

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

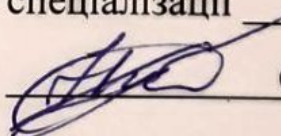
Кваліфікаційна робота
другий магістерський
(рівень вищої освіти)

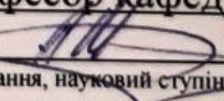
на тему “Підвищення енергетичної ефективності камерних печей з викатним
подом”

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ – 18 - 1мз
спеціальності 144 теплоенергетика
(код і назва спеціальності)

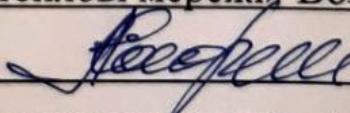
освітньої програми теплоенергетика
(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

 О. О. Нікітенко
(ініціали та прізвище)

Керівник професор кафедри ТГЕ, доктор
технічних наук  А.С. Мних
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент Головний інженер Філії Концерну
«Міські теплові мережі» Вознесенівського району

 А.П.Сафонов
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій
Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 144 Теплоенергетика
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«26» 12 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Гікітченко Алексій Александрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи (проекту) Підвищення енергетичної ефективності камерних печей з викатними подами
- керівник роботи Михай Антон Сергійович, д.т.н. професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом ЗНУ від «08» листопада 2019 року № 2114-С
- Строк подання студентом роботи 26.12.2019
- Вихідні дані до роботи камерна піч з викатними подами, витрата природного газу 81,62 м³/год, продуктивність печі 910 кг/год
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристика об'єкту дослідження 2. Підвищення енергетичної ефективності камерних печей з викатними подами 3. Охорона праці
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) Структура витрат енергоресурсів ТОВ ЗТМК, 2) Конструкція камерної печі ТОВ - ЗТМК, 3) Камерна піч з викатними подами 4) Тепловий баланс камерної печі 5) Карти запропанованих теплоізоляційних матеріалів
- Консультанти розділів роботи 6) Розподіл температурних зон у камерній печі

АНОТАЦІЯ

Нікітенко О.О. Підвищення енергетичної ефективності камерних печей з викатним подом.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник А.С. Мних. Запорізький національний університет. Інженерний інститут. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020.

В роботі розраховано тепловий баланс камерної печі з викатним подом. Модернізація передбачає заміну пальників та теплоізоляційного матеріалу камери печі для підвищення її енергетичної ефективності. Досліджено можливість перерозподілу теплоти у камері печі за рахунок зміни розташування пальників.

Ключові слова: КАМЕРНА ППЧ, ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС, ФУТЕРУВАННЯ, ЕКОНОМІЯ ГАЗУ, ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ, ПАЛЬНИК.

ABSTRACT

A. Nikitenko. Increasing the efficiency of chamber furnaces with drawable hearth.

Master's thesis for obtaining a higher education master's degree in specialty 144 – Thermal Power Engineering, scientific advisor A. Mnykh. Zaporizhzhya National University. Engineering Institute. Faculty of Energy, Electronics and Information Technology, Department of Thermal Power Engineering and Hydro Power Engineering, 2020.

The thermal balance of a chamber furnace with a drawable hearth is calculated in the thesis. The upgrade involves the replacement of burners and thermal insulation material of the furnace chamber to increase its energy efficiency. The possibility of redistribution of heat in the furnace chamber by changing the location of the burners was investigated.

Keywords: CHAMBER FURNACE, HEAT BALANCE, LINER, GAS SAVING, THERMAL INSULATION MATERIAL, BURNER.

АННОТАЦИЯ

Никитенко А.А. Повышение энергетической эффективности камерных печей с выкатным подом.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 144 – Теплоэнергетика, научный руководитель А.С. Мных. Запорожский национальный университет. Факультет энергетики, электроники и информационных технологий, кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2020.

В работе рассчитан тепловой баланс камерной печи с выкатным подом. Модернизация предусматривает замену горелок и теплоизоляционного материала камеры печи для повышения ее энергетической эффективности. Исследована возможность перераспределения теплоты в камере печи за счет изменения расположения горелок.

Ключевые слова: КАМЕРНАЯ ПЕЧЬ, ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС, ФУТЕРОВКА, ЭКОНОМИЯ ГАЗА, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, ГОРЕЛКА .

ВСТУП

Актуальність роботи. В металургії і машинобудуванні організація виробництва з повним циклом виконання технологічних операцій базується на використанні камерних печей різних конструкцій. Маючи такі значні переваги як широкий спектр регулювання режиму роботи, простота та універсальність конструкції, що дозволяє нагрівати заготовки та деталі різних розмірів, маси і конфігурації, дані установки мають низку суттєвих недоліків. Серед останніх – недосконалість конструкції, значні втрати теплоти з димовими газами, тощо. Це призводить до нераціонального розподілу температури у камері печі і, як наслідок, перевитрати енергоресурсів та зменшення енергетичної ефективності у цілому. Оскільки в установках названого класу у якості палива використовують природний газ, вартість якого на думку більшості українських і закордонних експертів, в найближчій перспективі буде тільки зростати, першочергового значення набувають інноваційні рішення щодо їх енергоефективності.

Об'єкт дослідження – камерна піч з викатним подом.

Предмет дослідження – ефективність роботи камерної печі з викатним подом.

Мета роботи – аналіз роботи камерної печі з викатним подом та підвищення її енергетичної ефективності.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- аналіз літературних джерел за тематикою досліджень;
- розрахунок теплового балансу камерної печі;
- зниження непродуктивних втрат тепла;
- аналіз можливості перерозподілу теплоти у камері печі.

Методи та засоби дослідження. Розрахунково-теоретичний метод, що базується на використанні класичних законів тепломасообміну, сучасні методи математичної обробки результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів. Модернізація печі за рахунок заміни пальників та теплоізоляційного матеріалу камери печі для підвищення її енергетичної ефективності. Досліджено можливість перерозподілу теплоти у камері печі за рахунок зміни розташування пальників.

Практична цінність роботи. Запропоновані заходи щодо модернізації камерної печі сприятимуть зниженню споживання природного газу та заощадженню коштів підприємства.

Апробація роботи. Положення роботи викладені на XXIV науково-практичній конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. Енергетика, електроніка та інформаційні технології (м. Запоріжжя, 2019).

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань з 33 позицій. Загальний обсяг складає 95 сторінок, у тому числі 16 таблиць та 20 рисунків.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Загальні відомості про ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат»	8
1.2 Структура енергогосподарства та технологія виробництва.....	10
1.3 Ливарне виробництво	22
1.4 Технічна модернізація виробництва	25
2 ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КАМЕРНИХ ПЕЧЕЙ	
3 ВИКАТНИМ ПОДОМ.....	30
2.1 Загальні відомості про камерні печі	30
2.2 Розрахунок теплового балансу камерної печі з викатним подом.....	44
2.2.1 Прибуткова частина балансу.....	
2.2.2 Витратна частина балансу.....	
2.3 Заходи щодо модернізації печі з викатним подом	45
2.3.1 Заміна теплоізоляційних матеріалів	45
2.3.2 Заміна пальників у печі	54
2.3.3 Зміна розташування пальників у печі.....	64
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	75
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	75
3.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	77
3.3 Виробнича санітарія	82
3.4 Заходи пожежної безпеки	84
3.5 Електробезпека	85
3.6 Заходи індивідуального захисту	86

ВИСНОВОК.....	91
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	92

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат»

«Дніпровський магнієвий завод» (нині ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат») заснований у 1935 році й був першим промисловим виробником магнію в СРСР. В 1954 році приймається рішення будівництва в місті Запоріжжя заводу з виробництва титанової губки. В 1956 році завод вступає в дію і країна отримує перший вітчизняний промисловий титан. В 1960 році введено у дію цех електролізу і отримана перша партія запорізького післявоєнного магнію. Виробництво германієвої продукції освоєно в 1958 році, а в 1964 році – виробництво напівпровідникового кремнію. В 1968 році розпочато виробництво трихлорсилану. В 2008 році на комбінаті успішно проведені гарячі випробування електронно-променевої установки і отримано перший титановий злиток [1].

На сьогодні ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» (див. рис. 1.1) є єдиним виробником титанової губки в Європі, а нова продукція – результат глибокої переробки титану, яка відкриває для підприємства нові ринки збуту в Європі та Азії. Титанові злитки, а також сляби (злитки прямокутного перерізу) широко застосовуються як конструкційний матеріал в атомній енергетиці, хімічному машинобудуванні, суднобудуванні та в багатьох інших промислових галузях. Запустивши промислове виробництво нової продукції, титановий бізнес вийшов на новий перспективний ринок. Щорічне споживання титанових злитків і слябів у світі складає близько 200 тисяч тонн продукції [2].

Якість продукції ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» гарантується сертифікованою системою управління якістю відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 9001.



Рисунок 1.1 – ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат»

ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» потужний і високотехнологічний комбінат, який має стратегічне значення для економіки і безпеки держави. Комбінат підвищує ефективність виробництва, проводить модернізацію і технічне переозброєння, удосконалює технологію виробництва, ефективно працює над підвищенням якості продукції [1].

Основна продукція комбінату:

- титан губчастий;
- тетрахлорид титану очищений;
- виливки титанові фасонні;
- титанові злитки;
- феротитан;
- шлак титановий;
- гідрид титану губчастого;
- діоксид германію;

- германій полікристаличний зоноочищений;
- литі кремнієві вироби;
- вироби з германію для оптичних деталей [2].

На підприємстві реалізуються складні інноваційні проекти завдяки згуртованому трудовому колективу висококласних фахівців своєї справи, які прагнуть реалізувати самі амбітні цілі [1].

1.2 Структура енергогосподарства та технологія виробництва

Енергетичне господарство промислового підприємства є його складовою частиною, а також входить до складу енергогосподарства відповідного регіону, територіально й енергетично пов'язаного з електроенергетичною системою. До складу енергогосподарства промислового підприємства входять численні й різноманітні енергоспоживаючі агрегати, цехові і заводські мережі, розподільні пристрої, перетворювальні й генеруючі енергоустановки.

У технологічному відношенні енергогосподарство підприємства підрозділяється на:

- виробничу частину, до якої належать генеруючі, перетворювальні, утилізаційні й акумулюючі енергоустановки (заводські електростанції, котельні, компресорні, насосні установки, установки з виробництва холоду тощо);
- передавальну і розподільну частини, до яких відносять цехові та загальнозаводські мережі, розподільні пристрої;
- споживаючу частину, до якої належать різноманітні енергоспоживаючі агрегати [3].

Виробничий процес в енергогосподарстві підприємства складається з етапів виробництва, передачі, розподілу і споживання. Споживаючі, перетворюючі і генеруючі установки, пов'язані з мережами енергопостачальних систем району місця розташування підприємства, а також між собою – мережами і розподільними пристроями, що утворюють

систему енергопостачання підприємства [4]. З цієї причини процеси, що проходять в окремих елементах такої системи, необхідно розглядати як ланки єдиного і безперервного технологічного процесу енергопостачання та енергоспоживання [3].

Основними задачами енергогосподарства підприємства є:

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

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

У виробничому відношенні енергогосподарство підприємства можна підрозділити в такий спосіб:

- загальнозаводське енергогосподарство – перетворюючі установки, загальнозаводські енергомережі, енергоприймачі і розподільні мережі будинків і приміщень загальнозаводського призначення (склади, управління підприємства, їдальні тощо);
- цехове господарство – енергоприймачі виробничих цехів, цехові перетворюючі установки, внутрішньо цехові розподільні мережі, опалювально-вентиляційні пристрої [4].

Експлуатація загальнозаводського енергогосподарства здійснюється спеціально організованими для цього енергоцехами, які за характером роботи поділяють на три основні групи:

- експлуатаційні цехи – експлуатаційне обслуговування енергоспоживаючого устаткування, мереж, генеруючих установок;
- ремонтні цехи – ремонт і монтаж спеціалізованого енергоустаткування;
- змішані цехи – експлуатаційне обслуговування, ремонт і монтаж енергоустаткування.

Виробнича структура енергогосподарства підприємства визначає його організаційну структуру управління (див. рис. 1.2).

На підприємствах, енергопостачання яких здійснюється за централізованою схемою), енергогосподарство підприємства містить у собі тільки енергоприймачі, розподільні мережі і перетворюючі установки і може бути об'єднане в два цехи: електричний (експлуатація і ремонт електроустаткування й електричних мереж) і теплосиловий (експлуатація і ремонт теплосилового устаткування, компресорних і насосних установок, каналізації, а також парових, теплових, водяних і повітряних мереж) [4].

Головний енергетик здійснює безпосереднє адміністративно-технічне керівництво відділом головного енергетика і енергоцехами, технічне і методичне керівництво службами цехових енергетиків, нагляд за експлуатацією енергоустаткування, енергоустановок і використанням енергоресурсів на підприємстві. Заступники головного енергетика здійснюють безпосереднє технічне й оперативне керівництво відповідними енергоцехами і персоналом енергослужб виробничих цехів.

Відділ головного енергетика вирішує такі задачі:

- виробництво усіх видів енергії на території заводу;
- придбання, перестановка і заміна енергоустаткування;
- складання графіків ремонтів технологічного устаткування;
- розробка проектів будівництва нових об'єктів і реконструкції існуючих цехів [4].

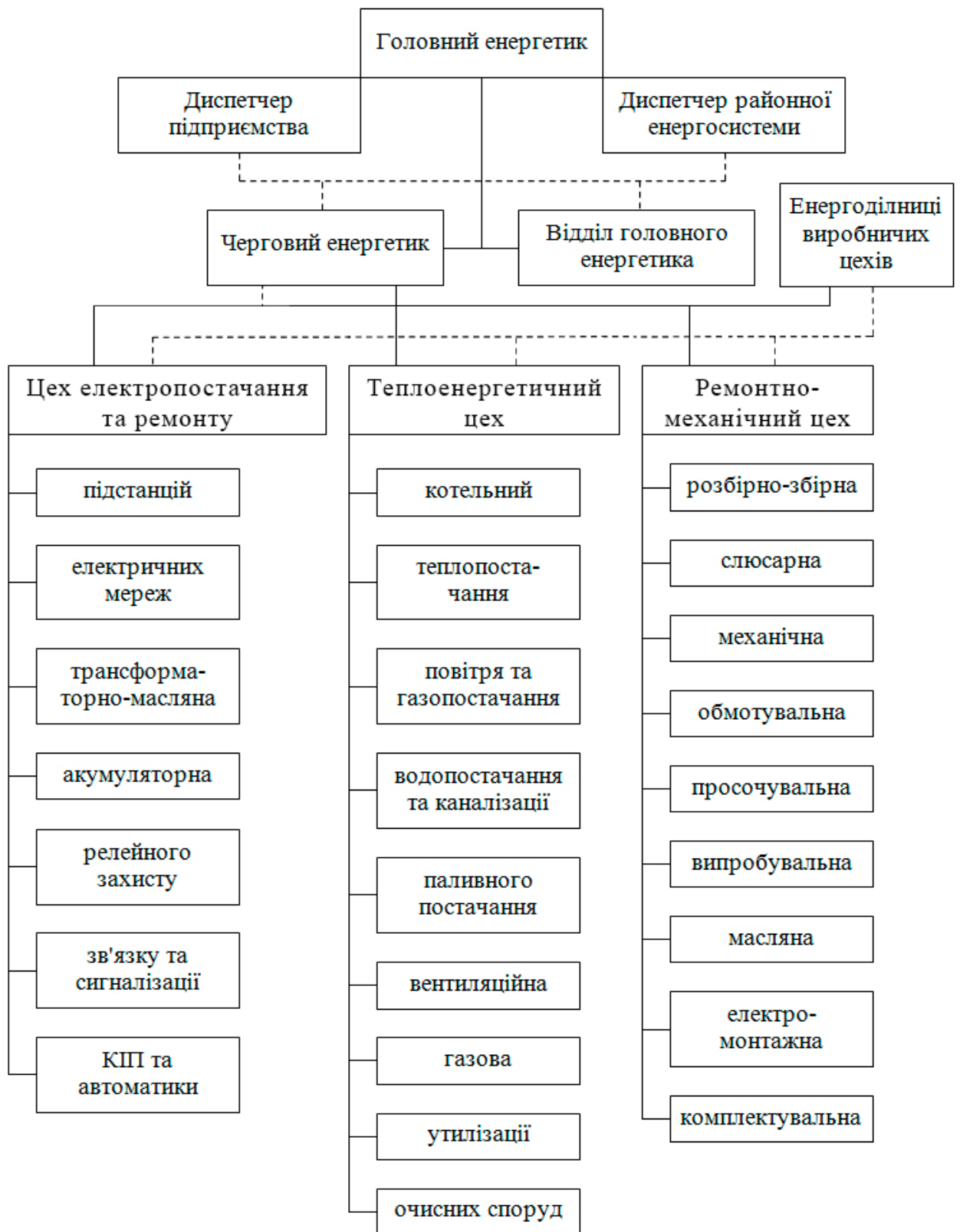


Рисунок 1.2 – Організаційна структура управління енергогосподарством

Організаційна структура управління – це впорядкована сукупність взаємопов'язаних елементів, що знаходяться між собою у стійких взаємостосунках, які забезпечують їх функціонування і розвиток як єдиного цілого. Елементами структури можуть бути як окремі працівники, служби так і окремі ланки апарату управління, а взаємозв'язки між ними підтримуються через горизонтальні і вертикальні зв'язки, які носять лінійний і функціональний характер [5].

В межах структури управління проходить управлінський процес (рух інформації і прийняття управлінських рішень), між учасниками якого розподілені завдання і функції управління, і відповідно – права і відповідальність за їх виконання.

Головним завданням управління є забезпечення зростання ефективності виробництва на основі постійного вдосконалення технічного рівня, форм і методів управління, підвищення продуктивності праці як найважливіших умов отримання і нарощування доходів підприємства.

До факторів, які впливають на виробничу структуру підприємства, відносять характер продукції та технології її виготовлення, масштаб виробництва, ступінь спеціалізації, кооперування з іншими підприємствами, а також ступінь спеціалізації виробництва всередині підприємства.

Сукупність виробничих підрозділів (цехів, дільниць, обслуговуючих господарств, служб) прямо чи побічно беруть участь у виробничому процесі, їх кількість і склад визначають виробничу структуру підприємства [5].

Перелік цехів ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» за датою утворення представлений у таблиці 1.1.

На ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» використовують комбінатську виробничу структуру з багатостадійними процесами виробництва і комплексною переробкою сировини. Його основу складають підрозділи, що виготовляють технологічно завершену частину готового виробу. Виробничі підрозділи організуються на основі міцних технологічних зв'язків, що представляють собою безперервні технологічні потоки. Всі

структурні підрозділи розташовані на одному майданчику і являють собою єдиний виробничо-технологічний і територіальний комплекс спеціалізованих виробництв, строго пропорційних між собою за потужністю.

Таблиця 1.1 – Перелік цехів ТОВ «ЗТМК» за датою утворення

№ цеху	Найменування цеху	Місяць	Рік
1	2	3	4
15	Транспортний	–	1955
10	Ремонтно-механічний	Квітень	
11	Електропостачання та ремонту		
12	Теплоенергетичний	Грудень	
2 (1)	Виробництво титанового шлаку і тетраклориду титану ДПСШ	Квітень (Березень)	1956
3	Виробництво титанової губки	Червень	
17	Центральна лабораторія	Вересень	1956
7	Виробництво магнію і титану губчатого	Лютий	1960
14	З ремонту та обслуговування контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматики	Червень	1962
20	Контролю газової безпеки і нейтралізації промислових стоків	Грудень	1964
9	З переробки титану і германію	Вересень	1965
23 (16)	Ремонтно-будівельний	– (Червень)	1967 (1956)
19	Побутового обслуговування	–	1967

В основі технології виробництва титану лежить процес Кролла – отримання титану магнієтермічним відновленням тетраклориду титану з наступною вакуумною дистиляцією [6].

