_In<1300 then t_slitkov_In=t_slitkov_In+10;
end_if;
if ob_reg_In==1 and nagretui_gaz_In==1 and vremya_In>=0 and vremya_In<330 then vremya_In=vremya_In+8;
end_if;
if ob_reg_In==1 and t_slitkov_In==1300 then slitok_nagr_In=1;
slitok_nagr2_In=1;
nagretui_gaz_In=0;
vozduh2_In=0;
vozduh_In=0;
gaz_In=0;
vozduh0_In=0;
gorenie2_In=0;
dumovue_gazu_In=0;
dum_gazu2_In=0;
Tduma_iz_regen_In=0;
Tduma_iz_regen2_In=0;
rashod_V_In=0;
rashod_G_In=0;
t_vozduh_In=0;
end_if;
```

Рисунок 4.3 – Програма для організації об’ємно-регенеративного спалювання палива

Після виконання вище зазначених дій та прив’язки каналів до елементів графічного інтерфейсу запускаємо проект SCADA у реальному часі. МРЧ - монітор реального часу, який реалізує такі основні функції як безперервний збір даних, їх математичну обробку та візуалізацію.

Після запуску профайлера необхідно вибрати спосіб спалювання, в цьому випадку факельний, положення димоповітряного клапану, та ввімкнути подачу повітря і газу. Повітря, проходячи через регенератор, підігрівається до 800 °С, подається у камеру печі разом в газом, утворюється факел. Температура у робочому просторі починає зростати завдяки чому зростає і температура злитків. Через заданий час змінюється положення димоповітряного клапану та здійснюється реверс пічних газів. З часом нагріву здійснюється нагрів злитків, коли їх температура досягає значення 1300 °С нагрів припиняється, вимикається подача газу і повітря.

Як ми бачимо через наявність зон високих температур, грані розташовані ближче до факела нагріваються швидше за інші.

При виборі об’ємно-регенеративного способу на екрані з’являється панель з сигналізацією. Так само, як в попередньому способі, необхідно вибрати положення димоповітряного клапану, та ввімкнути подачу повітря і газу. При об’ємному спалюванні повітря підігрівається до 1000 °С, подається у камеру печі разом в газом. Швидкість подачі повітря збільшується, прискорюються масообміні процеси і горіння відбувається по всьому об’ємі камери. Впроваджена система управління димоповітряним клапаном, яка розглянута у попередньому пункті, вимірює температуру димових газів на виході з регенераторів, коли досягається температура 200°С, спрацьовує сигналізація і димоповітряний клапан автоматично змінює положення. З часом нагріву здійснюється нагрів злитків, коли їх температура досягає значення 1300 °С нагрів припиняється, вимикається подача газу і повітря.

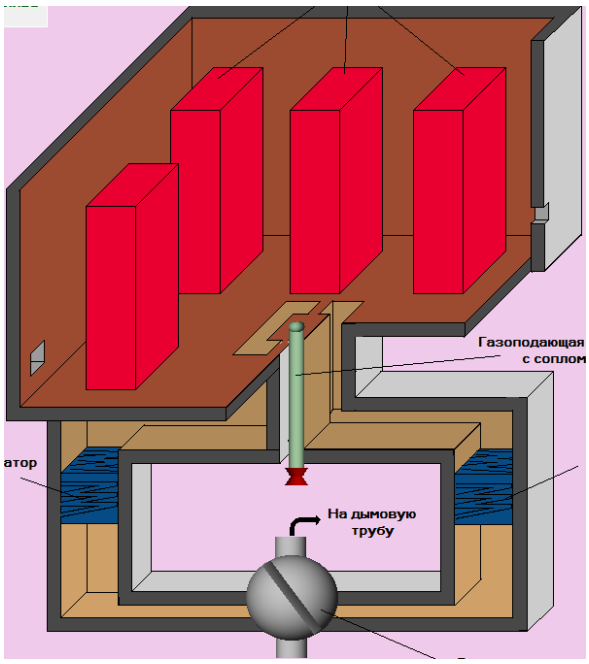


Рисунок 4.4 – Система управління при об’ємно-регенеративному спалюванні палива по закінченню нагріву

Як результат при рівномірному температурному полі здійснився рівномірний нагрів злитків. Зменшився загальний час нагріву і витрата палива.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕГЕНЕРАТИВНИМ КОЛОДЯЗЕМ

5.1 Проведення теоретичних експериментів роботи системи управління при різному спалюванні палива

Для аналізу теплових втрат регенеративної печі при факельному та об'ємно-регенеративному спалюванні паливатреба провести експеримент на основі теплового балансу. Розрахунок теплового балансу при факельному спалюванні наведені у другому розділі. Нижче наведено розрахунок теплового балансу при об'ємно-регенеративному способі спалювання, за основу розрахунків були взяті формули (2.1-2.10).

Прихід теплоти

Хімічна теплота від горіння палива:

$$Q_т = 1500 \cdot 8200 \cdot 5.5 = 67650000 кДж = 67650 МДж$$

Фізична теплота підігрітого повітря для горіння палива при $t_в$ *= 1000°С:*

$$Q_в = 4500 \cdot 1109 \cdot 5.5 = 27447750 кДж = 27447,75 МДж$$

Витрата теплоти

Теплота, засвоєна металом за нагрівання:

$$Q_м = 68440 \cdot 869 = 59474360 кДж = 59474,36 МДж$$

Теплота, що виноситься з робочого простору печі з димом:

$$Q_{ух} = 5222 \cdot 911 \cdot 5.5 = 26164800 кДж = 26164,8 МДж$$

Теплові втрати через кладку бічних стін і під колодязя:

$$Q_{кл.ст} = 109,8 \cdot 1,134 \cdot (1200 – 20) = 224123,76 \text{ кДж} = 224,123 \text{ МДж}$$

Теплові втрати теплопровідністю через кладку кришки колодязя

$$Q_{кл.кр} = 22,09 \cdot 2,726 \cdot (1200 – 20) = 71056,46 \text{ кДж} = 71,1 \text{ МДж}$$

Тепловівтратитеплопровідністю через кладку печі:

$$Q_{кл} = Q_{кл.кр} + Q_{кл.ст} = 146925,576 + 71056,46 = 217982,036 \text{ кДж} = 217,98 \text{ МДж}$$

Теплові втрати випромінюванням з робочої камери визначаються так:

$$Q_{изл}= 5{,}67\cdot 4{,}3 \cdot \left[\left(\frac{1270+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{1170+273}{100}\right)^4\right] = 324920{,}969 \text{ кДж} = 324{,}92 \text{ МДж}$$

Теплові втрати робочої камери

$$Q_{пот} = \frac{1{,}1\cdot(217982{,}036+324920{,}969)\cdot 3{,}6}{0{,}75}\cdot 0{,}6\cdot 5{,}5 = 9459540\text{кДж} = 9459{,}54\text{МДж}$$

Результати розрахунку зводимо в табл.5.1.