Технологічна схема виробництва титану включає наступні основні розділи:

- отримання титанового шлаку методом плавки ільменітового концентрату в руднотермічній печі (РТП);
- отримання титановмісної шихти;
- отримання технічного тетраклориду титану (ТТТ);

- ректифікаційне очищення технічного тетраклориду титану;
- отримання магнію-відновника електролізом хлористого магнію;
- відновлення титану (реакційна маса) з тетраклориду титану магнієм;
- вакуумна сепарація реакційної маси;
- переробка блоків титану губчастого;
- виплавка титанових злитків і слябів.

Виробництво титанового шлаку (див. рис. 1.3) полягає в відновній руднотермічній електричній плавці ільменітового концентрату з вуглецевим відновником – вугіллям, коксом або антрацитом [6].



Рисунок 1.3 – Виробництво титанового шлаку

Процес плавки ільменітового концентрату і вуглецевого відновника, попередньо подрібненого до розміру шматків не більше 10 мм, проводять в РТП при температурі (1650...1800) °С. Отриманий шлак зливають і після

охолодження направляють на підготовку шихти, що містить титан. Утворений в результаті плавки попутний метал (чавун з підвищеним вмістом титану) вивозиться на склад для реалізації споживачам. Відведені гази з РТП направляються на газоочищення.

Титановмісну шихту отримують змішуванням меленого титанового шлаку, вуглецевого відновника і хлористого натрію. Перед змішуванням титановий шлак і вуглецевий відновник дроблять і подрібнюють. Підготовлена шихта прямує на ділянку хлорування для виробництва тетрахлориду титану [6]. Технологічна блок-схема виробництва тетрахлориду титану технічного представлена на рисунку 1.4.

Для виробництва ТТТ застосовується хлоруюча установка з поверненням пульпи в хлоратор. Порядок розташування апаратів хлоруючої установки представлений на рисунку 1.5.

Тетрахлорид титану технічний утворюється при хлоруванні шихти в розплаві солей при температурі розплаву від 700 °С до 800 °С в сольовому хлораторі і конденсації, що виходить з хлоратора у вигляді парогазової суміші (ПГС) в системі апаратів конденсації. При пуску нового хлоратора розплав розігрівається від пічного трансформатора через водоохолоджувані електроди, надалі температура розплаву підтримується за рахунок тепла екзотермічних реакцій і повернення пульпи в хлоратор.

Сольовий хлоратор – апарат безперервної дії. На поверхню сольового розплаву шнеком з витратного бункера безперервно завантажується шихта. Через бічні фурми хлоратора, розташовані в нижній його частині, в розплав подається хлор-газ. З хлоратора виводяться два продукти – парогазова суміш продуктів хлорування і відпрацьований розплав [6].

Відпрацьований розплав виводиться з хлоратора періодично і частково, після охолодження вивозиться на відвальне господарство. Парогазова суміш виводиться з хлоратора безперервно і надходить в систему апаратів очищення парогазової суміші і конденсації технічного тетрахлориду титану.

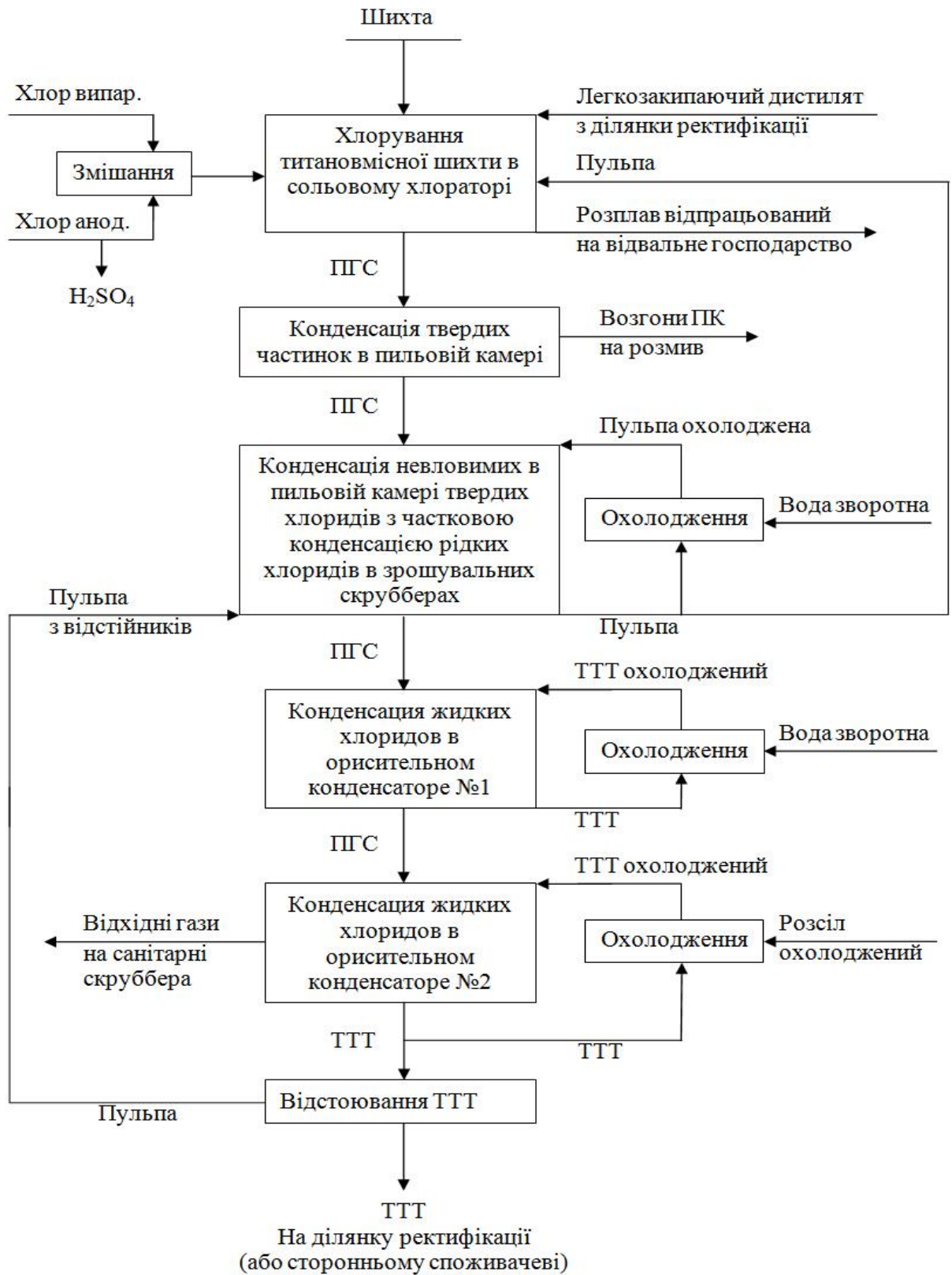
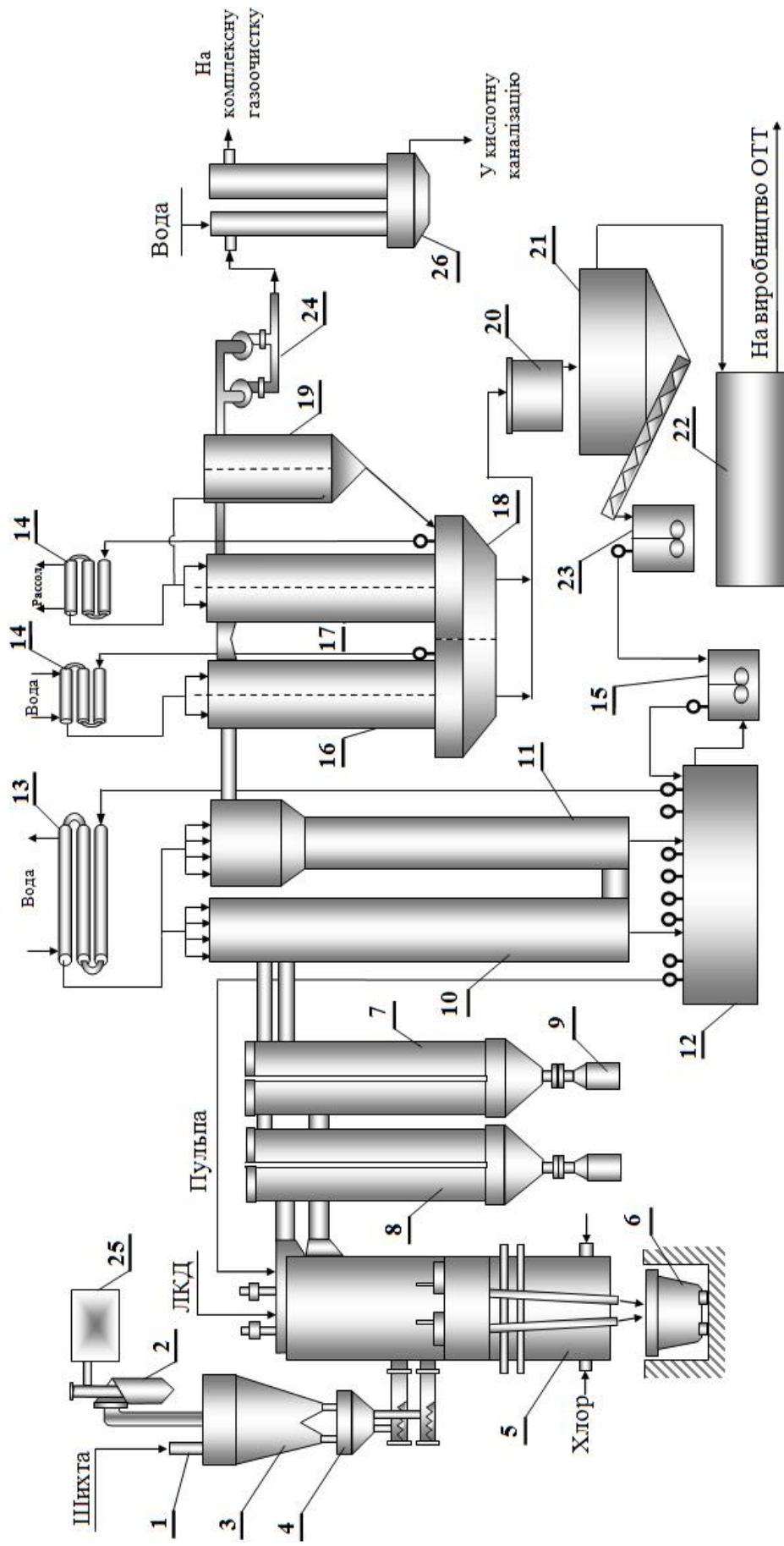


Рисунок 1.4 – Блок-схема виробництва тетрахлориду титану технічного



1 – осаджувач; 2 – видатковий бункер; 3 – циклон; 4 – витратний бункер; 5 – сольовий хлоратор; 6 – короб; 7, 8 – пилові камери; 9 – кюбель роз'ємний; 10, 11 – зрошувальні скрубера (ЗС); 12 – танк ТТТ (під ЗС); 13, 14 – холодильники роз'ємні; 15 – бак для аварійного зливу пульпи; 16, 17 – зрошувальні конденсатори (ЗК); 18 – танк ТТТ (під ЗК); 19 – ловушка; 20 – бак для збору ТТТ; 21 – відстійник; 22 – танк; 23 – бак для збору пульпи; 24 – хвостовий вентилятор; 25 – фільтр; 26 – санітарний скруббер.

Рисунок 1.5 – Порядок розташування устаткування для виробництва ТТТ

Апарати очищення парогазової суміші: камера пилова, зрошувальний скруббер. Апарати конденсації ТТТ: два послідовно встановлених зрошувальних конденсатора, де в процесі охолодження відбувається конденсація ТТТ. Технічний тетрахлорид титану, що утворився, після відстоювання направляється на ділянку ректифікації для очищення [6].

ТТТ підлягає очищенню від ванадію, а також від низько і високо киплячих домішок. Очищення від ванадію проводиться нижчими хлоридами титану в кубі колони першої дистиляції. Процес ректифікації включає в себе очищення тетрахлориду титану від низько киплячих домішок – перша ректифікація, і від високо киплячих домішок – друга ректифікація. Процес ведеться в колонах ректифікації при температурі (120...142) °С. В процесі ректифікації очищення тетрахлориду титану в кубах-випарниках збираються кубові залишки, які періодично виводяться з кубів, випаровуються в електричній печі випарювання пульпи і обробляються негашеним вапном. В результаті утворюється нерозчинний залишок, що містить ванадій, який реалізуються споживачам. Відведені газу ректифікаційної очищення направляються на газоочищення [6].

Магній одержують методом електролітичного розкладання розплаву хлористого (дихлорида) магнію в електролізерах без діафрагми. В електролізерах робочим розплавом є хлористий магній, концентрат плавикового шпату і кухонна сіль. В результаті процесу електролізу утворюється металевий магній, який після додаткового очищення направляється на відновлення титану, хлор-газ – направляється в сольовий хлоратор, а відходи: шлам і шламоелектролітна суміш – вивозяться на відвальне господарство або реалізуються споживачам. Відведені газу з електролізерів без діафрагми направляються на газоочищення.

Відновлення титану з тетрахлориду титану магнієм проводиться в апаратах відновлення. У підготовлений апарат відновлення заливається рідкий магній. Апарат з магнієм встановлюється в піч відновлення, в апарат подається тетрахлорид титану. В процесі взаємодії тетрахлориду титану з

магнієм утворюється дихлорид магнію, який періодично зливається в ківш і направляється на електроліз для отримання магнію і реакційної маси, що складається з титану губчастого, залишкового магнію і дихлорида магнію. Після закінчення процесу відновлення апарат з реакційної маси відправляється на переділ сепарації [6].

Процес вакуумної сепарації реакційної маси здійснюється наступним чином. Апарат сепарації з реакційної маси встановлюють в піч сепарації і включаються нагрівачі печі. У період розігріву апарату сепарації проводиться витримка при температурі 850 °С. У міру розігріву апарату з реакційної маси в середовищі вакууму починається сублімація парів магнію і дихлорида магнію. Високотемпературна витримка при температурах (980...1020) °С починається після завершення періоду розігріву апарату. Пари магнію і дихлорида магнію конденсуються в пари магнію в зворотній реторті і використовується, в подальшому, в процесі відновлення. Час процесу визначається сортом реакційної маси і залишковим тиском в апараті. Після закінчення процесу сепарації відключаються нагрівачі печі, в апарат подається аргон. Апарат охолоджується спочатку в печі, а потім в холодильнику. Після охолодження апарат сепарації демонтують, а реторту з блоком титану губчастого направляють на переробку [6].

Переробка блоків титану губчастого

Переробка блоків титану губчастого (ТГ) полягає у виконанні наступних основних операцій:

- підрізування гарнісажу і вибивка блоку ТГ з реторти;
- поділ блоку ТГ на складові частини – крицю і гарнісаж;
- очищення реторти від залишків ТГ (очищення з реторти);
- очищення криці від поверхневих забруднень з виділенням низькоякісних складових частин: низовий обруб, бічний обруб;
- визначення категорії якості криці і гарнісажу, поділ за категоріями для їх подальшої роздільної переробки;
- дроблення криці і гарнісажу ТГ на пресі і дробарках;

- розсівання дробленого ТГ з виділенням товарних фракцій;
- сортування товарних фракцій ТГ з видаленням шматків з дефектами;
- відбір проб, упаковка в підготовлену тару (контейнери, бочки), зважування, маркування, пломбування [6].

Упакований титан губчастий комплектується в товарні партії відповідно до контрактів і відправляється споживачеві.

Частина виробленого титану губчастого використовується в якості сировини для виробництва злитків і слябів з технічно чистого титану і титанових сплавів. Титан губчастий попередньо брикетується, після чого брикети направляються на плавильну ділянку, де вони переплавляються в злитки або сляби на установці електронно-променевого переплаву. Надалі злитки і сляби направляються на механічну обробку (розпилювання, обточування, зняття фасок), піддаються контролю якості за хімічним складом, внутрішнім і зовнішнім дефектів. Готові злитки і сляби маркуються, упаковуються і відправляються споживачеві [6].

1.3 Ливарне виробництво

Завданням ливарного виробництва є виготовлення з металу виливків, які мають різноманітні обриси і призначені для використання в різних сферах. Для виробництва цих виробів використовуються різні типи ресурсів.

Основні енергоносії, які використовуються у ливарному цеху:

- електрична енергія;
- стисле повітря;
- природний газ;
- питна та технічна вода.

Структура собівартості готового виливка представлена на рисунку 1.6.

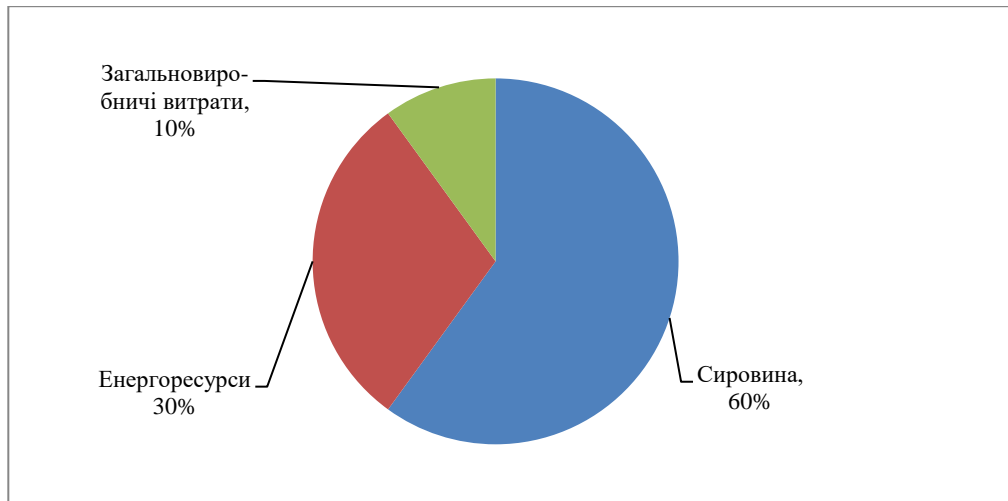


Рисунок 1.6 – Структура собівартості 1 тони виробів

Структура енергоносіїв для виготовлення 1 тони виливок представлена на рисунку 1.7.

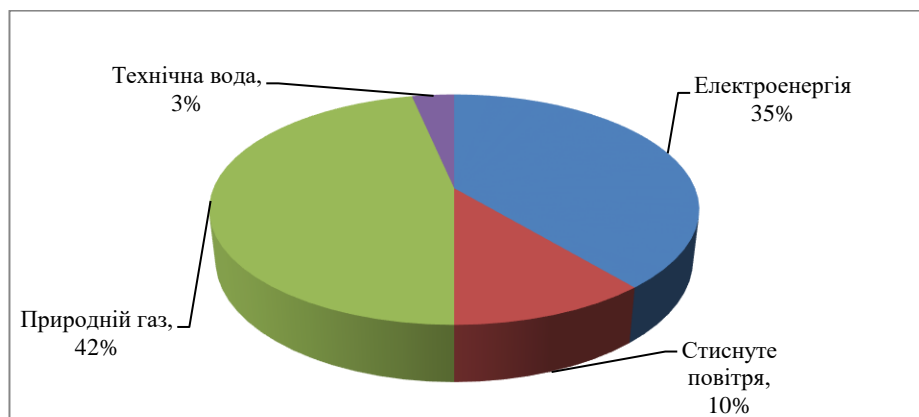


Рисунок 1.7 – Структура енергоносіїв для виготовлення 1 тони виливок

Сутність ливарного виробництва зводиться до отримання рідкого, тобто нагрітого вище температури плавлення, сплаву потрібного складу і необхідної якості та заливання його в заздалегідь приготовану форму. При охолодженні твердіє і зберігає конфігурацію тієї порожнини, в яку він був залитий. У процесі кристалізації й охолодження сплаву формуються основні механічні і експлуатаційні властивості виливки, що визначаються макро- та мікро- структурою сплаву, його щільністю, наявністю і розташуванням у

ньому не металевих включень, утворених у виливку внутрішніх напружень, викликаних неодноточасним охолодженням її частин та ін.