Таблиця 5.1 Результати розрахунку теплового балансу регенеративного колодязя з об'ємно-регенеративним способом спалювання палива

	МДж	%	Витрата тепла	МДж	%
Хімічна теплота від горіння палива	67650	71,2	Теплота, засвоєна металом за нагрівання	59474,4	62,5
Фізична теплота підігрітого повітря	27447,8	28,8	Теплота, що виноситься з робочого простору печі з димом	26164,8	27,5
			Теплові втрати робочої камери	9459,54	10
	95097,8	100		95098,7	100

Нев'язка $\delta = 0{,}9$

Розрахунок теплового балансу при двох методах спалювання палива реалізовано за допомогою середовища Matlab.

Порівнявши результати розрахунків бачимо, що при використанні об'ємно-регенеративного способу спалювання палива показник втрати тепла, що уноситься димом з робочого простору та втрат робочої камери зменшилися, а значення теплоти, засвоєної металом, збільшився. Завдяки цьому можна зробити висновок, що нагрівання металу буде більш рівномірне. Порівняні значення статей теплового балансу наведено на рис.5.1.

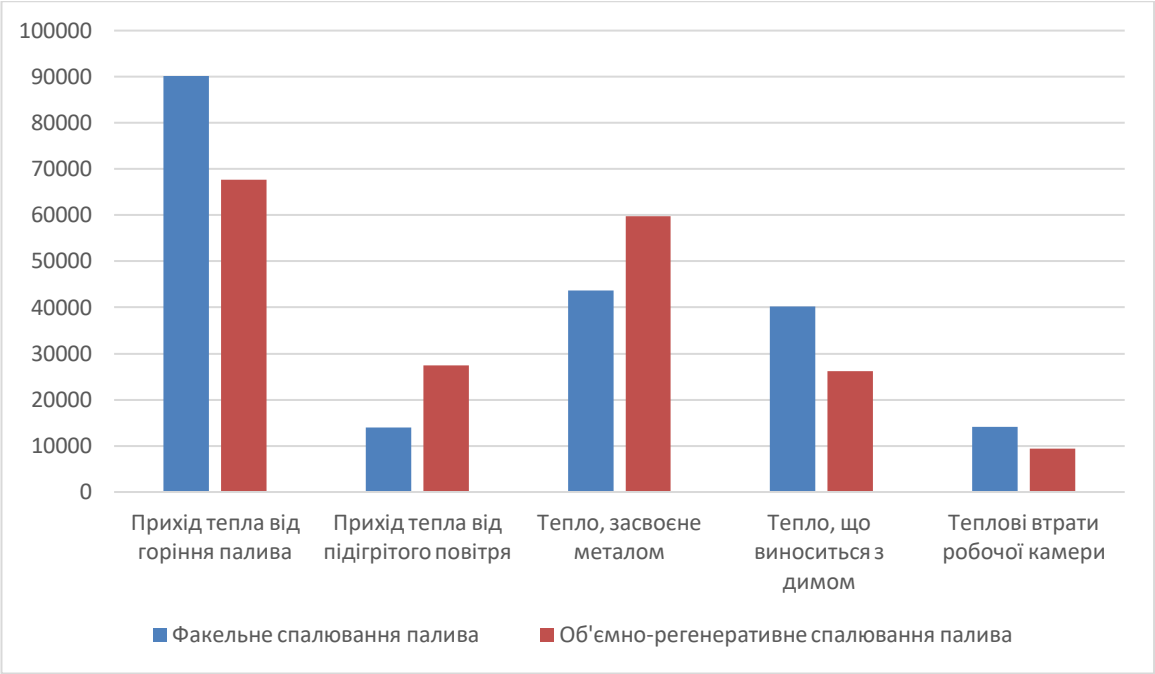


Рисунок 5.1 –Порівняння статей теплового балансу

Завдяки використання об’ємно-регенеративного способу спалювання палива створюється малоокислюванаатмосфера за рахунок регламентованого перемішування реагентів горіння. Це зумовлено збільшенням витрати нагрітого повітря, що призводить до інтенсивної циркуляції пічних газів. Розроблено зв’язок між змістом СО в продуктах згоряння і витратою повітря наведено на рис.5.2.

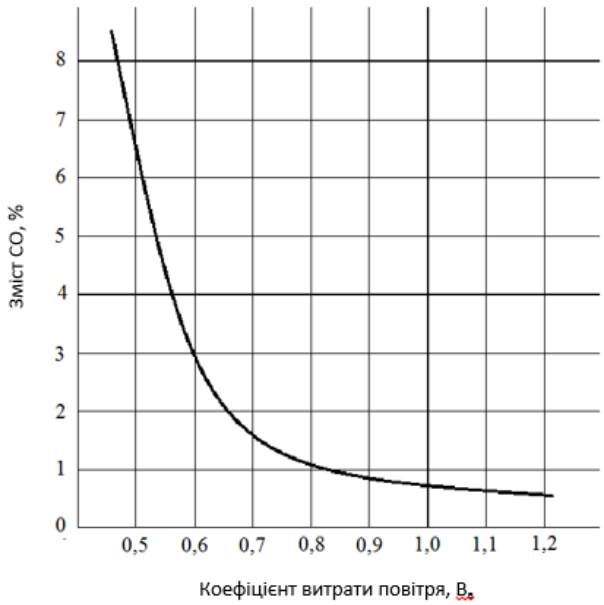


Рисунок 5.2 - Зв’язок між змістом СО в продуктах згоряння і витратою повітря

Об’ємно-регенеративний спосіб представляється найбільш перспективним при спалюванні палива з повітрям, підігрітим до високих температур. Наявність в об'ємній зоні згорання паливно-повітряної суміші з температурою, що перевищує температуру займання палива за рахунок високотемпературного підігріву повітря в сучасних регенераторах,уможливлює запалювання палива і його горіння при будь-якій кількості окислювача -кисню повітря.

Таблиця 5.1

Таблиця 5.1 - Результати об’ємного спалювання палива

Показники	Одиниці вимірювань					
Температура печі	°С	1000	1100	1200	1300	1400
Температура повітря, нагрітого в регенераторі	°С	926	990	1082	1171	1198
Температура відпрацьованих газів	°С	155	160	180	200	220
Теплова потужність утилізації відпрацьованих газів в регенераторі	кВт	45,6	46,2	49,1	53,2	53,9
Економія палива	%	42	47	52	58	65

Як видно з даних таблиці зі збільшенням температури в печі істотно зростає і температура повітря, нагрітого в регенераторі, а також помітно підвищується економія палива. При цьому за рахунок створення рециркуляції горючих газів, що надходять до пальників, забезпечується більш повне спалювання газу.

6 РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЕФЕКРИВНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

6.1 Техніко-економічні показники роботи регенеративного нагрівального колодязя з опаленням із центру поду

Для виконання техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) слід використовувати систему показників, які забезпечують у межах прийнятого критерію різнобічну оцінку техніко-економічної ефективності АСУ ТП. Узагальнюючими показниками техніко-економічної ефективності АСУ ТП є річний приріст чистої продукції, річний економічний ефект, коефіцієнт економічної ефективності і термін окупності витрат.

Основними завданнями ТЕО АСУ є наступні: виявлення доцільності розробки АСУ ТП, встановлення максимально допустимої суми одноразових витрат, відшкодування якої можливо за рахунок одержуваної економії в межах нормативних показників економічної ефективності, вибір найкращого варіанта АСУ ТП в цілому та окремих її компонентів за економічними критеріями, оцінка впливу АСУ ТП на техніко-економічні показники об'єкта управління.

Основними техніко-економічними показниками при виробництві злитків є витрата металу, палива при нагріванні металу, електроенергії, води, валків, віднесених до одиниці придатної продукції.

Електроенергія в цеху витрачається на приведення в дію основного і допоміжного обладнання та на освітлення.

Річні витрати електроенергії наприведення в дію основного і допоміжного обладнання визначається поформулою:

$$Р_{рік}=Ц\cdot Э_{дв} \qquad (6.1)$$

де Ц - ціна за 1 кВт/год, грн (1,37 грн);

$Е_{дв}$ - дійсно спожите кількість електроенергії в рік дляобладнання кВт.

Справжнє кількість електроенергії в рік на обладнання визначається за формулою:

$$Э_{дв}= (Q_{дв} \cdot К_{спр})/ (ККД_{кс} \cdot ККД_{дв}) \quad (6.2)$$

де $Q_{дв}$ - сумарна кількість електроенергії в рік;

$К_{спр}$- коефіцієнт попиту, враховує навантаження;

$ККД_{кс}$ - коефіцієнт корисної дії кабельної мережі,$КПД_{кс}$ = 0,98;

$КПД_{дв}$ - коефіцієнт корисної дії двигунів, $КПД_{дв}$ = 0,99.

$$Э_{дв}= (29844000 \cdot 0,98)/(0,98 \cdot 0,99) = 301454,5 \text{ кВт.}$$

$$Р_{год}=1,37 \cdot 301454,5=412992,7 \text{ грн.}$$

Освітлювальна енергія цеху приймається в розмірі 20% від витрат наенергію для основного і допоміжного обладнання.

$$Р_{осв}=412992,7 \cdot 0,137=56580,36 \text{ грн.}$$

Можна вирахувати вартість нагріву, знаючи що піч в середньому працює 320 днів за рік, кожен цикл - це 8 годин (з урахуванням технічних потреб), а один кубічний метр палива 4.2 грн/м^3. Кількість циклів за добу два.

Фактичний кількість циклів за рік визначимо за формулою, ц/рік:

$$Т_ф = Ц \cdot Т \quad (6.3)$$

де Ц - кількість робочих днів у році;

Т - кількість циклів у добі.

$Т_ф = 320 \cdot 2 = 640.$

Витрати палива визначимо за формулою:

$$З = Т_ф \cdot П \quad (6.4)$$

де П - витрата палива за цикл.

З - вартість палива за 1 м^2/рік.

$З = 640 \cdot 189,13 = 121043$ м^2/рік

$З_п = Т_ф \cdot З = 121043 \cdot 4,2 = 508381$ грн/рік.

Вартість обладнання становить: С = 386000 грн.

Коефіцієнт абсолютної ефективності:

$$К_е = З_п / С \quad (6.5)$$

$К_е = 508381/386000 = 1,32$

Термін окупності:

$$Т_{ок} = 1/К_е \quad (6.6)$$

$Т_{ок} = 1/1,32 = 0,76$ роки.

В рік дана піч витрачає 121043 метрів кубічних газу, вартість якого складає 4,2 гривень за метр кубічний.

Розрахункова рентабельність підприємства,%:

$$Р_Р = (П_р/ОФ + ОС) \cdot 100\% \quad (6.7)$$

де $П_р$ - розрахунковий прибуток, грн;

(ОФ + ОС) - середньорічна вартість виробничих фондів, грн.

$Р_р = 3244874,46 / 224196,38 \cdot 100\% = 20,1$ %.

Як висновок всі розраховані техніко-економічнідані з впровадженим удосконаленим методом спалювання палива наводимо у табл.6.1.