У ливарному цеху на підприємстві ЗТМК існують такі ділянки:

- шихтова;
- сумішепідготовча;
- формовочна;
- сталеплавильна;
- обрубна.

На шихтовій ділянці знаходяться кран-бункера, працює мостовий кран, на якому знаходиться магнітна шайба, за допомогою якої підіймається металобрухт. Також на цій ділянці у великі ємності засипають пісок та інші допоміжні зв'язуючі матеріали. Правильний вибір формувальних сумішей у ливарному виробництві має дуже велике значення, тому що формувальні суміші впливають на якість одержуваних виливків.

На сумішепідготовчій ділянці пісок та інші допоміжні зв'язуючі матеріали потрапляють на транспортерну стрічку що висипає їх у бігуни, які ретельно все перемішують.

На формовочній ділянці суміш потрапляє у бункер, після чого відправляється на плац, на якому виготовляється форма під заливку.

Ливарна піщана форма в більшості випадків складається з двох напівформ: верхньої і нижньої, які отримують ущільненням формувальної суміші навколо відповідних частин (верхньої і нижньої) металевої моделі в спеціальних металевих рамках-опоках. За допомогою пневмотрамбувальників суміш формується в опоках. У верхній напівформі за допомогою відповідних моделей виконується воронка і система каналів, по яких з ковша надходить ливарний сплав в порожнину форми.

Після ущільнення суміші моделі, власне виливки, ливникової системи і закріплювачі витягують з напівформ. Потім в нижню напівформу встановлюють стрижень і накривають верхній напівформи. Необхідна точність з'єднання забезпечується штирями і втулками в опоках. Перед

заливанням сплаву щоб уникнути підняття верхньої напівформи рідким розплавом опоки скріплюють один з одним спеціальними дужками або на верхню опоку встановлюють вантаж.

На сталеплавильній ділянці встановлена дугова сталеплавильна піч 1,5, в яку за допомогою мостового крану потрапляє металобрухт. Далі розплавлений метал заливають у форми. Коли метал застигне потрапляє на вибивну решітку, на якій за допомогою вібрації вилівка позбавляється формовочної суміші.

На обрубну ділянку потрапляють вилівки, на яких залишилась формовочна суміш, яку видаляють за допомогою відбійних молотків.

Якщо для подальшого використання необхідно, щоб метал був ковким та пластичним він потрапляє до камерної печі з вкатним подом.

1.4 Технічна модернізація виробництва

У 2018 на ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» встановлена система криогенного обладнання. В рамках здійснення заходів протоколу наради з реалізації швидкоокупних проектів під головуванням директора технічного Ігоря Сизикова, а також програми енергоменеджменту на 2018-2019 рік вступив в завершальну стадію проект «Консервація ділянки виробництва азоту і кисню з переходом на покупні гази (рідкі): азот і кисень» [7].

Проект розділений на три етапи, перший з них успішно реалізували протягом минулого року з отриманням позитивного економічного ефекту. За цей час комбінат встиг перейти на використання привізного рідкого азоту з подальшою газифікацією і подачею в технологічну мережу підприємства. Зараз впроваджується другий етап проекту. У його ході фахівці ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» при співпраці з компанією ТОВ «Елме Мессер Україна» встановили систему криогенного обладнання для зберігання та газифікації кисню рідкого. Проводяться пусконаладжувальні роботи, завершуються роботи по ремонту мереж

розподілу кисню газоподібного. Після цього настане третій етап – обладнання азотної станції перевіряють на наявність дефектів з подальшим відновленням. Його планується використовувати з метою резервування потужностей для виробництва технічних газів [7].

В рамках виконання стратегічної програми розвитку і технічної модернізації виробництва ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» в 2018 році у цеху № 2 реалізовано проект модернізації сольової хлоруючої установки (див. рис. 1.8) зі збільшенням її продуктивності до 170 тонн на добу. Дана установка є одним з ключових видів обладнання в технологічному процесі комбінату, а тому їй приділяється підвищена увага [8].

Проект модернізації хлоратора був виконаний проектно-конструкторським відділом ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат». Рішення про проектування сольової хлоруючої установки власними силами було продиктовано наступними перевагами: наявністю штату компетентних співробітників проектно-конструкторського відділу, наявністю досвіду роботи в проектуванні виробничого обладнання подібної складності, наявністю архіву конструкторської документації, близькістю виробничої площадки, а найголовніше – можливістю значної економії інвестиційних коштів, виділених на проектування даного об'єкта з залученням сторонньої організації. Важливо, що в обсязі виконання проектних робіт з будівництва модернізованого хлоратора проектувальниками і технологами комбінату підготовлений не тільки проект обладнання, але і виконавча конструкторська документація [8].

Зважаючи на складність і необхідність застосування спеціалізованого верстатного парку, сторонніми організаціями були виготовлені і поставлені в ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» кожух хлоратора, пилові камери, пастки, зрошувальні скрубери, конденсатори, технологічні газоходи, а також насосне обладнання. На комбінат були закуплені хімічно стійкі матеріали для виконання футеровки сольової хлоруючої установки.

Металопрокат поставлявся на об'єкт будівництва в міру необхідності монтажу металоконструкцій.



Рисунок 1.8 – Сольова хлоруюча установка

Виробничим персоналом цеху, в якому функціонує дана установка, і власними монтажними службами підприємства був підготовлений майданчик майбутнього будівництва. Здійснено демонтаж не використовуваних комунікацій і металоконструкцій [8].

Виконання фундаментів, збірка металоконструкцій і всіх частин обладнання установки здійснювались власними силами будівельників і механіків комбінату. Зроблено монтаж і футерування кожуха хлоратора і пилових камер, скрубєрів і іншого ємнісного обладнання. Поставлені на комбінат глибинні насоси для перекачки тетрахлориду титану, встановлені в бакову апаратуру. Будівельники підприємства у встановлені терміни здійснили заливку фундаментів і монтаж напрямка для зливу відпрацьованого сольового розплаву хлоратора.

Виконано монтаж і огороження металоконструкцій обслуговуючих робочих площадок і обладнання з нанесенням на них спеціальних антикорозійних покриттів, підключення до об'єкта електроенергії і організація освітлювального обладнання установки

Наявність на ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» висококласних фахівців електриків, будівельників та механіків, що мають багатий досвід по монтажу об'єктів подібної складності, дозволили комбінату виконати роботи по будівництву сольової хлоруючої установки без залучення підрядників від сторонніх організацій. Це, в свою чергу, дозволило заощадити значний обсяг інвестиційних коштів, запланований на виконання будівельно-монтажних робіт [8].

Для підвищення ефективності та керованості технологічного процесу хлорування титановмісної сировини стратегічною програмою розвитку і технічної модернізації виробництва ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» передбачається розробка і впровадження в цей процес автоматизованої системи управління. Розроблено технічне завдання на розробку проекту автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) виробництва хлорування титановмісної сировини. В даний час підприємством опрацьовуються потенційні виконавці проекту та постачальники обладнання АСУ ТП, а також готуються документи для проведення тендерних процедур відповідно до законодавства України [8].

У той же час проектування диспетчерського пункту АСУ ТП виробництва тетрахлориду титану, звідки буде здійснюватися управління всіма режимами і параметрами даного технологічного процесу, планується виконувати власними силами проектувальників і конструкторів ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат». Будівництво диспетчерського пункту буде покладено на відповідні служби комбінату.

Економія інвестиційних коштів після завершення реалізації проекту складе 8,58 млн доларів США, або за діючим курсом 233,36 млн грн. Так як роботи здійснюються персоналом для розвитку власного підприємства, якість виконаних робіт знаходиться на найвищому рівні, що гарантує безперебійну роботу установки протягом всього терміну експлуатації [8].

Основними споживачами природного газу у ливарному виробництві є камерні нагрівальні печі, ефективність роботи яких є досить низькою, тому

розробка та провадження нових наукових та технічних заходів в цьому напрямку є першочерговим завданням.

2 ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КАМЕРНИХ ПЕЧЕЙ З ВИКАТНИМ ПОДОМ

2.1 Загальні відомості про камерні печі

Велика частина термічних і нагрівальних печей призначаються для нагріву металевих виробів перед безпосередньою куванням, прокаткою і штампуванням. Це дозволяє поліпшити структуру самого металу, а також надає готовій продукції міцність, зносостійкість, твердість і в'язкість.

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

- за джерелом отримання теплової енергії - полум'яні і електричні печі;
- по технологічному призначенню - термічні, сушильні, нагрівальні, плавильні, випалювальні, прокатні печі та ін .;
- по робочому режиму - періодичної і безперервної дії;
- за конструктивними особливостями робочого простору (камери) - методичні, тунельні, прохідні, камерні з висувним і обертовим подом;
- за методом використання теплової енергії продуктів згорання - регенеративні і рекуперативні.

Процес термічної обробки включає в себе:

- нагрівання до заданої температури, за допомогою спеціалізованих нагрівальних пристроїв;
- витримка при температурі протягом певного періоду часу;
- подальше швидкісне охолодження.

Найбільш поширені методи термічної обробки у промислових печей - закалювання, нормалізація, цементация, відпустк і отжиг.

Для термічної обробки матеріалів широко використовуються камерні печі. Камерні печі - це загальна назва певної групи промислових печей, які застосовуються для термічної обробки матеріалів (речовин) зі скла і металу, а також для випалу керамічної продукції.

За своєю конструкцією класифікуються на:

- вертикальну піч;
- нагрівальний колодязь;
- колпакова піч;
- камерні печі з викатним подом і нерухомим подом;
- ямну піч та інші.

Опалюються камерні печі газом або рідким паливом. Продуктивність таких печей досить висока, у зв'язку з чим, вони користуються популярністю у виробництві.

Одним з видів промислових печей, в роботі яких використовуються рухомі частини, є також роликові печі, що складаються з великої кількості обертаючих роликів.

Камерна піч - піч з близькими за значенням довжиною, шириною і висотою робочого простору і з однаковою у всіх його точках температурою, призначена для нагріву або термічної обробки матеріалів. Типовий представник камерної печі для нагріву - нагрівальний колодязь. Одна з основних відмінностей режимів нагріву і режимів термообробки в близьких по конструкції печах полягає в тому, що в термічних печах часто реалізується режим: при заданому законі зміни температури поверхні металу. Такий режим витримати на практиці набагато важче, тому він припускає постійне коригування температури пічної атмосфери в часі.

Перевага камерних печей - їх універсальність у створенні різноманітних температурно-часових умов. Недоліки:

- великі втрати теплоти на акумуляційну кладку при періодичних завантаженнях - вивантаженнях металу.

- печі не відповідають вимогам поточного виробництва.

Тому камерні печі застосовуються там, де не можна використовувати прохідні печі, наприклад, при складних режимах термообробки, типу отжигу.

Слід, відзначити особливості роботи пальників в камерних термічних печах. По-перше, в робочому просторі спостерігаються низькі

робочі температури, що знаходяться на рівні температури займання палива і нижче. Тому для забезпечення стабільної роботи пальників їх треба оснащувати запальниками (частіше електричними).

По-друге, в камерній термічній печі сильно змінюється (в 10-20 і більше разів) теплова потужність і, відповідно, витрата палива. У період нагріву потужність садки від факела. Тому пальники встановлюють або в подподових топках або в форкамерних топках.

Форкамерні топки - невеликі топки в бічних стінах для попереднього спалювання палива з коефіцієнтом витрати повітря 0,8. Від цих топок дим вводитьься в робочий простір за допомогою інжекційних пристроїв за рахунок високошвидкісних струменів повітря, що створює хорошу циркуляцію диму, що омиває садку.максимально, а в період витримки може впасти майже до нуля. Стандартні ж пальники нагрівальних печей допускають регулювання витрати газу в діапазоні 1: 4. Тому на камерних термічних печах повинні встановлюватися спеціальні пальники з широким діапазоном регулювання (1:10, 1:20 і вище).

По-третє, в камерних термічних печах, як правило, неприпустима робота пальників безпосередньо в робочому просторі, тому це викликає нерівномірність нагрівання [8].

Камерна піч, показана на рисунку 2.1, призначена для різних видів термічної обробки деталей та інструментів при одиничному і дрібносерійному виробництві. Для завантаження і вивантаження деталей в цих печах використовують підвісні кліщі на монорейці і завантажувальні машини. Повітря для горіння в цих печах підігрівається в рекуператорі. Якщо для печей використовують газ середнього тиску і спалювання газу проводиться в інжекційних пальниках, то повітря для горіння підігрівають і рекуператор не встановлюють. Продукти горіння відводяться під парасольку і потім у витяжну трубу. При роботі зі звичайною пічної атмосферою (окисної) печі мають максимальну температуру 1150 ° С. Іноді виготовляють

печі з контрольованою атмосферою (захисною). Гранична температура нагріву в таких печах досягає 950°C .

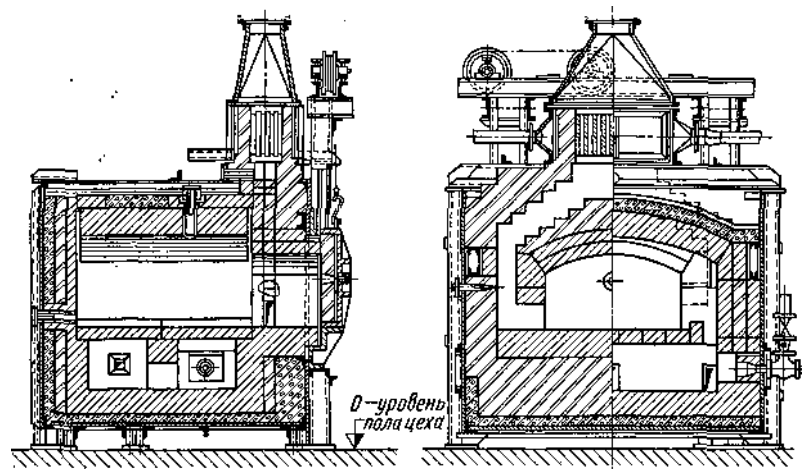


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд камерної печі

Габаритні розміри камерних печей, що працюють тільки на газоподібному паливі, менше мазутних, так як в них відсутній топковий простір або камера спалювання, зазвичай розташована під подом печі.

Для нагрівання великих кувальних штампів і для цементації застосовують камерну піч з кульовим подом 940×1510 мм, яка наведена на рисунку 2.2.

Піч забезпечена тунельними інжекційними пальниками. Наподпечі укладені чотири желобкові направляючі в яких знаходяться кулі з жароміцної сталі, службовці для полегшення пересування піддонів зі штампами або цементаційны ящики. Піддони встановлюють на кулі і заковчують в піч. Продуктивність такої печі при цементації 25 кг. Чи при нагріванні для загартування 150 кг/год.

Необхідність в камерних печах викликана, насамперед, широким їх застосуванням у різних областях промисловості. В камерних печах виробляють нагрів металевих форм і заготовок перед їх подальшою обробкою, мова йде про кування або прокатку, декоративних скляних і металевих виробів для художнього оформлення, і так само для випалу

глиняних, керамічних і остаточної термообробки емальованих предметів і виробів.

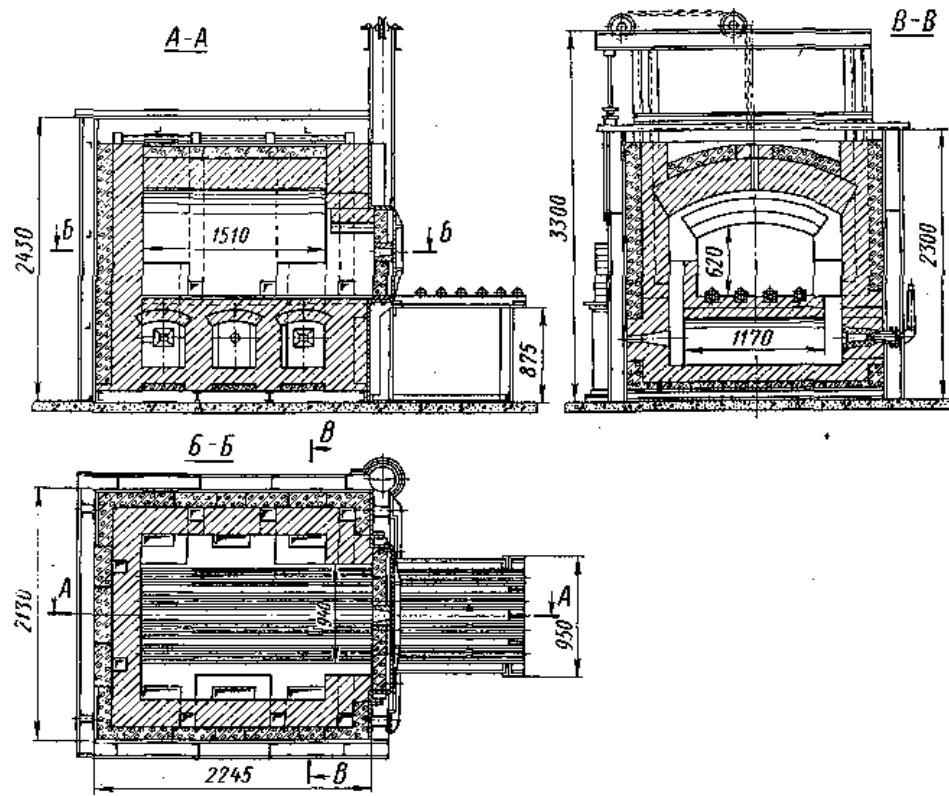


Рисунок 2.2 – Камерна разова піч з кульовим подом

Відмінності газових камерних печей залежать від оброблюваних ними виробів. При обробці металу застосовується більш важка і міцна конструкція, що перешкоджає деформації та механічних пошкоджень при частих завантаженнях і розвантаженнях важких оброблюваних виробів. Також конструкція печі дозволяє уникнути термічного удару, і так само швидко відновити температуру всередині неї, так як перезавантаження проводиться при працюючій камері.

Камерні печі для випалювання керамічних або скляних предметів обладнають більш легкими конструкціями. Для виробництва таких печей застосовуються легковагі матеріали, так як процес випалу проходить у більш м'якому термічному режимі, а садка перезавантажується при відносно низьких температурах.

Для ведення економічно вигідного виробництва, в залежності від потреб в промисловості застосовують печі різного об'єму робочої камери від $0,25 \text{ м}^3$ до $5,25 \text{ м}^3$. При підвищених обсягах виробництва застосовуються печі до 10 м^3 .

Камерні печі ще більших розмірів призначені для відпалу і нормалізації деталей. Такі печі часто конструюють з висувним подом. Виливки або поковки завантажують так, щоб більш важкі знаходилися внизу, а більш легкі, щоб уникнути жолоблення, зверху. Деталі укладають на под з урахуванням найбільш вигідної циркуляції пічних газів. Под печі являє собою футерований висувний візок на колесах з роликівими підшипниками, що пересувається по рейках за допомогою троса, пов'язаного з електродвигуном.

Характерна відмінність більшості таких печей від камерних печей розглянутих вище полягає в тому, що внаслідок своєї конструкції топка не може бути влаштована під подом, таким чином, під низом не обігривається.

Печі працюють на мазуті, газі і іноді з використанням електроенергії. Згоряння палива в цих печах відбувається в робочій камері. Для кращого нагріву деталей форсунки або пальника розташовують вище рівня поду, деталі нагріваються в результаті променеспускання стінок і склепіння, печі, а також конвекції гарячих газів. Нагрівання садки, розташованої безпосередньо на поду печі, відстає від нагрівання її верхніх рядів.

Піч з вкатним подом - піч, в якій завантаження і вивантаження металу виробляються цеховим краном на подину, викочує щодо стін і склепіння печі. Цю піч використовують в тих випадках, коли маса садки велика і має складну "архітектуру", наприклад, садка розташовується в кілька шарів.

Приклад печі з вкатним подом приведений на рисунку 2.3. Піч працює таким чином. У розігрітій порожній печі піднімається заслонка і подина, спираючись на катки, викочується на майданчик перед піччю. Часто замість ковзаник використовують колеса, що прикріплюються до рами подини і рухомі по спеціально покладеним рейках.

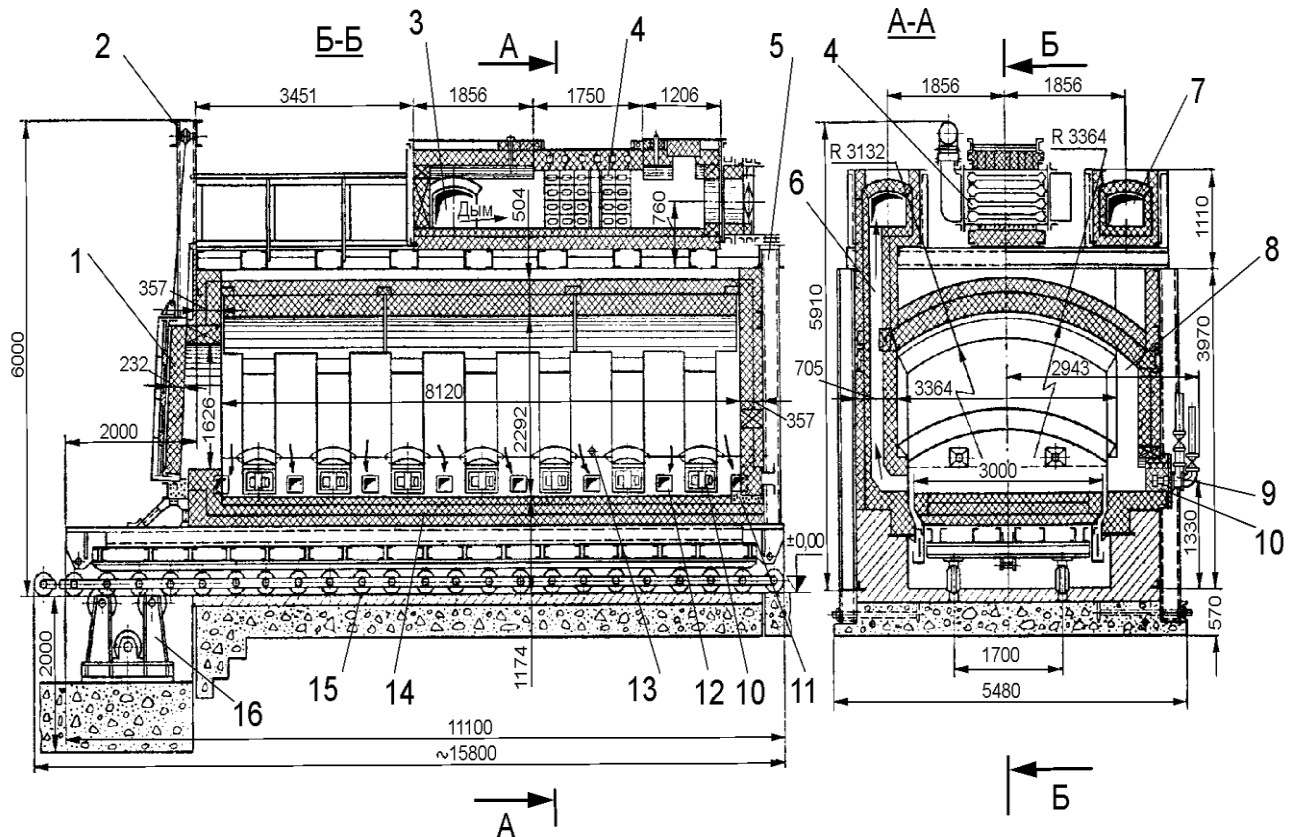
За допомогою підйомного крана на викачаний подину укладається садка металу в певному порядку. У цей час пальника не працюють, а стіни і звід інтенсивно віддають теплоту випромінюванням на те місце, де щойно стояла подина. Тому місце під подини має бути теплоізолювані. Після завантаження всієї садки подина вкочується назад, заслінка закривається і включаються пальника. Пальники розташовуються в нижній частині бічних стін). Часто пальника розташовуються в два ряди і спалювання палива практикується в форкамеру.

У даному прикладі пальникові камені підібрані таким чином, що вони створюють факел під деяким кутом до стіни для забезпечення інтенсивної циркуляції диму і максимальної рівномірності нагрівання садки. Продукти горіння видаляються з робочого простору через димові вікна в бокових стінках. У даному прикладі 16 каналів, по 8 у кожній стінці. Дим проходить по підйомним димових каналів і надходить у збірні канали, розташовувані уздовж стін печі над склепінням. Зі збірних каналів дим надходить у загальний канал, в якому знаходиться рекуператор для підігріву повітря. Охолоджений в рекуператорі дим направляється в димар і викидається без очищення в атмосферу.

Технологічний процес контролюється термopарами, що вставляються через спеціально передбачені отвори в стінах. Число оглядових і робочих вікон обмежена одним, закритим в нормальному стані заслінкою. Газощільність печі забезпечується системою пісочних затворів, які встановлені між подини і всіма стінами, а також між подиною і заслінкою.

Застосування камерних печей з викатним подом дозволяє зробити процес випалювання або інший вид термообробки більш ефективним. Основна перевага такого устаткування це комфортний процес завантаження або розвантаження печі, що істотно знижує фізичні зусилля обслуговуючого персоналу. Розвантаження самого пода поза печі дозволяє застосувати вантажопідйомне обладнання. Швидкість перезавантаження печі різко зростає, що веде за собою зниження енерговитрат. Крім цього з'являється

можливість використання декількох висувних подів. При обробці однієї партії виробів в печі, інша завантажується на додатковий викатний под. Всі переваги використання печі з викатним подом дозволяють отримати економічний ефект від економії палива до (20...25) %, а продуктивність підвищується в 1.8 – 2.4 рази.

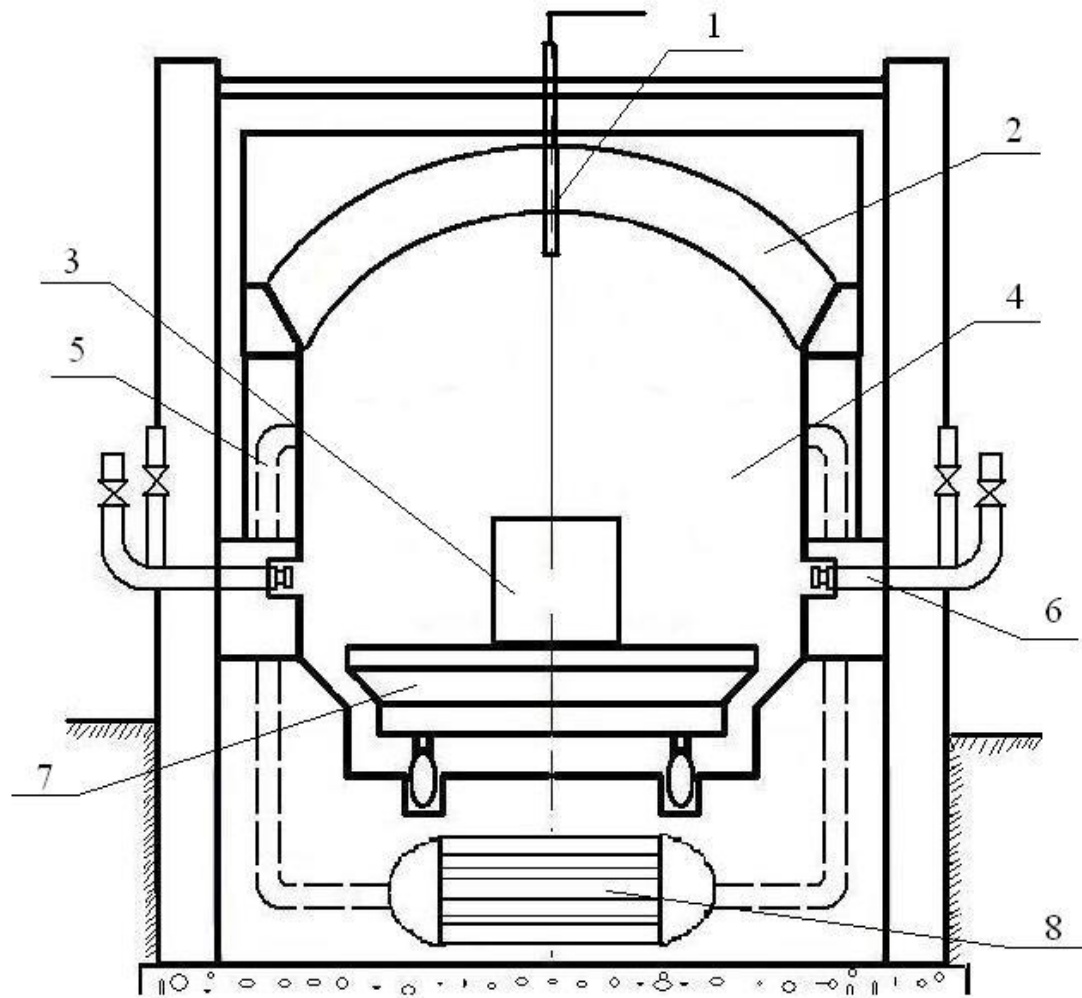


1 - заслінка; 2 - механізм підйому заслінки; 3 - димовий канал для з'єднання збірних каналів; 4 - рекуператор; 5 - металевий каркас; 6 - підйомний димовий канал; 7 - збірні канали, розташовувані уздовж стін над склепінням; 8 - робочий простір печі; 9 - пальника; 10 - пальниковий камінь; 11 - пісочний затвор; 12 - димові вікна; 13 - отвір для термопар; 14 - подина; 15 - ролики (катки, колеса); 16 - механізм переміщення подини.

Рисунок 2.3 – Камерна піч з викатним подом

2.2 Розрахунок теплового балансу камерної печі з викатним подом

На ТОВ «ЗТМК» для термообробки металу встановлена камерна піч з викатним подом, яка опалюється природним газом. На рисунку 2.4 зображено схему поперечного перерізу печі.



1 – термопара; 2 – склепіння; 3 – виріб; 4 – робочий простір; 5 – димовий канал; 6 – пальник; 7 – викатний под; 8 – рекуператор.

Рисунок 2.4 - Схема поперечного перерізу печі

Основні показники, виміряні в печі наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Основні показники, виміряні в печі

Назва параметра	Величина
1	2
Паливо (природний газ)	
Низька теплота згоряння природного газу, ккал/м ³	8091
Витрати природного газу (за зворотнім балансом), м ³ /год	81,62
Барометричний тиск, мм.рт.ст.	754,3
Тиск газу в колекторі, кгс/см ²	0,3+0,4
Тиск газу перед пальниками, кгс/см ²	0,2+0,4
Щільність газу, кг/м ³	0,691
Температура газу, °С	23
Повітря	
Температура повітря на спалювання, °С	40
Теоретично необхідна кількість повітря спалювання 1 м ³ газу, м ³ /м ³	9,64
Тепловий баланс	
Теплоємність повітря, ккал/(м ³ ·°С)	0,31
Продуктивність печі, кг/год	910
Угар металу, кг/кг	0,02
Теплоємність металу, ккал/(кг·°С)	0,16
Початкова температура металу, °С	25
Кінцева температура металу, °С	925
Об'єм кладки, м ³	11,67

Продовження таблиці 2.1

1	2
Середня щільність вогнетриву, кг/м ³	1900
Середня теплоємність кладки, ккал/кг·°С	0,223
Середня температура шару шамоту, °С	450
Площа бокових поверхонь, м ²	23,78
Площа передньої та задньої поверхні, м ²	22,34
Площа склепіння, м ²	15,79
Питомий тепловий потік бокових поверхонь, ккал/(м ² ·год)	651
Питомий тепловий потік передньої та задньої поверхні, ккал/(м ² ·год)	850
Питомий тепловий потік склепіння, ккал/м ² ·год	1390
Тепло, витрачене на нагрів транспортувальних пристроїв, Гкал/год	21344
Маса транспортувальних пристроїв, кг/год	186
Середня теплоємність транспортувальних пристроїв, ккал/кг·°С	0,17
Температура транспортувальних пристроїв початкова, °С	25
Температура транспортувальних пристроїв кінцева, °С	700
Втрати тепла з відхідними газами, ккал/год	267163
Об'єм відхідних газів, м ³ /м ³	24,25
Середня теплоємність минутих газів, ккал/(м ³ ·°С)	0,34
Температура відхідних газів, °С	397
Невраховані втрати тепла, ккал/год	73551
Коефіцієнт використання палива, %	60,94
Коефіцієнт корисної дії, %	18,50
Питома витрата палива, м ³ /кг	0,0897
Питома витрата умовного палива, кг.у.т./кг	0,1037

Продовження таблиці 2.1

Хімічний склад відхідних газів	
- вуглекислий газ, %	4,6
- кисень, %	12,8
- оксид азоту, ppm	43
-оксид вуглецю, ppm	31
Коефіцієнт витрати палива	2,41
Екологія	
Фактична концентрація шкідливих речовин :	
- оксид азоту, мг/м ³	88,15
- оксид вуглецю, мг/м ³	38,75
Масова концентрація шкідливих речовин, приведена до а = 1:	
- оксиди азоту, мг/м ³	220,7
- оксиди вуглецю, мг/м ³	96,9
Питомий викид речовин на одиницю виробленої продукції:	
- оксид азоту, г/кг	0,209
- оксид вуглецю, г/кг	0,092
Питомий викид шкідливих речовин на 1 тис. м ³ використаного газу:	
- оксид азоту, кг/тис. м ³	2,318
- оксид вуглецю, кг/тис. м ³	1,017
Секундний викид шкідливих речовин:	
- оксид азоту, г/с	0,0528
- оксид вуглецю, г/с	0,0232

Тепловий баланс розраховано на основі даних таблиці 2.1 [9, 16, 17].

2.2.1 Прибуткова частина балансу

Тепло, отримане від горіння палива, ккал/год

$$Q_{\Gamma} = Q_p^H \cdot V_{\Pi}, \quad (2.1)$$

де V_{Π} - витрата палива (природного газу), м³/год;

Q_p^H - нижча теплотворна здатність природного газу.

$$Q_T = 82 \cdot 8091 = 663462.$$

Тепло, яке вноситься повітрям, ккал/год

$$Q_{в.ф.} = V_T \cdot L_o \cdot c_B \cdot t_B, \quad (2.2)$$

де L_o - теоретично необхідна кількість повітря, для спалювання 1 м³ природного газу, м³/м³;

c_B - теплоємність повітря при t_B , ккал/(м³·°C);

t_B - температура повітря, °C.

Тепло екзотермічних реакцій, ккал/год

$$Q_{екз} = 1350 \cdot M_o, \quad (2.3)$$

де 1350 – питома теплота окислення, ккал/кг;

M_o - маса окалини, яка утворилася на металі, кг/год

$$M_o = G \cdot \delta, \quad (2.4)$$

де G – продуктивність печі, кг/год;

δ - угар при нагріванні, кг/кг.

$$M_o = 910 \cdot 0,02 = 18,2.$$

$$Q_{екз} = 1350 \cdot 18,2 = 24570.$$

2.2.2 Витратна частина балансу.

Тепло, витрачене на нагрівання металу ккал/год

$$Q_M = G \cdot c_M \cdot (t_M^K - t_M^П), \quad (2.5)$$

де c_M – теплоємність металу, ккал/(кг · °C);

$t_M^K, t_M^П$ - початкова та кінцева температура металу, ° С.

$$Q_M = 910 \cdot 0,16 \cdot (925 - 25) = 131040.$$

Тепло, що акумульоване кладкою, ккал/год

$$Q_{ак} = V_{кл} \cdot \rho_{кл} \cdot c_{кл} \cdot (t_{кл}^K - t_{кл}^П), \quad (2.6)$$

де $V_{кл}$ – об'єм кладки, м³;

$\rho_{кл}$ - усереднина щільність вогнетриву, кг/м³;

$c_{кл}$ - усереднина теплоємність кладки, ккал/(кг·°С);

$t_M^K, t_M^П$ - температура кладки у кінці та на початку нагріву ° С.

$$Q_{ак} = 11,67 \cdot 1900 \cdot 0,223 \cdot (57 - 25) = 158954$$

Втрати тепла зовнішніми поверхнями печі, ккал/год

$$Q_{пов} = q \cdot F_{пов.}, \quad (2.7)$$

де q - питомий тепловий потік, ккал/(м²·год);

$F_{пов.}$ - площа зовнішньої поверхні печі, м²;

$$F_{пов.} = 2F_{бок.пов.} + F_{пер.пов.} + F_{зад.пов.} + F_{ск.}$$

$F_{бок.пов.}$ – площа бокової поверхні печі;

$F_{пер.пов.}$ – площа передньої поверхні;

$F_{зад.пов.}$ – площа задньої поверхні ;

$F_{ск.}$ – площа склепіння печі.

$$Q_{пов} = 532 \cdot 106,03 = 56418.$$

Тепло, що витрачене на нагрівання транспортуючих засобів, ккал/год:

$$Q_{ак} = m_T \cdot c_T \cdot (t_K - t_П), \quad (2.8)$$

де m_T - маса транспортуючого засобу, кг/год;

c_T - теплоємність транспортуючих засобів, ккал/год $^{\circ}$ С;

t_K, t_{Π} - кінцева та початкова температура транспортуючих засобів, $^{\circ}$ С.

$$Q_{ак} = 186 \cdot 0,17 \cdot (700 - 25) = 21344.$$

Втрата тепла з газами, що відходять, ккал/год

$$Q_{від} = B_{\Pi} \cdot V_{від} \cdot c_{від} \cdot t_{від}, \quad (2.9)$$

де $V_{від}$ - об'єм відхідних газів, м 3 /м 3 ;

$c_{від}$ - середня теплоємність відхідних газів, ккал/м 3 · $^{\circ}$ С;

$t_{від}$ - температура відхідних газів $^{\circ}$ С.

$$Q_{мин} = 82 \cdot 24,25 \cdot 0,34 \cdot 397 = 267163.$$

Результати отриманих даних зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Тепловий баланс камерної печі

Статті приходу тепла	Величина	Статті витрати тепла	Величина
1	2	3	4
Тепло, отримане від горіння палива, ккал/год (%)	660387 (93,20)	Кількість тепла, витраченого на нагрів металу, ккал/год (%)	131040 (18,50)
Тепло, яке вноситься з повітрям, ккал/год (%)	23511 (3,30)	Тепло, акумульоване кладкою, ккал/год (%)	158954 (22,40)
		Втрати тепла зовнішньої поверхні печі, ккал/год(%)	56418 (8,00)
Тепло екзотермічних реакцій, ккал/год (%)	24570 (3,50)	Тепло, витрачене на нагрів транспортуючих пристроїв, ккал/год (%)	21344 (3,00)
		Втрати тепла з відхідними газами, ккал/год (%)	267163 (37,70)
		Невраховані втрати, ккал/ч (%)	73551 (10,40)
Всього, Гкал/год (%)	0,708 (100,0)	Всього, Гкал/год (%)	0,708 (100,00)

Аналіз зведеної таблиці теплового балансу дозволяє визначити основні втрати теплової енергії з робочої зони печі і запропонувати шляхи усунення цих недоліків.