По результатам розрахунку можна зробити висновки про доцільність

проведення заходів з впровадження удосконаленого методу опалення впроцес нагрівання злитків у регенеративному колодязі. Термін окупності запропонованого способу спалювання0,76 року. Рентабельність виробництва складе 20,1 % .

Таблиця 6.1 - Техніко-економічні показники проекту впровадження об’ємно-регенеративного спалювання палива у регенеративному колодязі

Найменування показника	До удосконалення	Після удосконалення
Обсяг виробництва, тон	129543,7	142236
Вартість обладнання, грн	-	386000
Витрата палива, $м^3$	173567	121043
Чисельність основних робітників, чол	7	7
Коефіцієнт абсолютної ефективності	1,3	1,32
Термін окупності, рік	-	0,76
Рентабельність, %	18	20,1

6.2 Ефективність та рекомендації до застосування за результатамипроведених розробок

В даній науково роботі проведено аналіз спалювання палива у регенеративній нагрівальній печі. На основі опрацювання результатів цього аналізу було запропоновано одним з перспективних способів рівномірного нагріву металу - розподілений об'ємний спосіб спалювання палива зорганізованою рециркуляцією пічних газів. До переваг об'ємного спалювання палива можна віднести низьку кількість шкідливих викидів через відсутність високотемпературних зон, властивих факельному спалювання палива, рівномірне температурне поле в печі,передумови до відновлення оксидів азоту продуктами неповного горіння палива в робочому просторі печі.

Наведено методи організації об’ємно-регенеративного спалювання палива та рециркуляції пічних газів у нагрівальних печах з метою зменшення теплових втрат.

На основі запропонованого способу спалювання було розроблено систему управління перекиданням димоповітряного клапану, яка дозволяє повертати в піч хімічну теплоту з підігрітим повітрям.

Також виходячи з аналізу двох способів спалювання було проведено експерименти, результати яких показали доцільність впровадження об’ємного спалювання палива, яке дозволяє зменшити теплові втрати при нагріві злитків у нагрівальній печі.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці в Україні є найважливішим загальнодержавним завданням і являє собою систему правових, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Основним документом є Закон України "Про охорону праці", який прийнятий 14.10 92 р. і введений в дію в 24.10.92 р. Даний закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Темою дипломного проекту є удосконалення роботи нагрівального колодязя, запропоновано заходи щодо покращення умов праці, розглянуто питання техніки безпеки та пожежної профілактики.

7.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих факторів

Для безпеки роботи персоналу, що обслуговує нагрівальні печі, обов'язкове виконання правил з техніки безпеки.

Вибухова суміш може утворитися, якщо до пуску печі газопровід не був продутий. Повітря, що залишився в газопроводі, змішуючись з газом, утворює вибухову суміш. Продування газопроводу газом з видаленням його через продувну свічку і подальша перевірка вмісту в ньому кисню - обов'язкові операції, що запобігають вибух.

При різкому зниженні тиску газу повітря через пальники може потрапити в газопровід і утворити вибухову суміш. Для попередження цього необхідно газопровід і піч відключати при тиску менше 200 - 400 Н/м^2.

Вибухова суміш утворюється під час ремонту при поганій продувці

газопроводу або при проникненні в нього газу через не щільності в засувках. Щоб уникнути цього треба встановлювати заглушку, що відсікає ремонтується ділянку газопроводу від діючої мережі, і своєчасно продувати його.

Вибухова суміш утворюється при попаданні у повітропровід газу або парів мазуту через пальник при невеликому тиску повітря, а також при не правильному пуску печі з відключеним вентилятором, тобто коли спочатку подають газ і підпалюють його, а потім включають вентилятор. При цьому газ може проникнути у повітропровід і утворити вибухову суміш, потрапляння якої на вогнище, що горить в печі, або факел запальника призводить до вибуху.

Для попередження вибухів при пуску печі попередньо включають вентилятор, продувають повітропровід, а потім вже включають пальника.

Вибухи газів в печі, топці і кабані можуть відбутися в наступних випадках:

- при недостатній щільності запірних засувок у пальників, через які газ просочується і заповнює піч;

- при порушенні інструкції при пуску печі, коли спочатку подають газ, а потім підносять до пальника факел, який може згаснути;

- у низькотемпературних печах, що працюють при температурах не вище 500 °С (нижче межі займання газу), коли газ подається з надлишком; при цьому газ, який не встиг згоріти в топці, може утворитися вибухова суміш у робочому просторі печі;

- при припиненні горіння палива в низькотемпературних печах з автоматичним регулюванням температури при виключенні і включенні пальників;

- при роботі печі з недоліком повітря, коли паливо, не згорає в печі, змішується в лежаках з повітрям, засмоктується через не щільності в шиберах і кладці, і утворює вибухову суміш;

- при випаровуванні мазуту, коли його подають у великій кількості,

особливо в початковий період пуску печі; при випаровуванні його утворюється вибухова суміш.

При перекритті вентилів, установлених на трубах, що подають і відвідних воду від водоохолоджуючої арматури (рам, заслінок, гліссажних труб), що залишилася в арматурі вода випаровується, тиск у трубах різко підвищується, що може призвести до розриву вентилів. Для попередження цього регулювальні вентилі слід встановлювати тільки на трубах, що підводять воду до арматури; на трубах, відвідних її, їх встановлювати не можна.

Циліндри пневмотолкателей і підйомників можуть вибухнути в тому випадку, якщо товщина їх стінок мала, і не розрахована на тиск, який чиниться на стінки. Розриви чавунних кришок і вибух циліндрів особливо небезпечні.

Щоб уникнути вибухів пневмоциліндрів товщину стінок слід визначати розрахунком. Після складання циліндри повинні піддаватися особливим гідравлічним випробуванням при підвищеному тиску. Відчувати їх компресорним повітрям або парою забороняється.

Вибух у селітрових ваннах може відбутися при прогорання стінок тигля. При температурі вище 600 °С селітра інтенсивно випаровується, осідає на одязі персоналу, обслуговуючого ванни, стінах будівлі та обладнанні, що не безпечно. Тому при експлуатації селітрових ванн необхідно дотримуватися правила з техніки безпеки. Не можна використовувати ванни з зовнішнім обігрівом, вони повинні бути з внутрішнім обігрівом спеціальними трубчастими електронагрівачами. Повинно бути виключено попадання в селітру амонійних і фосфатних солей, алюмінієвої і магнієвої стружки і органічних сполук, з якими, з'єднуючись, селітра утворює вибухові сполуки.

У масляних ваннах можливі перегрів і займання масла. Для безпечної роботи температура займання масла повинна бути на 80 - 100 °С вище температури нагріву деталей. У масляних ваннах є пристрої для гасіння

полум'я парою і зливні баки для аварійного спуску масла.

Для попередження перегріву селітри або масла передбачені автоматичне регулювання температури і автоматична сигналізація, попереджувальні обслуговуючий персонал про підвищення температури селітри або масла вище допустимої.

При розігріві сіль, застигла на дні холодної соляної ванни, швидко плавиться, тоді, як верхні її шари знаходяться ще в твердому стані. При цьому обсяг розплавленої солі збільшується, гідростатичний тиск на стінки тигля підвищується, і він може вибухнути. Щоб уникнути цього сіль у ваннах не можна доводити до повного затвердіння. Якщо ж вона затверділа, то, використовуючи спеціальні пристосування, розплавляють верхні шари солі.

Волога у вигляді льоду, снігу або води, потрапляючи в розплавлену ванну, швидко випаровується, що призводить до вибуху і викиду солі з ванни. Для попередження вибухів забороняється завантажувати ванну деталями, поверхня яких покрита кригами або снігом. Щоб уникнути попадання вологи селітрові, і масляні та лужні ванни постачають кришками й екранами.

Газове паливо, продукти неповного горіння і контрольовані атмосфери не мають запаху, кольору і здатні проникнути через будь-які не щільності і навіть фільтри протигазів.

За ступенем впливу на організм людини шкідливі речовини поділяють на 4 класи:

1. Надзвичайно небезпечні;

2. Високо небезпечні;

3. Помірно небезпечні;

4. Малонебезпечні.

Окис вуглецю - найбільш небезпечна складова газоподібного палива і продуктів неповного горіння газу. Вона не має запаху, кольору і подразнюючих властивостей, які могли б своєчасно сигналізувати про її присутності в атмосфері.

Сірчисті сполуки (сірководень, сірчистий газ, що містяться в газоподібному паливі або продуктах горіння) викликають подразнення слизових оболонок і верхніх дихальних шляхів. Проте навіть нікчемні концентрації сірчистих сполук в атмосфері швидко виявляються за запахом.

Вуглекислий газ, що міститься в продуктах горіння палива, в півтора рази важчий за повітря, він може накопичуватися на дні колодязів, в приямках і лежаках. Отруєння цим газом супроводжується головним болем, шумом у вухах, серцебиттям і запамороченням. Хронічних отруєнь не буває.

Метан, ацетилен, етан і етилен - це складова частина промислового газового палива і в першу чергу, природного газу. Метан іноді зустрічається в каналізаційних колодязях і трубах.

Аміак - сильно пахне газ. Дратує верхні дихальні шляхи.

Оксиди азоту можуть утворюватися при експлуатації ціаністих ванн для азотування виробів. Видаляють їх за межі цеху з допомогою потужної вентиляції.

З ціаністих сполук найбільш небезпечний ціаністий водень, що утворюється при взаємодії ціаністих солей з вологою або соляною кислотою. При обслуговуванні ціаністих ванн необхідно виконувати всі правила по техніці безпеки.

У більшості випадків отруєння відбувається через органи дихання. Тому основна увага повинна бути звернена на забезпечення безпечних концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони, що досягається герметичністю апаратури і відповідної вентиляцією промислових приміщень.

7.2 Аналіз умов праці

У прокатному цеху проходить складний технологічний процес з використанням комплексу основного і допоміжного обладнання, систем контролю і управління з високим ступенем автоматизації і механізації. Робота в прокатному цеху пов'язана з впливом на працівників таких

шкідливих виробничих факторів, як висока температура повітря, надлишки тепла, підвищена концентрація пилу та інших шкідливих речовин, високі рівні шуму і вібрації. До небезпечних виробничих факторів належать можливість отримання механічної травми, опіку, електротравми і ін.

Цех відноситься до «гарячих» цехів, тому що надлишки тепла перебільшують 300 Вт/м^3. Параметри метеоумов у робочій зоні цеху впливають на працездатність робітників та стан їх здоров'я. За ступенем важкості роботи, цех відноситься до категорії II б - середньої важкості фізичні роботи з енерговитратами організму 233-290 Вт згідно ДСН 3.3.6.042- 99 [27]. У таблиці 7.1 наведені фактичні й допустимі параметри мікроклімату для категорії IIб згідно.

Таблиця 7.1 - Параметри мікроклімату в робочій зоні цеху

Період року	Температура, °С		Відносна вологість,%		Швидкість руху м/с		Інтенсивність теплового опромінення, Вт/м2	
	Допустима*	Фактична	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична
Холодний	13-23	15-21	75	60-75	<0.4	0,2-0,4	140	300-550
Теплий	15-29	15-27	70	60-70	0,3	0,2-0,5	140	300-550

*Температура повітря для непостійних робочих місць

Підвищена температура повітря робочої зони та великі тепловиділення викликають порушення терморегуляції організму, що призводить до поганого самопочуття робітників. Джерелами теплових виділень в цеху є рекуперативні та регенеративні колодязі, сляби та блюми, трубо і паропроводи та ін.

Іншим, не менше шкідливим чинником, в прокатному цеху є шум. Надмірний шум шкідливо впливає на здоров'я робочих, сприяє виникненню травматизму і знижує продуктивність праці. Робота в умовах підвищеного шуму протягом всього дня викликає стомлення, підвищує кров'яний тиск,

викликає зміну ритму серцевих скорочень, неврози. Тривала дія шуму, що перевищує допустимі рівні, призводить до зниження слуху. Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99 гранично допустимий рівень шуму у виробничих приміщеннях 80 дБА. Фактичний рівень шуму досягає 85-115 дБА.