Основними проблемами печі з викатним подом у ливарному цеху ТОВ «ЗТМК» є:

- значні втрати теплоти на акумуляцію кладкою при періодичних завантаження - вивантаження металу;
- низька тепла економічність з неповним спалюванням палива і малим коефіцієнтом корисної дії;
- відсутнє нагрівання повітря на спалювання, що значно підвищило б теплотехнічний коефіцієнт використання палива;
- значні втрати тепла зовнішніми поверхнями стінок печі;
- відсутність автоматизації процесу обробки виробів;
- несправність пальників у печі (не обертаються повітряні шайби на газоспалювальному обладнанні);
- забезпечення рівномірності нагріву заготовки, задоволення вимог щодо ступеня знеуглецювання, окаліноутворення і перегріву, зниження термічних напружень і т.д.;
- забезпечення заданого рівня продуктивності;
- ефективне, раціональне використання енергетичних ресурсів та поліпшення показників використання палива.

2.3 Заходи щодо модернізації печі з викатним подом

2.3.1 Заміна теплоізоляційних матеріалів

Футеровкою називають внутрішній шар теплового огороження печей. Вона в значній мірі визначає вартість, довговічність і енергоспоживання пічного агрегату. одна з головних вимог, що пред'являються до футеровці

печі, це стійкість до впливу змінних у часі високих температур, до агресивної дії пилу, шлаків, газів і продуктів згоряння, наявних в робочій камері печі.

Футерування виконують з вогнетривких матеріалів, які в свою чергу бувають формованими (мають певну форму: плити, цегла) та неформованими (відсутня форма-насіпний матеріал). В якості теплоізоляції в нагрівальних і термічних печах застосовують легковагі вогнетривкі вироби, волокнисті теплоізоляційні матеріали та зернисті засипки.

У камерній печі, яка встановлена на ТОВ «ЗТМК» використані такі вогнетривкі матеріали як динасова та шамотна цегла. Однак ці матеріали вже є неефективними, до того ж оскільки вони жодного разу не змінювались впродовж всього використання печі, тому більшість цегли має тріщини та інші недоліки.

У таблиці 2.3 представлена порівняльна характеристика футерувальних матеріалів.

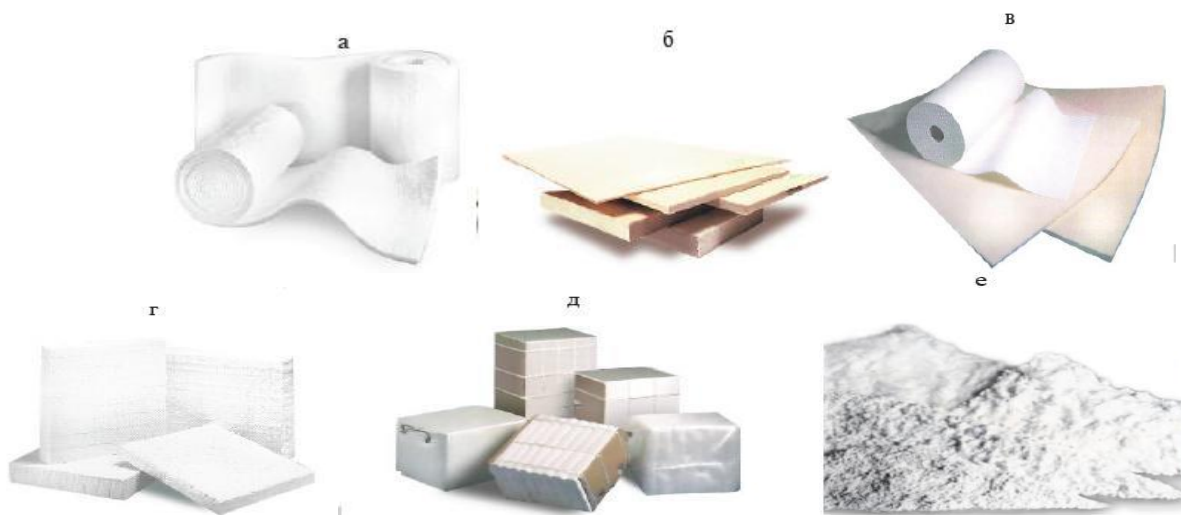
Таблиця 2.3 Порівняльна характеристика футерованих матеріалі [21]

Тип футерованого матеріалу	Щільність матеріалу, кг/м ³	Теплопровідність, при Ср.темп.=600°C, Вт/м °C	Товщина футеровки, мм
Шамотна цегла класу А (ША)	1900 ... 2100	1,13	804
Шамотна легковагі цегла (ШЛ-1,0)	1000	0,42	804
Волокниста футеровка	96 ... 128	0,147	275

З таблиці 2.3 можемо зробити висновок, що найбільш ефективною є волокниста футеровка, до того ж вона зменшить об'єм футерування у декілька разів.

Тому найбільшого поширення набули саме волокнисті матеріали. Волокнисті вироби поєднують в собі високі теплоізоляційні властивості і зручність застосування у вигляді гнучких матів, листів, войлоків, тканин.

Види волокнистих матеріалів представлені на рисунку 2.3. Вони мають більш високі механічні характеристики в порівнянні з порошковими і іншими пористими матеріалами однаковою об'ємної щільності.



а) ковдра; б) плити; в) фетр; г) пресовані модулі; д) призмоблоки; е) неформовані.

Рисунок 2.3 – Види сучасних волокнистих матеріалів

Волокнисті теплоізоляційні матеріали мають малу теплопровідність внаслідок їх високої пористості. Вони повинні володіти стабільними в умовах експлуатації фізико-механічними і теплотехнічними властивостями, не виділяти пилу і токсичних речовин у кількостях, що перевищують межу допустимої концентрації; мати щільність не більше 600 кг/м^2 .

Волокнисті матеріали знайшли застосування в якості теплоізоляції завдяки особливостям структури, яка складається зазвичай з круглих, тонких і звивистих волокон, зчеплених в окремих точках. Внаслідок значного теплового опору таких контактів частка теплового потоку, що передається кондукцією по волокнах, мала. Тому задовільними теплоізоляційними властивостями володіють і високопористі матеріали; складені з волокон з високою власною теплопровідністю: вуглецеві, карбідні, вольфрамові, молібденові і т.п.

Найбільш поширеними у сфері термічного обладнання стали теплоізоляційні матеріали на основі керамічного волокна, люмосилікатних

волокон і неорганічних сполучень у вигляді модифікованих гідрозолей. Всі вони в основі містять штапельне волокно (крім тканин), проте відрізняються методами подальшої обробки.

В ході реконструкції футеровка існуючої печі була замінена на сучасні системи теплоізоляції. Бічні стіни і склепіння печі були виконані волокнистим матеріалом у вигляді розкатаних керамічних рулонів (матеріал нового покоління, який поєднує в собі високотемпературні, вогнетривкі та ізоляційні властивості, низьку теплопровідність і малоінерційність).

При виборі ізоляційного матеріалу були враховані такі фактори як максимальна температура печі з висувним подом (1100 °С), стійкість то частого нагріву та охолодження, тиск який може витримати під час роботи, а також зручний монтаж. Характеристики обраних волокнистих матеріалів представлено в таблиці 2.4 [19, 20].

Таблиця 2.4 Характеристика обраних волокнистих матеріалів

Матеріал	Плита МКРГП О-650	Плита ШВП-350	Плита ШПГТ-450	Блок БВ-300	Блок ТБКВ
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м ² ·К)	0,28	0,29	0,25	0,24	0,22
Теплоємність, Дж/(кг·К)	1000	900	1000	900	900
Щільність, кг/м ³	650	350	450	240	180

Волокнисті керамічні вогнетривкі футеровки забезпечують гнучкий режим роботи - пуск і зупинку печі без шкоди для її стійкості, швидкий розігрів до робочої температури на максимальній потужності. Забезпечується прекрасна керованість температурою в печі при ручному і автоматичному управлінні. При застосуванні цієї футеровки значно зменшуються габарити печі.

Переваги керамічного вогнетривкого матеріалу:

- низька теплопровідність;
- стійкість проти теплових шоків;
- немає необхідності в сполучних матеріалах;
- легко і швидко ремонтується;
- відмінна термостійкість, зберігає свої властивості при багаторазовому нагріванні;
- швидкий монтаж здійснюється за допомогою блоків і кріплення з окалиностійкої сталі.

Особливо ефективним є застосування волокнистих матеріалів в термічних печах періодичної дії, а також в печах, що працюють з так званим «рваним циклом» експлуатації. На акумуляцію тепла кладкою може затратитися до (20...25) % тепла на відміну від печей зі стаціонарним режимом роботи.

Розрахуємо зменшення теплових втрат при застосуванні нових теплоізоляційних матеріалів.

При поперечному обтіканні циліндра газовим потоком Міхеєвим М.А. рекомендуються формули для визначення середнього коефіцієнта тепловіддачі [3, 13, 15]:

- для потоків з числом Рейнольдса Re_{Π} від 10 до 1000

$$Nu_{\Pi} = 0,5 \cdot Re_{\Pi}^{0,5} \cdot Pr_{\Pi}^{0,38} \cdot \left(\frac{Pr_{\Pi}}{Pr_{ст}}\right)^{0,25}; \quad (2.10)$$

- для потоків з числом Рейнольдса Re_{Π} від 1000 до $2 \cdot 10^5$

$$Nu_{\Pi} = 0,25 \cdot Re_{\Pi}^{0,5} \cdot Pr_{\Pi}^{0,38} \cdot \left(\frac{Pr_{\Pi}}{Pr_{ст}}\right)^{0,25}. \quad (2.11)$$

Тут величина з індексом «п» відноситься до температури потоку, а величина з індексом «ст» до температури стінки.

Вихідні дані для розрахунку: $\lambda_{стали} = 23 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $C = 614 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$; $t_{пов.в.} = 960 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\rho_{в} = 7920 \text{ кг/м}^3$; $t_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $C_{нп} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C/год}$.

де, $C_{\text{нп}}$ – постійна швидкість нагріву виливка;

$t_{\text{пов.в}}$ – кінцева температура поверхні виливка;

$\rho_{\text{в}}$ – щільність сталі;

$\lambda_{\text{сталі}}$ – коефіцієнт тепловіддачі сталі;

t_0 – початкова температура поверхні виливка;

C – теплоємність сталі.

Розрахуємо α (коефіцієнт тепловіддачі) для печі з викатним подом ТОВ «ЗТМК» за наступними даними: швидкість диму 6,3 м/с; довжина печі $L = 4,18$ м; висота печі $H = 3,353$ м.

У відповідності з даними при температурі 925 °С значення теплофізичних властивостей диму складають: коефіцієнт кінематичної в'язкості $\nu_{\text{д}} = 174,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с; коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{\text{д}} = 10,8 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К); критерій Прандтля $Pr_{\text{д}} = 0,581$.

Отже число Рейнольдса буде дорівнювати

$$Re = \frac{W_{\text{д}} \cdot l \cdot 10^6}{\nu_{\text{д}}}, \quad (2.12)$$

де l висота внутрішньої частини камери печі, $l = 2,11$ м.

$$Re = \frac{6,3 \cdot 2,11 \cdot 10^6}{174,3} = 7,63 \cdot 10^4.$$

Значення коефіцієнта Nu визначається за формулою (2.11)

$$Nu = 147,5, \quad \alpha_{\text{к}} = 16,77.$$

Розрахуємо коефіцієнт тепловіддачі від середовища камери печі до стінки [15, 21, 22], Вт/(м²·К)

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_{\text{д}} \cdot Nu}{l}. \quad (2.13)$$

$$\alpha_1 = \frac{10,8 \cdot 10^{-2} \cdot 147,5}{2,11} = 7,55.$$

Проведемо розрахунки втрат теплоти при початкових умовах(коли футерування печі складається з двох шарів: шамоту та динасу)

Розрахуємо коефіцієнт теплопередачі стінок печі, Вт/(м²·К)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.14)$$

де δ_1 – товщина шамотної цегли, 0,3 м;

δ_2 – товщина динасової цегли, 0,115 м;

λ_1 – коефіцієнт теплопровідності шамотної цегли, 1,13 Вт/(м·К);

λ_2 – коефіцієнт теплопровідності динасової цегли, 1,3 Вт/(м·К);

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від динасової цегли у зовнішнє середовище, для повітря 22 Вт/(м²·К).

$$k = \frac{1}{\frac{1}{7,55} + \frac{0,35}{1,13} + \frac{0,115}{1,3} + \frac{1}{22}} = 1,26.$$

Кількість теплоти втрачену через футерування знайдемо за формулою, Вт

$$Q = k \cdot F_{\text{пов}} \cdot (t_1 - t_2), \quad (2.15)$$

де $F_{\text{пов}}$ – площа зовнішньої поверхні печі, м;

t_1, t_2 – температура всередині печі та зовні.

$$Q = 1,02 \cdot 108,03 \cdot (925 - 20) = 109499.$$

Розрахуємо теплові втрати при встановленні нових теплоізоляційних матеріалів (для БВ-300).

Розрахуємо коефіцієнт теплопередачі стінок печі, Вт/(м²·К)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{7,55} + \frac{0,125}{0,22} + \frac{0,115}{1,3} + \frac{1}{22}} = 0,93.$$

де δ_1 – товщина войлокових керамоблоків (для БВ-300) 0,25 м;

δ_2 – товщина динасової цегли, 0,115 м;

λ_1 – коефіцієнт теплопровідності керамоблоків, 0,21 Вт/(м·К);

λ_2 – коефіцієнт теплопровідності динасової цегли, 1,3 Вт/(м·К);

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від динасової цегли у зовнішнє середовище, для повітря 22 Вт/(м·К).

Кількість теплоти втрачену через нове футерування знайдемо за формулою, Вт

$$Q = 0,82 \cdot 108,03 \cdot (925 - 20) = 83704,7.$$

Тобто теплові втрати при встановленні нових теплоізоляційних матеріалів зменшаться на 15%.

Аналогічним чином розрахуємо зменшення теплових втрат та економію палива для кожного обраного матеріалу за один цикл, результати представлені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Ефект від зміни теплоізоляції

Показники	Плита МКРГПО-650	Плита ШВП-350	Плита ШПГТ-450	Блок БВ-300	Блок ТБКВ
Зменшення теплових втрат, Вт	15762,5	20342	28277,7	25794,3	32262,9
Економія палива, %	11,97	13,8	16,6	15	18

Виходячи з існуючих габаритів печі, обсяг цегляної футеровки із шамотної цегли ША-1 становить 21,5 м². Відповідно, маса футеровки при щільності цегли 2000 кг/м² буде дорівнює 12 900 кг. В ході реконструкції було змінено лише шар шамотної цегли, оскільки шар динасової цегли виконує роль каркаса печі. У таблиці 2.5 представлені характеристики печі до зміни теплоізоляції та після.

Таблиця 2.5 – Характеристики печі до зміни теплоізоляції та після

Найменування	Об'єм футеровки, м ³	Робочий об'єм печі, м ³	Маса футеровки, кг
Цегла шамотна ША	21,5	31	12900
Футерування з нових теплоізоляційних матеріалів	8,15	44,35(37,62)	1630

Також позитивним при встановленні нових теплоізоляційних матеріалів як вже було сказано раніше є простота монтажу. Схема монтажу при встановленні керамоволокнистих блоків зображено на рисунку 2.4.

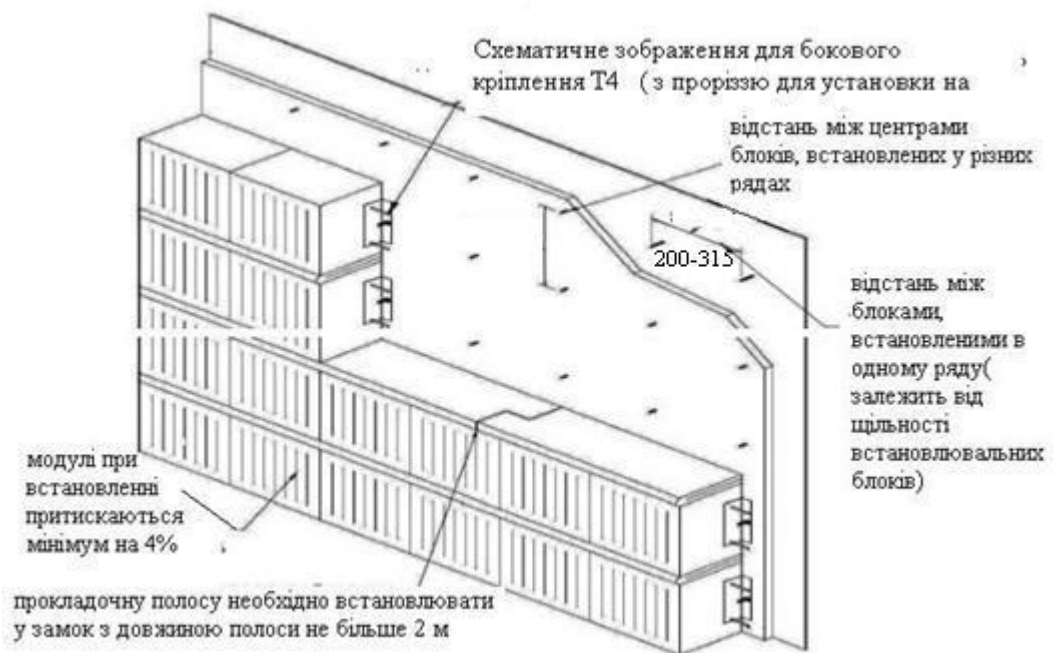


Рисунок 2.4 Схема монтажу керамоволокнистого футерування з блоків

Говорячи далі про переваги керамоволокна в порівнянні з традиційними вогнетривами потрібно відзначити такі властивості і переваги матеріалу як:

- термічна стабільність (опір волокон рекристалізації);
- низька теплопровідність;
- низька теплоємність внаслідок меншої маси футеровки в порівнянні з формованими вогнетривами;
- висока міцність на розрив;
- стабільна щільність і мала усадка (всього 2% при 1100 ° C);
- стійкість до термоударів;
- дозволяє прискорити монтаж (в 1,5-2 рази знижується час монтажних робіт в порівнянні з цегляною і бетонною футеровкою);
- при малій вазі та щільності керамоволокно дозволяє істотно полегшити несучі металоконструкції.

2.3.2 Заміна пальників у печі

Одним із найбільш ефективних способів підвищення енергоефективності термічних печей є заміна газоспалювального обладнання.

Газові пальники є пристроями, в яких хімічна енергія газоподібного палива перетворюється в процесі горіння на теплову енергію і призначені як джерела тепла для газових споживачів.

Процес спалювання палива складається з трьох операцій: змішування палива з повітрям, підігрів компонентів горіння до температури займання і власне хімічна реакція горіння.

Спалювальні пристрої в залежності від ступеня розвитку процесу змішування палива з повітрям для горіння можна розділити на три типи: без попереднього змішування, з поліпшеним змішуванням і з попереднім змішуванням [23, 25].

Пристрої без попереднього змішування палива з повітрям для горіння (Пальники «труба в трубі»), тільки створюються умови для подальшого змішування палива з повітрям: газовим і повітряним потокам надають необхідні швидкості і напрямку. Паливо змішується з повітрям для горіння поза межами пристрої.

Пристрої з поліпшеним змішуванням дозволяють майже повністю провести змішання в межах пристрої. В результаті цього горіння починає розвиватися вже в пальникових тунелях, а в робочому просторі або топці воно лише завершується (наприклад, при використанні турбулентних пальників).