Шкідливими виробничими факторами також є пил, пари, гази, що потрапляють у повітря робочої зони цеху в результаті технологічних операцій. Нагрівальні колодязі є найбільшим джерелом пиловиділення. Пил, який потрапляє у повітря цеху, має щільність 4,3 г/см^3. Пил може викликати професійні специфічні захворювання такі, як алергія, пиловий бронхіт, бронхіальна астма, фіброз.

Прокатний цех відрізняється найбільшою кількістю газонебезпечних місць при обертанні назустріч один до одного прокатних валків, виникають умови для захвату кінцівок людини, його спецодягу. Рухомі заготовки створюють небезпеку травмування персоналу. Великою небезпекою є робота з підйомно-транспортними засобами із-за можливості обриву вантажу або неправильного його закріплення тросами, при обриві зношених тросів. Певну небезпеку представляє розжарений метал, оскільки непередбачений контакт з ним може викликати опіки і травми.

Ступінь небезпеки подібних місць визначається концентрацією оксиду вуглецю (як складника доменного газу). На ряді ділянок в умовах невеликого перевищення гранично допустимої концентрації складових газу в повітрі робочої зони не виключені хронічні отруєння оксидом вуглецю.

У таблиці 7.2 наведені фактичні й гранично допустимі згідно ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони цеху. При порушеннях технологічного процесу або аварійних ситуаціях вміст пилу й інших шкідливих речовин може значно перевищувати ГДК.

Небезпечним виробничим фактором у цеху є можливість поразки працюючих електричним струмом. Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 приміщення прокатного цеху за ступенем небезпеки поразки електричним струмом ставиться до особливо небезпечних приміщень. По доступності

електроустаткування цех ставиться до виробничих приміщень, по напрузі - до 1000 В.

Несправність електричного встаткування й порушення правил техніки безпеки може призвести до поразки людей електричним струмом. При впливі струму людина може одержати загальну або місцеву електротравму.

В умовах цеху, при підвищеній температурі повітря й вологості, ступінь важкості поразки зростає.

Роботи у ПЦ-1 є небезпечними щодо травматизму - це є опіки - іскрами, гарячого металу, гарячими газами випромінюванням.

Таблиця 7.2 - Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони цеху

Шкідлива речовина	Фактична концентрація, мг/м3	ГДК, мг/м3	Клас небезпеки
Пил, що містить заліза окис з домішками фтористих або від 3 до 6% марганцевих з'єднань	6-8	4	4
Пил доменного шлаку	4-6	6	4
N02	2-6	5	2
S02	4-6	10	3
CO	0, 8-2,5	20	4

Небезпечними факторами у цеху також являється можливість одержання механічні травми рухомі частини які представляють небезпеку, оскільки контакт з ними може викликати травми. Частини і вузли прокатних машин (валяння, зубчасті колеса, ножиці) здійснюють обертальний рух. Інші частини і вузли (рольганг, вузли механізмів прокатних станів, штовхальники правильних машин) - зворотно-поступальний рух. падіння з висоти.

Для створення сприятливих умов праці велике значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності, може бути причиною нещасних випадків. Природна освітленість у цеху недостатня, тому в денний час постійно використовують штучне освітлення. По характеристиці зорової роботи, робота основного обслуговуючого персоналу ставиться до VIII «а» розряду. Нормована величина освітленості при

загальному штучному освітленні - 40лк у відповідності до ДБН В.2.5-28-2006.

7.3 Заходи по забезпеченню безпеки праці та виробничої санітарії

На підставі аналізу шкідливих і небезпечних виробничих факторів пропонуються наступні організаційно-технічні заходи щодо поліпшення умов праці. Для нормалізації мікроклімату в цеху рекомендується використовувати теплову ізоляцію з органічних і неорганічних матеріалів, екранувати корпус печі за допомогою водоохолоджуємих екранів тепловідведення, а також герметизувати печі для зменшення витоків розігрітих газів. Організувати аерацію, для чого встановити механічні пристрої для відкривання фрамуг в цеху. Для зменшення теплових впливів на працівників цеху, робочі місця обладнати припливною місцевою вентиляцією (повітряні душі). У комплексі із засобами колективного захисту обов'язково застосування засобів індивідуального захисту: (спецодягу та спецвзуття); різних запобіжних пристроїв (каски, окуляри, теплозахисні маски, підшоломники) і ін. Для відшкодування втрат с потовиділенням необхідно застосовувати спеціальний питний режим. Для зниження виробничого шуму потрібно акустична обробка приміщення, звукоізолюючі огорожі, засоби індивідуального захисту - вкладиші, навушники.

Для запобігання опіків і механічних травм пропонується Температура прокату під час приймання не повинна перевищувати 70°С. Приймання прокату з гострими кромками і задирками виробляється лише в рукавицях.

Забороняється виконувати контрольні операції в безпосередній близькості від працюючих механізмів, біля нестійкий складених штабелів заготовок, поблизу проходів і проїздів.

Забороняється вимір прокату вручну, що знаходиться в кліті, або під час його переміщення по рольгангам.

Видача посадовими особами вказівок або розпоряджень, що змушують

підлеглих порушувати правила безпеки і інструкції до них, самовільне відновлення робіт, зупинених технаглядом заводу або органом державного нагляду, а також неприйняття цими особами заходів по усуненню порушень є грубим порушенням правил.

Для запобігання ураження електричним струмом відкриті струмопровідні частини і струмозйомники мостових кранів розташувати на недоступну для випадкового дотику висоту; заземлити корпуси трансформаторів, електродвигунів, всі металеві частини обладнання; в електричних мережах використовувати комплексні розподільні установки та магнітні пускачі; при роботі з переносним ручним електроінструментом і ручної лампою використовувати напругу до 12 В. З метою зменшення газової небезпеки в усіх газонебезпечних місцях повинні працювати тільки особи, які пройшли спеціальну підготовку. Газонебезпечні роботи повинні виконуватися не менше, ніж двома робітниками з використанням запобіжних поясів, ізолюючих приладів, інструментів, що не утворюють іскор і світильників з захистом від вибуху. Також у всіх газонебезпечних місцях необхідно брати проби повітря на аналіз. Завдяки впровадженню системи профілактичних заходів (герметизація комунікацій, автоматизація подачі газу, нормалізація спалювання газів, раціональна вентиляція та ін.).

7.4 Засоби індивідуальних захисту

Норми розроблено для професій працівників металургійної промисловості, перелік яких передбачений Класифікатором професій ДК 003:2005, затвердженим наказом Держспоживстандарту України від 26.12.2005 № 375. Класифікація захисних властивостей засобів індивідуального захисту залежно від небезпечних та шкідливих виробничих факторів застосована відповідно до вимог.

Забезпечення працівників організацій та підприємств необхідними для трудового процесу ЗІЗ, а також порядок їх утримання та зберігання

здійснюється відповідно до Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту, затвердженого наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 24.03.2008 № 53, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 21.05.2008 за № 446/15137 (НПАОП 0.00-4.01-08). Засоби індивідуального захисту служать для захисту робітників від шкідливих і небезпечних факторів виробничого процесу. Працюючі на ділянці забезпечені згідно зі штатним розкладом на підставі типових галузевих норм. Річна потреба в засобах індивідуального захисту для робочих (службовців) основних професій на ділянці (лабораторії.) приведена в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 - Перелік забезпечення основних робітників спецодягом

№	Код згідно з класифікатором професій (ДК 003:05)	Професійна назва роботи	Кількість людей	Найменування спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту	Строк носіння, міс.	Загальне у на рік
11	81 11.2	Машиніст конвеєра	4	Костюм бавовняний Черевики шкіряні Рукавиці комбіновані Каска захисна з підшоломником Окуляри захисні Респіратор пилозахисний Взимку додатково: Куртка утеплена	12 12 7 днів 24 до зносу до зносу 36	144 144 336 днів 288 до зносу до зносу 432

7.5 Санітарно-побутові приміщення і пристрої

Виробничий процес у цеху по санітарно-гігієнічній характеристиці згідно ДБН В.2.2-27:2010 відноситься до групи 26, тому що супроводжується впливом на працюючих надлишків явного променевого тепла.

До складу побутових приміщень входять: гардеробні, душові, умивальні, убиральні, пристрої питного водопостачання, приміщення для харчування та охорони здоров'я.

Гардеробні призначені для зберігання вуличного і спеціального одягу і розраховуються за загальною кількістю працюючих з урахуванням 5% резерву.

Решта приміщень розраховується за кількістю працюючих у найчисельнішу зміну.

У душових 1 сітка душа передбачена для обслуговування трьох осіб, в умивальних 1 кран для 20 осіб.

Душові і умивальні розміщені суміжно з вбиральнями.

Для харчування робітників цілодобово працює їдальня, в якій одне посадочне місце розраховане на обслуговування 4 осіб.

Для поповнення втрат вологи і мінеральних солей в цеху розміщені питні фонтанчики та автомати з газованою водою.

Джерела питного водопостачання розташовані не далі 75 м від робочих місць. Працюючі цілодобово обслуговуються лікарським пунктом I категорії.

7.6 Пожежна безпека

Виробничий процес у доменному цеху за вибухопожежною та пожежною небезпекою, згідно з НАПБ Б.03.002-2007, належить до категорії "Г", тому що в ході виробничого процесу обробці піддаються негорючі матеріали в розпеченому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променевого тепла, іскор та полум'я; горючі гази, рідини і тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо.

Будівлю цеху побудовано з негорючих матеріалів (металоконструкцій, залізобетону, скла), будівельні конструкції мають I і II ступінь вогнестійкості відповідно до ДБН В.1.1-7-2002.

Пожежі в цеху можуть виникнути в результаті: впливу тепла від нагрітих предметів; загоряння електрообладнання при перевантаженнях, перегрівах і коротких замиканнях; на пічній ділянці можливе займання і вибух горючих газоповітряних сумішей.

Небезпеку виникнення пожежі в цеху можна зменшити наступними заходами: оснащенням систем управління електрообладнання автоматами максимального струмового захисту та плавкими запобіжниками; обладнанням маслопроводів системою припливно-витяжної вентиляції, що видаляє пари масла і зменшує їх концентрацію в повітрі, промаслене дрантя після використання збирається в металеві ящики з герметичними кришками, а в кінці зміни вивозиться з цеху і спалюється в спеціально відведеному місці; статичний заряд відводиться в землю по мережі заземлення.

Для гасіння пожеж водою використовується пожежний водопровід, об'єднаний з виробничим. На його мережі в приміщенні цеху встановлені пожежні крани з брезентовими рукавами і відводами. Зовні будівлі по її периметру в підземних колодязях розміщені пожежні гідранти. Для доступу на дах будівлі використовуються пожежні сходи, укріплені на стінах. У цеху є п'ять евакуаційних виходів.

Вірогідність поразки будівель блискавкою зменшена застосуванням системи захисту від блискавки II категорії, виконаної відповідно до ДСТУ Б В.2.5-38:2008. На випадокпожежі розроблено план евакуації людей. Для гасіння можливих пожеж в цеху передбачені первинні засоби пожежогасіння, які наведені в таблиці 4.4 і визначені на підставі НАПБ А.01.001-2004 та НАПБ Б.03.001-2004.

Пожежні щити встановлюються на території цеху. У комплект щита входять: вогнегасники - 3 шт.; ящики з піском - 1 шт.; азбестове покривало - 1 шт.; багри - 2 шт.; ломи - 2 шт.; лопати - 2 шт.; сокири - 2 шт.