У пристроях з попереднім змішуванням паливо змішується з повітрям для горіння всередині пристрою; повне ж згорання відбувається в межах горілочного тунелю (наприклад, в інжекційних пальниках) або в спеціальній камері згорання, а в робочий простір надходять тільки продукти згорання. Виходячи з цих характеристик, можна визначити область при-трансформаційних змін трьох основних типів спалювальних пристроїв.

Пристрої без попереднього змішування рекомендується застосовувати в тих випадках, коли необхідно:

- забезпечити концентроване підведення тепла за допомогою невеликого числа великих пальників, особливо при спалюванні газу з високою теплою згорання;
- отримати широкі межі регулювання; працювати поперемінно на газовому паливі різних видів або на газі та мазуті поперемінно або одночасно;
- підігрівати компоненти згорання до високої температури.

Пристрої з поліпшеним змішуванням слід застосовувати в тих випадках, коли допустима довжина факела обмежена і потрібно концентроване підведення значної кількості тепла при порівняно невеликих розмірах спалювальних пристроїв, або потрібно створити факел спеціальної форми.

Спалювальні пристрої з попереднім змішенням доцільні для здійснення високотемпературного нагріву при спалюванні газів з низькою теплотою згоряння, а також при розосередженій подачі тепла великим числом пальників з метою досягнення високої рівномірності нагріву.

Тип і характеристику спалювальних пристроїв слід вибирати залежно від типу і конструкції печі, вимог до технології нагріву, виду і характеристики палива. Не існує хороших або поганих типів пальників, а є тільки відповідні або невідповідні для даних конкретних умов.

Основні вимоги до використання пальників Конструкція пальника повинна бути простою без рухомих частин, без пристроїв, що змінюють переріз для проходу газу і повітря, без деталей складної форми, розташованих поблизу його носика. Ширину перетину для виходу газу, повітря і газоповітряної суміші треба підбирати в процесі створення пальника. У процесі експлуатації всі ці перетини мають бути незмінними. Кількість поданих через пальник газу і повітря слід змінювати тільки дросельними пристроями, встановленими на підвідних трубопроводах. Перетину для проходу газу і повітря в пальнику і конфігурацію внутрішніх порожнин слід вибирати таким чином, Щоб супротив на шляху руху газу і повітря всередині пальника було б мінімальним. Тиск газу і повітря в основному повинне бути використане для створення необхідних швидкостей у вихідних перетинах пальника.

При необхідності поділу газового потоку на кілька струменів застосовують масивну насадку з відповідним числом отворів. При здійсненні часткового попереднього змішання газу і повітря слід використовувати якийсь один спосіб, а не ускладнювати пальник великим числом елементів одного і того ж призначення - для поліпшення змішання.

Для стабілізації горіння слід віддавати перевагу аеродинамічному методу, тобто створення зон циркуляції продуктів згоряння, які підпалюють газоповітряному змішанню.

Розглянемо характеристики основних типів пальників:

1. Пальники з примусовим приводом повітря. Такі пальники складають головну групу газових пальників і застосовуються переважно для підігріву в промислових печах. Працюють зазвичай з низьким надлишковим тиском газоподібного палива і з надлишковим тиском повітря, що спалюється. Джерелом спалюваного повітря є радіальний вентилятор.

Більшість газових пальників, вживаних в промисловості для технологічних підігрівів, входить до групи пальників з примусовою підведенням спалюваного повітря

2. Інжекторні пальники. Інжекторні пальники середнього тиску використовуються для нагріву промислових печей. Використання інжекторних пальників для нагріву технологічних споживачів у порівнянні з пальниками з примусовим приводом спалюваного повітря має серію переваг:

До переваг інжекторних пальників відносяться:

- простота конструкції;
- стійка робота пальника при зміні навантажень;
- надійність роботи і простота обслуговування;
- відсутність вентилятора, електродвигуна для його приводу, повітропроводів до пальників;
- можливість саморегулювання, тобто підтримки постійного співвідношення газ-повітря.

До недоліків інжекційних пальників відносяться:

- значні габарити пальників по довжині, особливо пальників збільшеної продуктивності;
- високий рівень шуму ;
- залежність надходження вторинного повітря від розрідження у топці.

Інжекторні пальники володіють саморегулювальною здатністю, що дозволяє підтримувати постійно процес горіння при зміні потужності пальника.

3. Радіаційні пальники. Радіаційні пальники працюють з низьким тиском газу і з примусовим підведенням повітря, в закритій металевій, або керамічній трубці з відведенням відпрацьованих газів повз обігрівається простір. Радіаційні пальники використовуються для нагріву промислових печей з непрямим нагрівом при термічній обробці сталі і кольорових металів в середовищі з керованою атмосферою.

4. Імпульсні пальники. Імпульсні пальники працюють з великою вихідною швидкістю спалюваного газу з гирла каналу ($80..120 \text{ м/с}^{-1}$) під його динамічним впливом в робочій зоні утворюється однорідне середовища. Пальник може спалювати природний газ з попереднім підігрівом повітря на температуру $600 \text{ }^\circ\text{C}$ при температурі в спалювальному каналі майже $2000 \text{ }^\circ\text{C}$.

5. Рекуперативні пальники. Рекуперативним пальником є: пальник з рекуператором для підігріву спалюваного повітря, вбудованим в корпусі пальника. Принцип їх функції полягає в тому, що підігрів спалюваного повітря проводиться теплом відпрацьованих газів з робочого простору печі на відміну від звичайних рекуператорів, які нагрівають повітря центрально для всіх пальників в піч, децентралізований до більшої кількості невеликих рекуператорів.

6. Регенеративні пальники. Регенеративний пальник на відмінно від рекуперативного, який нагріває повітря безперервно, з константними температурними параметрами, працює періодично. Опалювальна і витяжна система печі упорядкована регенеративним пальником розділена на дві частини, розташовані на протилежних стінах печі, з них поперемінно одна частина працює як нагрівальна а друга частина працює як витяжка відпрацьованих газів. Через першу частину струмує повітря, яке нагрівається на високу температуру ($800...1000^\circ\text{C}$) як і у випадку рекуперації підвищує коефіцієнт корисної дії печі і знижує споживання газоподібного палива.

Вибір пальників проводиться в такій послідовності. Спочатку вибирається їх кількість, при цьому необхідно враховувати, що в камерних

печах вони розташовуються тільки в бічних стінах печі. Мінімальна відстань між осями пальників 450 мм, максимальна (1000...1100) мм.

Для печі з висувним подом, що встановлена на ТОВ «ЗТМК», запропоновано встановити рекуперативні та регенеративні пальники, оскільки вони є найбільш економічними, мають систему запобігання зриву полум'я, забезпечують більш повне спалювання палива.

Розглянемо більш детально рекуперативні та регенеративні пальники, оскільки вони найбільше підходять для встановлення в агрегат.

Рекуперативний пальник являє собою паливоспалювальний пристрій з вбудованим в нього рекуператором. Продукти згоряння видаляються з робочого простору печі через рекуперативну пальник, забезпечуючи підігрів дуттьового повітря до 700 °С.

Рекуперативні пальники використовуються для різних типів печей в температурному діапазоні від 500°С до 1300 °С. При потужності більше 250 кВт досягаються гранично допустимі габарити пальників з попереднім нагріванням повітря. Тому рекуперативні пальника мало знаходять застосування для нагрівальних печей дуже великої потужності, наприклад, на прокатних станах.

Застосування рекуперативних пальників дозволяє скоротити витрати на будівництво печі, знизити питому витрату природного газу, зменшити поточні витрати при експлуатації печі. На рисунку 2.5 зображена схема роботи рекуперативного пальника.

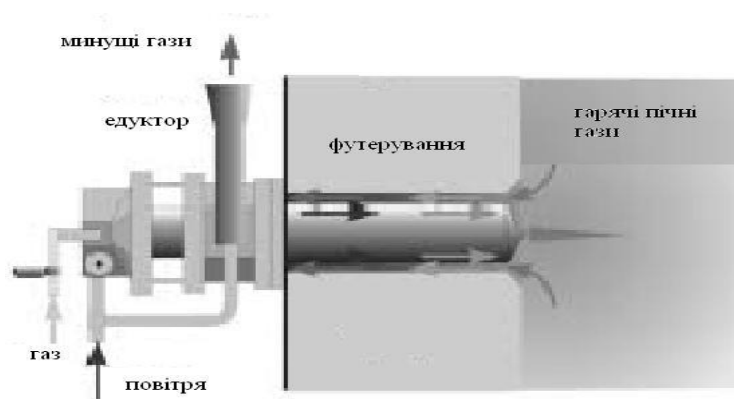


Рисунок 2.5 – Схема роботи рекуперативного пальника

Принцип роботи рекуперативного пальника наступний: через пальник протитечею по різних каналах надходять повітря горіння в робочий простір печі і продукти згоряння з робочого простору печі.

Істотна відмінність між конвекційною системою з центральним рекуператором і рекуперативними пальниками полягає в розташуванні і конструкції теплообмінника. Проточні канали та поверхня теплопередачі в рекуперативних пальниках краще оптимізовані, ніж при використанні центрального рекуператора і таким чином досягається більш висока питома потужність теплопередачі. При використанні рекуперативних пальників відсутні необхідні для центрального рекуператора повітряні коробки і трубопроводи на «гарячій» стороні для подачі теплого повітря. Відходять гази при їх використанні збираються в колектор, однак, ізоляція звичайно не потрібно.

Для системи з центральним рекуператором вентиля гарячого повітря повинні надійно працювати на кожного пальника при дії високої температури і при тиску від 2 до 6 кПа при високій частоті включення. Також є проблеми з рівномірним розподілом гарячого повітря на кожен окремий пальник.

Відмітною ознакою є ступінчасте спалювання в соплах в керамічній камері горіння, у вихідному соплі якій переважає надмірний тиск від 1 до 2 кПа, що приводить до швидкості на виході від 100 до 150 м/с. Механічна енергія струменя становить тоді від 1 до 2 Вт на м³ спалюваного повітря або на 1 кВт загальної потужності пальника. Тобто пальник потужністю 100 кВт створює в печі потоки перемішування приблизно з такою ж енергією, як і механічний рециркуляційний вентилятор з робочим колесом діаметром 400 мм. Слід зазначити, що енергія потоку не повинна створюватися вентилятором, а відбуватися з збільшення обсягу при попередньому нагріві повітря.

При температурі печі понад 1100 °С носик пальника захищається керамічним екраном. Також в цих пальниках присутній вбудований електрозапальник.

Димові гази, як правило, просто відсмоктуються за допомогою повітряного потоку через кожну конфорку, для чого до редуктора підводиться повітря за обсягом до 1,5 разів більше, ніж обсяг повітря для горіння. Якщо цього необхідно уникнути, то відхідні гази відсмоктуються через відповідний клапан. Тепло відхідного газу в такому випадку може бути використано в подальшому. За допомогою тиску відсмоктування можна регулювати тиск у печі. Налаштування рециркуляції відпрацьованих газів кожного пальника не робить великого впливу на рекуперацію тепла. Полум'я залишається стабільним також при великому надлишку повітря, так що в особливих випадках газ може регулюватися в співвідношенні 4:1 при повному обсязі повітря. Таким чином, імпульс пальника в печі залишається збереженим при помірних витратах, оскільки повітря на горіння попередньо сильно нагрівається.

З посиленням попереднього нагрівання повітря температура полум'я зростає і разом з тим процентний вміст NO_2 в відпрацьованих газах, тому рекуперативні пальники з сильним попереднім нагріванням повітря в особливості схильні до цієї проблеми. Для відомих заходів по скороченню виділення NO_2 , особливо для східчастого горіння і рециркуляції відпрацьованих газів, були розроблені конструктивні рішення спеціально для рекуперативних пальників, що виправдали себе при використанні на виробництві. При прямому нагріванні показники NO_2 при одному і тому ж попередньому нагріві повітря нижче, так як краще рециркуляція відпрацьованих газів. При цьому у пальників з великим діаметром сопла та більшою потужністю показники NO_2 вище, що взаємопов'язано тривалістю реакції в об'ємі полум'я. Розподіл подачі енергії кількома невеликими пальників також відноситься до заходів щодо зниження вмісту NO_2 .

У високошвидкісних пальників без рекуператорів питомі витрати залежать в основному від розміру пальника. Цей вплив у рекуперативних пальників знижується, і в особливості у випромінюючих радіальних труб, так як необхідні поверхні рекуператорів та поверхні випромінювання радіальних труб збільшуються пропорційно величині потужності.

Також підвищити енергоефективність печі можна за допомогою встановлення регенеративного пальника. Особливістю їх є дуже високий догрів повітря, що йде на горіння (до 1000 °С), завдяки чому досягається високий коефіцієнт використання палива (до 90 %), навіть при високих температурах в печі. Робочим режимом пальника є безполум'яне горіння. Завдяки використанню цієї технології утворення NOx при настільки екстремально високому догріві повітря знаходиться в межах 25100 ppm, CO, O₂ налаштоване в межах (2...4) %. У регенеративному пальнику в теплообмінник особливої конструкції, «регенератор», надходять поперемінно то відхідні гази, то повітря для горіння. Особливістю таких пальників полягає в тому що вони працюють у парі.

Схема роботи регенеративного пальника представлена на рисунку 2.6.

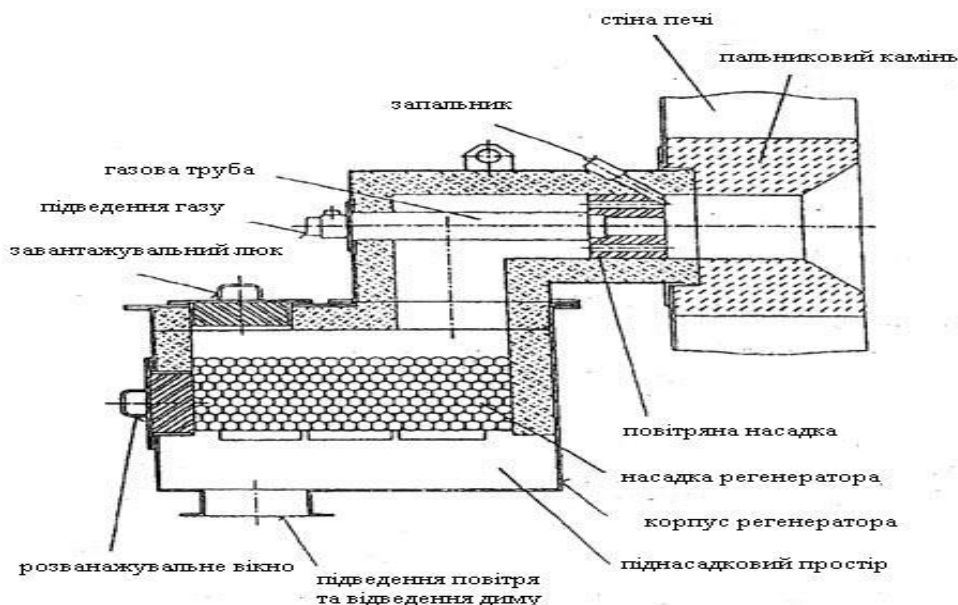


Рисунок 2.6 – Схема регенеративного пальника

Принцип роботи такого пальника полягає в тому, що під час роботи першого пальника відпрацьовані гарячі гази відводяться через другий пальник і проходять через його регенератор, нагріваючи його наповнювач. Коли температура регенератора другого пальника досягає заданого рівня, за допомогою пневматичних і електричних клапанів припиняється подача газу і змінюються шлях руху відпрацьованих газів і холодного повітря. При цьому через перший пальник відводяться відхідні гази, нагріваючи при цьому регенератор першого пальника, а другий пальник знаходиться в робочому стані, використовуючи повітря що нагрівається регенератором цього ж пальника. Тобто тепло, що міститься у відхідних газах періодично накопичується і потім регенерується повітрям, що йде на спалювання. Завдяки використанню пари регенераторів, цей процес безперервний. Регенератори, перемикаючі клапани і стартовий пальник є при цьому одним компактним модулем.

Таким чином для заміни були підібрані рекуперативні та регенеративні пальники, основні характеристики яких представлено у таблиці 2.6 [26-28].

Таблиця 2.6 – Характеристики запропонованих пальників

	G 31-E	BLU 700.1 P Low NOx	HRB25	PBG 5000
Потужність,кВт	90-630	225-700	733	150-700
Витрата газу, м ³ /год	11,1-77,6	27-70	27-70	15-65
Економія газу, %	11	16	15	18

Також розрахуємо обсяг заощадженого газу при встановленні нових пальників.

Обсяг заощадженого газу з одного пальника, м³/год

$$V_{пз} = (V_{п} - V_{пн}), \quad (2.16)$$

де $V_{пн}$ - витрата газу при встановленні нових пальників

Економія газу за весь цикл загартовування, %

$$E = \frac{(V_{п} - V_{пн})}{V_{п}}. \quad (2.17)$$

Отже встановлення пальників з регенеративного та рекуперативного типу підвищують енергоефективність печі, за рахунок збільшення коефіцієнта використання палива.

Відмінні особливості та переваги рекуперативних та регенеративних пальників, застосованих у камерній печі, можна підсумувати наступним чином:

- теплотехнічний коефіцієнт використання палива – 75 %, що на 10 % більше початкового варіанта без використання попередньо нагрітого повітря;
- значно знижений рівень термічного утворення NO_x , навіть при дуже високому попередньому нагріві повітря;
- можливо звести до мінімуму проблеми, породжувані окисленням, і контроль безпеки;
- керамічна конструкція камери згоряння значно скорочує необхідне обслуговування.

2.3.3 Зміна розташування пальників у печі

Оскільки проводити дослідження на реальній печі є не завжди можливо та витратно, для рішення задач енергоефективності нагрівальних газових печей перед усім, треба мати їх адекватні математичні моделі, які враховували б як енергетичні так і конструктивні параметри цих об'єктів, та які б дозволяли прогнозувати динаміку зміни температурного режиму в робочому просторі печі.

Велика частина робіт цього напрямку в основному пов'язана з побудовою спрощених моделей, як і тільки частково відображають процеси, що відбуваються в нагрівальних печах і описують лише їх складові частини. Такі математичні аналоги не дають повної, об'ємної картини зміни температури теплового потоку. Зазвичай розглядаються одно-або двомірні стаціонарні поля. Однак було отримано математичну модель [29], що прогнозує при заданих геометричних параметрах печі, розподіл температури в її камері. Вона дозволяє вирішувати завдання енергоефективності розглянутих об'єктів в залежності від зміни способу їх опалення та існуючої аеродинаміки.

Існують публікації, які вказують на те, що камерні печі з висувним подом неефективні саме за тепловим режимом. Оскільки на прямий нагрів металу витрачається лише (40...45) % теплової енергії, а іншу частину складають витрати. Тому постає питання визначити розподіл теплових зон у печі. В даний час розроблена математична модель камерної нагрівальної печі [29], де розподіл температурного поля в камері визначається шляхом використання чисельного методу контрольного об'єму поряд з відомою інженерної методикою розрахунку [29-32].

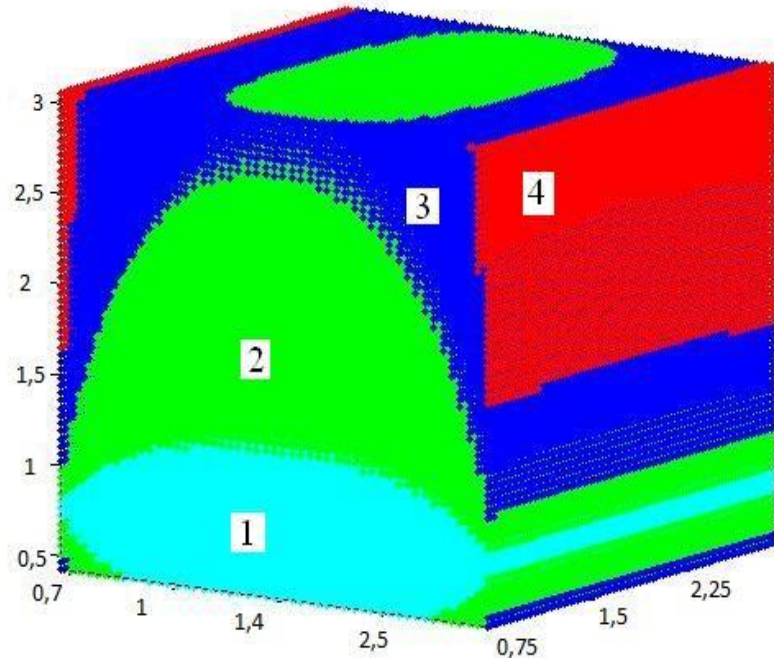
Для вивчення впливу місця установки пальникових пристроїв на характер температурного поля камери було виконано комп'ютерне моделювання процесу розігріву камери нагрівальної печі для діапазону можливого варіювання координат розташування пальникових пристроїв, наведених на рисунку 2.7.

Для застосування цієї математичної моделі були використані такі вихідні дані:

1. Режим термообробки.

Розміри камери печі за допомогою точок контрольного об'єму ($X_1 \dots X_4, Y_1 \dots Y_4, Z_1 \dots Z_4$) з координатами ($XX_1 \dots XX_4, YX_1 \dots YX_4, ZX_1 \dots ZX_4, XY_1 \dots XY_4, YY_1 \dots YY_4, ZY_1 \dots ZY_4, XZ_1 \dots XZ_4, YZ_1 \dots YZ_4, ZZ_1 \dots ZZ_4$).

технологій нагріву метал. Отже, постає питання дослідження можливості перерозподілу теплової енергії.



1. 600 – 662,5 °C; 2. 662,5 – 725 °C; 3. 725 – 787,5 °C; 4. 787,5 – 850 °C.

Рисунок 2.8 – Розподіл температур у камері печі при нагріванні виробів

Загальна кількість точок, що належать до аналізованих температурних діапазонів складає 285 957.

Визначимо кількість точок, що належать до вказаних вихідних температурних діапазонів, розрахуємо відповідно їх відносний і реальний об'єм.

Маючи зазначену інформацію визначимо кількість теплової енергії, що припадає на розглянуті зони. В даному випадку теплоносієм є сухе повітря. Знаючи відповідну теплоємність повітря і обсяг, який він займає отримаємо, яка кількість тепла припадає на кожну зону.

Розраховані результати представлено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Характеристика розподілу теплових зон

	1 температурний діапазон	2 температурний діапазон	3 температурний діапазон	4 температурний діапазон
Кількість точок	99 799	125 249	36316,5	24592
Відносний об'єм, %	34,9	43,8	12,7	8,6
Реальний об'єм, м ³	10,36	13	3,77	2,55
Кількість теплоти, що приходиться на кожну зону, %	34,81	43,76	12,76	8,67

Отже, найбільша концентрація теплової енергії спостерігається у верхній частині камери, яка і нагріває склепіння печі, в той час як заготовки знаходяться в зоні з дуже малим вмістом теплоти в нижній частині камери, що обумовлено неефективним рухом теплових потоків і не раціональної технології нагріву метал.

Знаючи інформацію про час нагрівання (15 год.) і існуючої витрати газу на піч (82 м³/год), знаходимо таке розташування пальникових пристроїв, при яких найбільша концентрація теплової енергії буде зосереджена в зоні нагріву металу. Для розрахунку температури в вузловій точці А, при варіюванні координат YX1.1 ... YX1.4, ZX1.1 ... ZX1.4, з рівними інтервалами по осях Y і Z (з кроком 0,04 м), шляхом звертання у визначеному порядку до кожної вузлової точки використовуємо ітераційний метод [4]. При цьому рівняння для визначення температури має вигляд, °С

$$t_A = \frac{\sum a_{nb} \cdot t_{nb}^*}{a_A}, \quad (2.17)$$

де t_{nb}^* - найближче значення температури, яке знаходиться в пам'яті обчислювальної машини, °С;

a_A - коефіцієнти провідності у точці А;

a_{nb} - коефіцієнти провідності в напрямках між точкою А і сусідніми точками в тривимірній площині;

t_A – температура в розрахунковій точці А, °С.

Для сусідніх точок nb , до яких вже зверталися в ході поточної ітерації, t_{nb}^* є новим розрахунковим значенням. Для решти сусідніх точок - значення з попередньої ітерації. У будь-якому випадку t_{nb}^* - це саме останнє значення температури в сусідній точці. Коли всі вузлові точки розглянуті подібним чином, одна ітерація закінчена.

У пам'яті обчислювальної машини залишається тільки один масив (у вигляді матриці D) який містить максимальне значення температури з координатами, відповідними зоні розташування металу. По мірі звернення до чергової вузловій точці відповідне значення температури в пам'яті машини замінюється на нове, якщо воно перевищує попереднє.

Таким чином, за допомогою даного алгоритму можна визначити максимальне значення температури в зоні розташування металу, шляхом формування ряду масивів $D_1 \dots D_m$, відповідних різному розташуванню пальникових пристроїв в печі. На рисунку 2.9 наведено приклад формування матриці D.

При формуванні матриці A, B і C це кількість кроків по осі X, Y, Z, відповідно i, j, k позначення змінної, n число рядків матриці D. Кінцевим результатом є матриця D з розмірами $n \times 3$, відповідна оптимальному розташуванню пальникових пристроїв. Столпчик 0 - координати по осі X, 1 Y, 2 Z, 3 значення температури в вузловій точці. Загальна кількість точок (рядків) склала 8000 при $A = B = C = 40$.

Таким чином визначено оптимальне місце розташування пальникових пристроїв, відповідне максимальній температурі в області розташування металу, воно представлено в таблиці 2.8.

```

D :=
  n ← 0
  for i ∈ 0..A - 1
    for j ∈ 0..B - 1
      for k ∈ 0..C - 1
        n ← n + 1
        Dn,0 ← xi
        Dn,1 ← yj
        Dn,2 ← zk
        Dn,3 ←  $\frac{ax_3^i \cdot tx_3 + ax_4^i \cdot tx_4 + ay_3^j \cdot ty_3 + ay_4^j \cdot ty_4 + az_3^k \cdot tz_3 + az_4^k \cdot tz_4}{ax_3^i + ax_4^i + ay_3^j + ay_4^j + az_3^k + az_4^k}$ 
D

```

D =

	0	1	2	3
147	0	0.892	0.369	1.044·10 ³
148	0	0.892	0.43	1.049·10 ³
149	0	0.892	0.492	1.054·10 ³
150	0	0.892	0.554	1.057·10 ³
151	0	0.892	0.615	1.061·10 ³
152	0	0.892	0.676	1.064·10 ³
153	0	0.892	0.738	1.067·10 ³
154	0	0.892	0.8	1.07·10 ³
155	0	0.892	0.861	1.072·10 ³
156	0	0.892	0.922	1.075·10 ³
157	0	0.892	0.984	1.077·10 ³
158	0	0.892	1.045	1.079·10 ³
159	0	0.892	1.107	1.08·10 ³
160	0	0.892	1.168	1.082·10 ³

Рисунок 2.9 – Формування матриці D

Таблиця 2.7. – Розташування пальникових пристроїв

Початкове розташування пальників, м											
X _{X1.1}	Y _{X1.1}	Z _{X1.1}	X _{X1.2}	Y _{X1.2}	Z _{X1.2}	X _{X1.3}	Y _{X1.3}	Z _{X1.3}	X _{X1.4}	Y _{X1.4}	Z _{X1.4}
0,3	0,73	0,18	0,2	1,46	0,18	0,2	0,73	0,35	0,2	1,46	0,35
Оптимальне розташування пальників, м											
0,85	0,54	0,4	0,2	1,08	0,4	0,2	0,54	0,57	0,2	1,08	0,57

Після підбору оптимального розташування пальників, застосувавши математичну модель, було отримано новий розподіл теплових зон у камері печі, він представлений на рисунку 2.10.

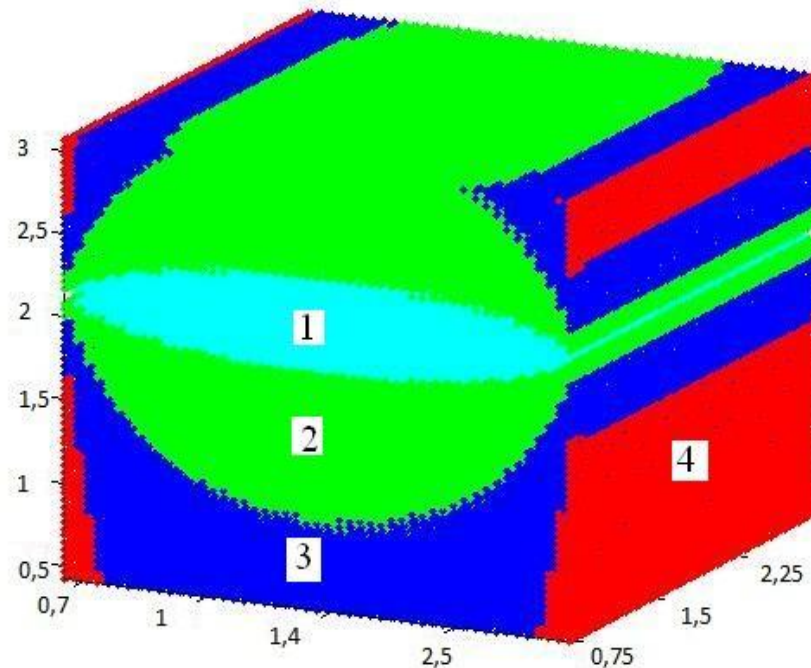
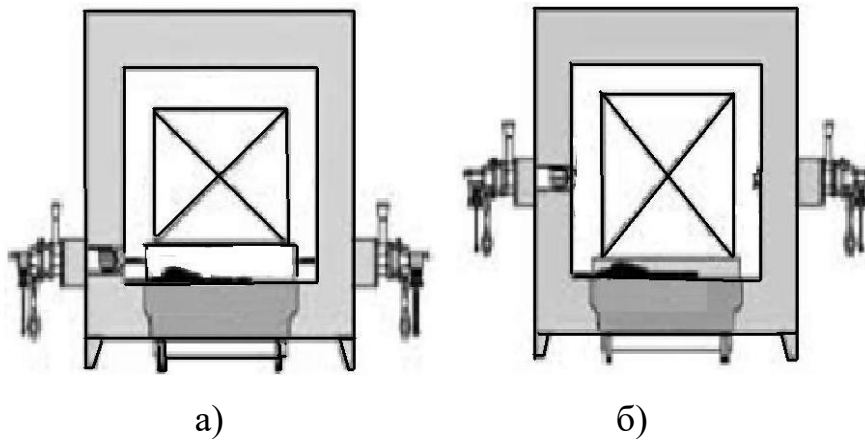


Рисунок 2.10 – Розподіл теплових зон після зміни місця розташування пальників

Схематичне зображення зміни місця розташування пальників представлено на рисунку 2.11.



- а) поперечний перетин печі с викатним подом;
- б) поперечний перетин печі після реконструкції.

Рисунок 2.11 - Зображення зміни місця розташування пальників

Шляхом зміни місця розташування пальників виконується розрахунок теплової енергії в заданих точках камери печі. Характеристика розподілу теплових зон після зміни розташування пальників представлена у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Характеристика розподілу теплових зон

	1 температурний діапазон	2 температурний діапазон	3 температурний діапазон	4 температурний діапазон
Кількість точок	124 105	118 100	26 308	17443
Відносний об'єм, %	43,4	41,3	9,2	6,1
Реальний об'єм, м ³	12,88	12,26	2,73	1,8
Кількість теплоти, що приходить на кожну зону, %	43,3	41,28	9,3	6,12

Таким чином, можемо зробити висновок, що зміна положення пальників у камерній печі є досить ефективним та найменш витратним заходом щодо підвищення енергоефективності, оскільки найбільша концентрація теплової енергії припадає вже не на склепіння печі, а розподілена рівномірно по її камері починаючи з місця розташування металу. Крім цієї переваги досягнуто скорочення витрат газу на піч.

Розрахуємо час загартовування металу за формулою, год

$$\tau = \frac{B^2 \cdot \rho \cdot c}{3,6 \cdot k_{\phi} \cdot \lambda \cdot S_k} \cdot (\Phi_{\text{кон}} - \Phi_{\text{поч}}), \quad (2.18)$$

де B - товщина заготовки, м;

λ - коефіцієнт теплопровідності металу;

$k_{\phi} = 1$ - коефіцієнт форми [17];

ρ - щільність тіла, т/м³;

c - середня теплоємність металу в інтервалі температур від початкової до кінцевої температури, кДж/(кг·К);

S_k - радіаційне число Старка [17];

$\Phi_{\text{кон}}, \Phi_{\text{поч}}$ - початкове і кінцеве значення температурного чинника в залежності від температури і конвективного числа Біо [17].

В результаті розрахунку отримане значення склало 12,62 год при чому що при початковому положенні пальників він складав 15 годин, отже час загартовування зменшився на 2,38 год.

Розрахуємо економію палива при зменшенні часу обробки виливок, м³

$$E = V_{\text{п}} \cdot \Delta t, \quad (2.19)$$

де Δt – зменшення часу загартовування, год

$$E = 82 \cdot 2,38 \cdot 4 = 780,64.$$

Отже економія палива за один цикл загартовування складе 17%

Таким чином завдяки розрахунку теплового балансу визначено статті витрати теплової енергії у камерній печі. На його основі запропоновані шляхи підвищення енергоефективності та обрані найбільш ефективні з них, а саме, запропоновано встановити нові більш ефективні рекуперативні та регенеративні пальники, оскільки при їх використанні вдалося збільшити теплотехнічний коефіцієнт використання палива до 90%, значно знизити рівень термічного викиду оксиду азоту, навіть при дуже високому попередньому нагріві повітря, зведено до мінімуму проблеми, породжувані окисленням, підвищено рівень безпеки, керамічна конструкція камери згоряння значно скорочує необхідне обслуговування, витрати газу зменшено на (11...18) %. Також запропоновано замінити теплоізоляційні матеріали камери печі, що дозволило значно зменшити теплові втрати через кладку печі, істотно полегшити навантаження на каркас печі та зменшити витрату палива на (12...18)%.

Застосування математичної моделі дозволило отримати зображення розподілу теплових зон у камері печі та визначити, що виливки розташовані в області низьких температур. Тому виникла необхідність дослідження можливості перерозподілу теплової енергії в камері печі. Для вирішення цього питання була поставлена оптимізаційна задача. За допомогою математичної моделі проведено перебір можливого розташування пальників та визначено оптимальне їх положення, що дозволило зекономити 17 % палива. Тобто всі наведені у роботі заходи сприятимуть підвищенню енергетичної ефективності камерної печі з викатним подом та заощадженню коштів підприємства.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Основним завданням ливарного цеху є виготовлення з металів металевих сплавів виробів-виливків, що мають різноманітні обриси і використовуються для різних цілей.

До шкідливих і небезпечних факторів у ливарному цеху відносяться:

- надмірна запиленість повітря;
- недостатня освітленість;
- рухомі частини механізмів і приводів;
- підвищений рівень шуму;
- підвищений рівень тепловиділення;
- наявність шкідливих речовин в повітрі робочої зони;
- електричний струм;
- стисле повітря.

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

- оптимальна температура повітря – 22 °С, допустима – (20...24) °С;
- оптимальна відносна вологість – (40...60) %, допустима – не більше 75 %);
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

Карту умов праці технолога представлено у таблиці 3.1.

Відповідно до гігієнічної класифікації праці робоче місце технолога – відносяться до III класу, у якому шкідливі умови праці перевищують гігієнічні нормативи шкідливих факторів.

Таблиця 3.1 – Технологічна карта умов праці технолога

Фактори	норма ПДК, ПДУ	Фактичне значення	3 клас шкідливих і небезпечних умов праці			Час дії фактора % у зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
1	2	3	4	5	6	7
Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³						
1 клас небезпеки						
оксид марганцю	0,05	0,055	1,1р			80
ангідрид хромовий	0,01	0,017	1,7р			80
2 клас небезпеки						
3 клас небезпеки						
Азоту діоксид	2,0	1,8				80
Заліза оксид	6,0	7,1	1,2р			80
4 клас небезпеки						
титан	10	2,5				88
оксид вуглецю	20	16,4				88
Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³ .						
Зміст кремнію діоксида 2,5 %	2,0	9,8		4,9р		90
Вібрація (загальна і локальна), дБ						
Шум, дБА	80	89	9			100
Інфразвук, дБ						
Ультразвук, дБ						
Неіонізуючі випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м - діапазон промислової частоти, кВ/м - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ²						
Мікроклімат у приміщенні: - температура повітря, °С						
	18-20	18				90
- швидкість повітря, м/с						
	0,4	0,52				90
- відносна вологість, %						
	75	50				90
Категорія важкості і напруженість праці	категорія важкості праці – середньої важкості Іа, категорія напруженості праці – мало напружена І					

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в цеху характеризуються наявністю шкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності, проте характеризуються проявом початкових ознак професійної патології.

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Для створення і автоматичної підтримки у ливарному цеху оптимальних значень температури, вологості і швидкості руху повітря в холодну пору року використовується водяне опалення, в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря.

Природне освітлення у ливарному цеху здійснюється через віконні отвори і є дуже слабким, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення. За його допомогою в міру необхідності, регулюють інтенсивність світлового потоку і його спрямованість.

Таблиця 3.2 – Технічні міри захисту робітників від впливу факторів

Шкідливі фактори	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце установки
Запиленість	Витяжна вентиляція	-	Витрата 80000 м ³ /Г	Над АПР-1
Запиленість	Респіратор	«Пелюсток»	ДНАОП	Індивід.
Температура (холодний період року)	Утеплена куртка, ватяні штани	ДНАОП 0.00-4.12-99	Тип Т	Індивід.
Шкідливі хімічні речовини	Ті ж що й При запиленості +костюм х/брукавиці	ДНАОП 0.00-1.04-07	Тип Т, Тип Н	Індивід.
Шум	Навушники від шуму	-	Придатний 110дБА	Індивід.

Як заходи щодо зниження рівня шуму можна запропонувати наступне:

- облицювання стелі та стін звукопоглинальним матеріалом;
- застосування шумопоглинальних матеріалів;
- розташування джерел шуму в ізольованих приміщеннях;
- застосовувати заходи індивідуального захисту;
- раціональне планування приміщення.

Одним з найпростіших та економічно доцільних способів зниження шуму є застосування методів звукоізоляції та звукопоглинання.

Звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки виготовляють із щільних твердих матеріалів, здатних запобігати розповсюдженню звукових хвиль (метал, пластмаса, бетон, цегла).

З метою захисту від шуму обслуговуючого персоналу на виробничих ділянках з шумними технологічними процесами або з шумним обладнанням необхідно влаштовувати кабінки спостереження та дистанційного контролю. Ви-користовуючи звукоізольовані кабінки, можна забезпечити практично будь-яке необхідне зниження шуму.

Кабінки виготовляються із щільних твердих матеріалів, здатних запобігати розповсюдженню звукових хвиль (метал, пластмаса, бетон, цегла), також вони мають бути мінімальних розмірів.

Рекомендується всі робочі місця, а також прилади управління і контролю розміщувати в кабінах спостереження, відокремлених від загальної площі цеху.