Таблиця 7.4 - Норми належності вогнегасників для цеху

№ з/п	Гранична захищувана площа, м2	Клас можливої пожежі	Мінімальна кількість порошкових вогнегасників								
			Переносний вогнегасник (з газом-витискувачем у балоні або закачаний) із зарядом вогнегасної речовини, кг					Пересувний вогнегасник (з газом-витискувачем у балоні або закачаний) із зарядом вогнегасної речовини, кг			
			5	6	8	9	12	20	50	100	150
1	більше 500 до 1000 включно	B, C	11	11	7	7	5	3	2	1	-
			Мінімальна кількість водяних або водопінних вогнегасників								
			Переносний вогнегасник (з газом-витискувачем у балоні або закачаний) із зарядом вогнегасної речовини, кг					Пересувний вогнегасник (з газом-витискувачем у балоні або закачаний) із зарядом вогнегасної речовини, кг			
			5	6	9	12		20	50	100	150
2		B	”	“	12	7		4	3	2	1
			Мінімальна кількість вуглекислотних вогнегасників								
			Переносний вогнегасник (з газом-витискувачем у балоні або закачаний) із зарядом вогнегасної речовини, кг					Пересувний вогнегасник (з газом-витискувачем у балоні або закачаний) із зарядом вогнегасної речовини, кг			
			3,5		5			7	14	18	28	56
3		B, (E)	“		“			-	4	3	2	1

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі було досліджено автоматизовану систему управління та тепловий баланс регенеративного колодязя з метою зменшення теплових втрат. Розроблено технічні рішення по удосконаленню теплової роботи нагрівальної печі.

На основі аналізу існуючого способу спалювання палива було запропоновано один з перспективних способів рівномірного нагріву металу - розподілений об'ємний спосіб спалювання палива зорганізованою рециркуляцією пічних газів. До переваг об'ємного спалювання палива можна віднести низьку кількість шкідливих викидів через відсутність високотемпературних зон, властивих факельному спалювання палива, рівномірне температурне поле в печі,передумови до відновлення оксидів азоту продуктами неповного горіння палива в робочому просторі печі.

Було представлено організацію удосконаленого способу спалювання, зміни у конструктивних та газодинамічних факторах.

Для створення рівномірного розподілу продуктів горіння за обсягом робочого простору печі було розроблено систему управління димоповітряним клапаном, яка за заданим значення температури в підрегенеративному просторі змінює положення перекидного клапану. Реалізувавши дану систему управління вдалося здійснити рівномірний нагрів злитків, зменшити загальний час нагріву і витрату палива.

Було розраховано та порівняно значення теплових втрат при факельному та об’ємно-регенеративному способів спалювання палива. Проведений експеримент показав, що теплові втрати печі, що виносяться з димом, значно зменшились. Як наслідок показник втрати тепла на нагрів металу збільшився, завдяки цьому можна зробити висновок, що нагрівання металу буде більш рівномірне.

Максимальний перепад температури по висоті злитка знизився з 50 ºС до 25 - 35 °С. Економія палива в середньому склала 30%. Максимальна витрата палива знизилася з 2100 $м^3$/год до 1500 $м^3$/год. Знизився угар металу на 1,9 - 3,5 кг на 1 т придатного металу. Продуктивність реконструйованого нагрівального колодязя виросла на 7 - 17%.

Список використаних джерел інформації

1. Енергозберігаючі технології нагріву металу в колодязях, методичних і термічних печах. Гарячий посад і пряма прокатка. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://metallurgy.zp.ua/energosberegayushhie-tehnologii-nagreva-metalla-v-kolodtsah-metodicheskih-i-termicheskih-pechah/
2. Печі для нагріву злитків. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://studopedia.su/3_35384_teplovoy-balans-i-rashod-topliva.html
3. Котляревський Е.М., Кузовніков АЛ. Економія палива і зниження чаду металу при нагріванні злитків і заготовок // Бюл. НТІ. Чорна металургія. 1985. N ° 9. С. 16-21.
4. Тимошпольский В. И. Аналіз способів нагріву великотоннажних промислових злитків з незатверділою серцевиною/ В. М. Ольшанский, С М. Каеишов - Національна металургійна академія України, 2004. – 29с.
5. Дубина О.В. Розробка режимів нагріву великотоннажних злитків з підвищеним теплосодержанием / О.В. Дубина, В.І. Тімошпольскій, В.І. Губинський і ін. / / Зб. науч. тр .: Металургійна теплотехніка. Дніпропетровськ. 2002. №7. С.116-123.
6. Губинський В.І. Нагрівальні печі металургії - сьогодні і завтра // Теорія і практика металургії. Дніпро. - 2004. - № 6. - С. 56 - 60.
7. Сорока Б.С. Інтенсифікація теплових процесів в паливних печах. - К .: Наук. Думка, 1992. - 416 с.
8. Губинський В.І. Актуальні завдання реконструкції нагрівальних печей // Металургійна теплотехніка: Зб. наук. тр. НМетАУ. У двох книгах. - Книга перша. - Дніпропетровськ: Пороги, 2005. -С. 149 - 156.
9. Губинський В.Й., Єрьомін А.О., Сибір А.В., та ін. Робота нагрівального колодязя з кульковими регенераторами // Металургійна та гірничорудна промисловість. - 2005. № 1. - С.103-105.

10. Патент України на корисну модель № 26272. Об'ємно-регенеративний спосіб спалювання палива при нагріванні металу / Єрьомін О.О., Губинський В.Й, Сибір А.В. – Опубл. Бюл. № 14, 2007.

11. Єрьомін А. О. Організація регламентованого спалювання палива в нагрівальних печах з метою створення рівномірного температурного поля // Металургійна теплотехніка: зб. науч. тр. НМетАУ. Дніпро: Нова ідеологія. 2012. Вип. 4 (19). С. 78-83.

12. Закон України "Про охорону праці". Верховна Рада України; Закон від 14.10.1992 № 2694-X1I - К.: Основа, 1993.

13. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - К.: Держстандарт, 1999.

14. ДСН 3.3.6.037-99.Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. -К.: Держстандарт, 1999.

15. ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 528 від 27.12.2001.

16. НПАОП 40.1-1.32-01. «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок». - К.: Держгірпромнагляд України, 2001.