Розрахунок необхідної звукоізоляції кабіни пульта керування:

Необхідне зниження шуму кабіною визначається за формулою, дБ [33]

$$R_{\text{каб.н.}} = L_{\text{ш}} - L_{\text{доп}}, \quad (3.1)$$

де $L_{\text{ш}}$ – октавний рівень звукового тиску на робочому місці шумного приміщення на передбачуваному місці встановлення кабіни, дБ;

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

Згідно з формулою (3.1) для ливарного цеху необхідне зниження шуму складатиме, дБ

$$R_{\text{каб.н.}} = 89 - 80 = 9 \quad (3.2)$$

Необхідна звукоізолювана здатність елементів огорожувальних конструкцій (вікон, стін та дверей звукоізолюваних кабін) визначається за формулою

$$R_{n.i.} = L_{сер} - 10 \lg B_i + 10 \lg S_i - L_{дон} + 10 \lg n, \quad (3.3)$$

де $L_{сер}$ – середній октавний рівень звукового тиску в шумному приміщенні, дБ;

B_i – постійна кабін у даній октавній смузі частот, m^2 ;

S_i – площа розглянутого огороження або його елемента, через які шум проникає в ізолюване приміщення, m^2 ;

n – загальна кількість окремих елементів огорожень.

Визначимо постійну приміщення:

$$B_{и} = V_{1000} \cdot \mu, \quad (3.4)$$

де μ - частотний множник, таблиця 3.3.

Таблиця 3.3 – Величина коефіцієнта μ залежно від частоти

Октавна смуга частот, Гц (для приміщення <200 м ³)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
μ	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5

Розрахуємо необхідний об'єм кабін (ширина $a = 3$ м, довжина $b = 6$ м, висота $h = 2,5$ м), m^3

$$V = a \cdot b \cdot c. \quad (3.5)$$

$$V = 3 \cdot 6 \cdot 2,5 = 45.$$

де $V_{1000} = V/20$ (У даному випадку для приміщення з невеликою кількістю людей (металообробні цехи, вентиляційні камери, генераторні, машинні зали, випробувальні стенди і т.п.))

$$B_{1000}=2,25.$$

Розрахунок проведено для частоти 125 Гц.

Постійна приміщення дорівнює, м²

$$B = 2,25 \cdot 0,75 = 1,69.$$

Площа вікна складає, м²

$$S_{\text{вікна}} = 4,5 \cdot 1 = 4,5.$$

Площа дверей становить м²

$$S_{\text{дверей}} = 0,9 \cdot 2 = 1,8.$$

Площа п'яти стін, м²

$$S_{\text{стін}} = 2 \cdot b \cdot h + 2 \cdot a \cdot h + a \cdot b. \quad (3.6)$$

$$S_{\text{стін}} = 2 \cdot 6 \cdot 2,5 + 2 \cdot 3 \cdot 2,5 + 3 \cdot 6 = 63.$$

Необхідна звукоізолювана здатність елементів огорожувальних конструкцій становить, дБ

$$R_{\text{н.вікна}} = 90 - 10 \lg 1,69 + 10 \lg 4,5 + 10 \lg 1 - 80 = 14,25.$$

$$R_{\text{н.дверей}} = 90 - 10 \lg 1,69 + 10 \lg 1,8 + 10 \lg 1 - 80 = 10,3.$$

$$R_{\text{н.стін}} = 90 - 10 \lg 1,69 + 10 \lg 63 + 10 \lg 5 - 80 = 32,7.$$

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

$$R_{\text{каб}} = R_{\text{сер}} + 10 \lg B - 10 \lg \sum_{i=1}^n S_i, \quad (3.7)$$

де $R_{\text{сер}}$ – середня звукоізоляція всіх огорожень кабіни, дБ;

S_i – площа кожного елемента огороження, м²;

n – загальна кількість елементів огороження.

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

$$R_{сер} = 10 \lg (S_{заг} / \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{-0,1 \cdot R_i}), \quad (3.8)$$

де $S_{заг}$ — загальна площа неоднорідного огородження, м²;

S_i та R_i — площа, м², та звукоізоляція окремого елемента, дБ.

Середня звукоізоляція $R_{сер}$ за формулою 3.4 становить, дБ

$$R_{сер} = 10 \lg (69,3 / (4,5 \cdot 10^{-0,1 \cdot 23} + 1,8 \cdot 10^{-0,1 \cdot 12} + 63 \cdot 10^{-0,1 \cdot 38})) = 26,75.$$

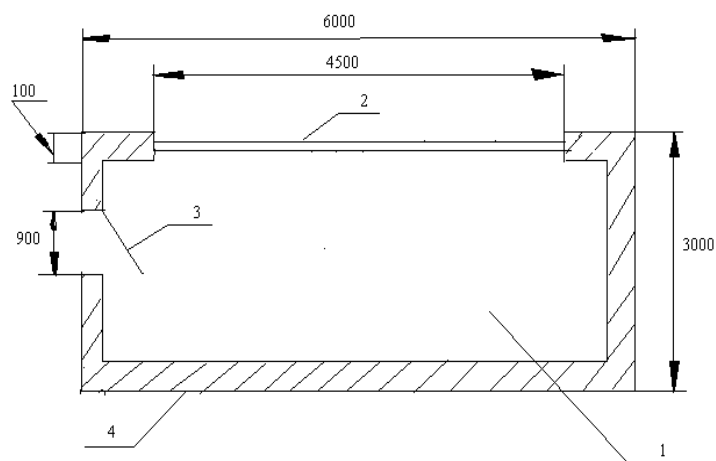
Очікуване зниження шуму кабіною $R_{каб}$ становить

$$R_{каб} = 26,75 + 10 \lg 1,69 - 10 \lg 69,3 = 10,62.$$

Перевіряємо умову $R_{каб} \geq R_{каб.н.}$: $10,62 \geq 9$ дБ — умова виконується.

Таким чином обрано звукоізолюючу кабіну технолога:

- стіни кабіни виготовляються із залізобетонної панелі товщиною 100 мм і поверхневою густиною 250 кг/м²;
- стандартне дверне полотно товщиною 40 мм без ущільнювальних прокладок;
- одинарне вікно з органічним склом 20 мм.



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

Рисунок 3.1 – Звукоізолююча кабіна

3.3 Виробнича санітарія

У таблиці 3.4 представлені норми показників мікроклімату у приміщенні.

До основних нормованих показників мікроклімату повітря робочої зони відносяться температура, відносна вологість, швидкість руху повітря. Істотний вплив на параметри мікроклімату і стан людського організму робить також інтенсивність теплового випромінювання різних нагрітих поверхонь, температура яких перевищує температуру у виробничому приміщенні.

Таблиця 3.4 – Оптимальні норми температури й вологості, й швидкості руху повітря

Характеристика виробничого приміщення по надлишковому тепловиділенню (23Вт/м ²)	Категорія роботи по трудомісткості	Холодний і перехідний період року (нижче +10°C)			Теплий період року (вище +10°C)				
		На постійних робочих місцях			Поза робочим місцем	На постійних робочих місцях			Поза робочим місцем
		t°	Вологість	Швидкість повітря		t°	Вологість	Швидкість повітря	
Приміщення, що має надлишки тепла	Середня	16 - 18	40 - 60	не більше 0,3	12 - 20	17 - 20	40 - 60	не більше 0,3	не 5°C від середньої t°.

Для захисту від теплового випромінювання передбачено теплоізолюючі матеріали, влаштовані теплозахисні екрани. Теплозахисні екрани використовують для локалізації джерел теплового випромінювання, зниження опромінення на робочих місцях, а також для зниження температури поверхонь.

Для створення необхідних параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні застосовують системи вентиляції та кондиціонування повітря, а також різні опалювальні пристрої. Вентиляція приміщень досягається

видаленням з них нагрітого або забрудненого повітря і подачею чистого зовнішнього повітря. Загальнообмінна вентиляція, призначена для забезпечення заданих метеорологічних умов – здійснює зміну повітря у всьому приміщенні.

Для підтримки заданої температури повітря в приміщеннях в холодну пору року використовують водяну систему опалення.

Робітники повинні забезпечуватися індивідуальними засобами захисту: спецодягом, спецвзуттям, протипиловими респіраторами і протишумами.

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення затрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці. Характеристика освітлення ливарного цеху представлено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.6 Характеристика освітлення ливарного цеху

характер робіт	середня точність
розмір об'єкта розпізнання	від 0,2 до 1мм
розряд зорової зони	IV
під розряд роботи	B
контрастність об'єкта розпізнавання	середня
фон	середній
E_n - штучна (загальна)	200 лк
коефіцієнт природної освітленості	2,24 %

Для штучного освітлення використовується, стельові лампи типу ДРЛ-400 або ДРЛ-500, світильники типу «Астра» і «Альфа». Для місцевого освітлення використовується лампи тип МО - 100 наколювання потужністю 150Вт і світильники НСП-0,7 - 1,4.

Для поліпшення освітлення та більш економічного використання електроенергії пропонується в якості джерела світла обрати люмінесцентні лампи, бо вони мають високу світловіддачу і тривалий термін служби. Люмінесцентні лампи мають невисоку температуру нагрівання ($40...50^{\circ}C$),

незначний ступінь яскравості, не чинять сліпучої дії, дають м'яке розсіяне світло з відсутністю тіней і блисків.

Конструкція стін, вікон, стель і т.п. у виробничому приміщенні відповідає нормам санітарії, і забезпечують сприятливі умови праці робочому персоналу. Засклені ділянки створює необхідне природне освітлення.

3.4 Заходи пожежної безпеки

Ливарний цех характеризується підвищеною пожежною і вибуховою небезпекою. Основними чинниками пожежі є підвищена температура докільця, предметів та наявність паливо-мастильних матеріалів.

Для запобігання пожежі треба досягати запобігання утворення горючого середовища, запобігання утворення в горючому середовищі джерел запалення.

Ливарний цех має категорію пожежонебезпеки В (горючі й важко горючі речовини й матеріали: масла, гума кабельної проводки, речовини при взаємодії з водою або киснем і один з одним запалюються). Будинок ділянки відноситься до III ступеня вогнестійкості (будинок з несучими конструкціями, що обгороджують, матеріали).

До первинних засобів пожежогасіння на комбінаті відносять: вогнегасники, пожежний інвентар (покривало з негорючою теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні цебра, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, ломи, сокири й ін.).

Ливарний цех має внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами й рукавами, а також має у своєму розпорядженні пожежні щити, які встановлені на ділянках цеху, у комплект яких входять: вогнегасники ОП – 6..8 шт, ОУ – 6...10шт, ящик з піском 1 шт., ломи 2 шт, багри 3 шт, лопати 2 шт.

У складських приміщеннях стоять бочки з водою місткістю 0,2 м³ з укомплектованими цебрами місткістю 0,008 м³.

Для того щоб попередити утворення вибухонебезпечного середовища і забезпечення в повітрі виробничих приміщень вмісту вибухонебезпечних речовин, що не перевищує нижньої концентраційної межі займання з урахуванням коефіцієнта безпеки, досягається шляхом: застосування робочої і аварійної вентиляції; застосування герметичного виробничого устаткування; відведенням, видаленням вибухонебезпечного середовища і речовин, здатних привести до її утворення; контролем складу повітряного середовища і відкладень вибухонебезпечного пилу.

Для попередження виникнення джерела вибуху регламентують вогневі роботи; запобігають нагрів устаткування до температури самозаймання вибухонебезпечного середовища; застосовують швидкодіючі засоби відключення можливих електричних джерел; уважно контролюють весь процес у цеху та відслідковують відхилення від норми.

Для швидкого виявлення та повідомлення про місце виникнення пожежі в лабораторії є автоматична пожежна сигналізація АДС (автоматичний димовий сповіщувач) і автоматична система пожежогасіння.

Особливу увагу необхідно приділяти евакуації людей з приміщень. Евакуація проводиться по заздалегідь спланованих шляхах. Схеми евакуації розташовані в доступних для погляду людини місцях.

3.5 Електробезпека

Електричний струм становить значну небезпеку, тому заходам щодо захисту працюючих від поразки електричним струмом повинна приділятися велика увага.

Приміщення ливарного цеху можна віднести до 1 класу – без підвищеної небезпеки ураження струмом (сухе, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів).

Основні причини нещасних випадків від дії електричного струму:

а) випадковий дотик, наближення на небезпечну відстань до струмопровідних частин, що перебувають під напругою;

б) поява напруги на відключених струмопровідних частинах внаслідок помилкового включення установки;

в) виникнення напруги кроку на поверхні землі через замикання проводу на землю;

г) поява напруги дотику на металевих конструктивних частинах електроустаткування (корпусах, кожухах тощо) у результаті пошкодження ізоляції або з інших причин.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

а) забезпечення недоступності струмопровідних частин, що перебувають під напругою, для випадкового дотику;

б) електричний поділ мережі;

в) усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням;

г) захист від випадкового дотику до струмопровідних частин застосуванням кожухів, огорож, подвійної ізоляції;

д) контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;

е) компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;

ж) застосування спеціальних електрозахисних засобів - переносних приладів і запобіжних пристроїв;

з) організація безпечної експлуатації електроустановок.

3.6 Заходи індивідуального захисту

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) персоналу ливарних цехів застосовуються наступних класів:

- для ремонтних і аварійних робіт – ізолюючі костюми;

- для виконання технологічних операцій –ЗІЗ, передбачені ГОСТ

12.4.011-89 ССБТ.

Засоби захисту органів подиху:

1. Респіратори ШБ-1 «Пелюсток-200», «Пелюсток-40». Захищають від високодисперсних аерозолів, грубодисперсних аерозолів і від високодисперсних аерозолів.

2. Фільтруючий протигазовий респіратор РПГ-67. Респіратор захищає від пари органічних речовин.

Спеціальний одяг:

1. Спеціальний одяг для захисту від кислот. Чоловічі костюми (ГОСТ 12.4.036-78 ССБТ), жіночі костюми (ГОСТ 12.4.037-78 ССБТ).

2. Спеціальний одяг для захисту від підвищених температур. Чоловічі костюми (ГОСТ 12.4.045-87 ССБТ).

Спеціальне взуття:

1. Спеціальне шкіряне взуття для захисту від підвищених температур (ГОСТ 12.4.032-77 ССБТ).

2. Спеціальне віброзахисне взуття (ГОСТ 12.4.024-76 ССБТ). Група Мв – для захисту від механічних впливів.

Засоби захисту рук:

1. Спеціальні рукавиці (ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ) Для захисту від механічних впливів, кислот, високих температур, теплових випромінювань.

2. Засоби індивідуального захисту рук від вібрації (ГОСТ 12.4.002-74 ССБТ).

Засоби захисту обличчя. Захисні щитки (ГОСТ 12.4.023-84 ССБТ):

1. Тип НСП – найголовніший щиток із сітчастим корпусом і з рухливою рамкою. Захищає від інфрачервоного випромінювання, бризок розплавленого металу, іскор і твердих часток.

2. Тип НН – найголовніший щиток з непрозорим корпусом. Захищає від ультрафіолетового й інфрачервоного випромінювання, бризок розплавленого металу й іскор.

3. Тип ННП – найголовний щиток з непрозорим корпусом і з рухливою рамкою. Захищає від ультрафіолетового й інфрачервоного випромінювання, бризок розплавленого металу, іскор і твердих часток.

Засоби захисту очей:

1. Захисні окуляри (ГОСТ 12.4.003-80 ССБТ). Відкриті захисні окуляри, герметичні з безбарвного скла, захисний лорнет, козиркові окуляри зі світлофільтрами.

2. Світлофільтри скляні для захисту очей від шкідливих випромінювань на виробництві (ГОСТ 12.4.080-79 ССБТ). Темне скло, синє скло.

Засоби захисту органів слуху (протишуми) – навушники (ГОСТ 12.4.051-78 ССБТ). Малогабаритні, для захисту від шуму з рівнем до 110 дБ, 115 дБ, 120 дБ.

ВИСНОВОК

У роботі виконано розрахунок теплового балансу камерної печі з викатним подом та на його основі запропоновані шляхи підвищення енергоефективності печі. Запропоновано встановити нові більш ефективні рекуперативні та регенеративні пальники, оскільки при їх використанні вдалося збільшити теплотехнічний коефіцієнт використання палива до 90%, значно знизити рівень термічного викиду оксиду азоту, навіть при дуже високому попередньому нагріві повітря, зведено до мінімуму проблеми, породжувані окисленням, підвищено рівень безпеки, керамічна конструкція камери згоряння значно скорочує необхідне обслуговування, витрати газу зменшено на (11...18) %. Також запропоновано замінити теплоізоляційні матеріали камери печі, що дозволило значно зменшити теплові втрати через кладку печі, істотно полегшити навантаження на каркас печі та зменшити витрату палива на (12...18) %.

Застосування математичної моделі дозволило отримати зображення розподілу теплових зон у камері печі та визначити, що виливки розташовані в області низьких температур. Тому виникла необхідність дослідження можливості перерозподілу теплової енергії в камері печі. Для вирішення цього питання була поставлена оптимізаційна задача. За допомогою математичної моделі проведено перебір можливого розташування пальників та визначено оптимальне їх положення, що дозволило зекономити 17 % палива. Всі наведені у роботі заходи сприятимуть підвищенню енергетичної ефективності камерної печі з викатним подом та заощадженню коштів підприємства.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» [Електронний ресурс] / Районна Адміністрація по Заводському району (м. Запоріжжя). – Режим доступу : \WWW/ URL: <http://www.zavodska-ra.zp.ua/prommaydanchik/post01337> – 13.05.19 р. – Загол. з екрану.
2. Запорізький титано-магнієвий комбінат [Електронний ресурс] / Вікіпедія. – Режим доступу : \WWW/ URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Запорізький_титано-магнієвий_комбінат – 13.05.19 р. – Загол. з екрану.
3. Енергогосподарство підприємства та напрями енергозбереження [Електронний ресурс] / Lectures 7mile.net. – Режим доступу : \WWW/ URL: <https://lectures.7mile.net/enerhozberezhennia/energogospodarstvo-pidpriemstva-ta-napryami-energozberezhennya.html> – 13.05.19 р. – Загол. з екрану.
4. Організаційна структура управління енергогосподарством підприємства [Електронний ресурс] / Студопедія. – Режим доступу : \WWW/ URL: https://studopedia.su/5_17720_organizatsiyna-struktura-upravlinnya-energogospodarstvom-pidpriemstva.html – 13.05.19 р. – Загол. з екрану.
5. Організаційна структура управління: типи і характерні особливості [Електронний ресурс] / Навчальні матеріали онлайн. – Режим доступу : \WWW/ URL: https://pidruchniki.com/15880315/menedzhment/organizatsiyna_struktura_upravlinnya_tipi_harakterni_osoblivosti – 13.05.19 р. – Загол. з екрану.
6. Технологія виробництва [Електронний ресурс] / Запорожский титано-магнийевый комбинат. – Режим доступа : \WWW/ URL: <http://ztmc.zp.ua/ru/o-kombinate/tekhnologiya-proizvodstva> – 13.05.19 г. – Загол. с экрана.
7. Иссерлин, А. С. Основы сжигания газового топлива [Текст] : справочное пособие / А. С. Иссерлин. – Л. : Недра, 1987. – 336 с. – Библиогр. : с. 332-334. – ISBN 5-1238319.

8. Губинский, В. И. Нагревательные печи металлургии – сегодня и завтра [Текст] / В. И. Губинский // Теория и практика металлургии. – 2004. – № 6 (20). – С. 56-60.

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

10. Мاستрюков Б. С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей / Б. С. Мاستрюков. М.: Высшая школа. – 1978. – 342 с.

11. Кривандин В. А. Металлургические печи/ В. А. Кривандин, Н. Г. Молчанов: М.: Высшая школа. – 1962. – 600 с.

12. Тымчак В. М. Расчет нагревательных и термических печей: Справ. изд. Под ред. Тымчака В. М. и Гусовского В. Л. - М.: Металлургия, 1983. – 480 с.

13. Гусовский В. Сожигательные устройства нагревательных и термических печей. Справочник. В. А. Гусовский, А. Е. Лифшиц. - М.: Металлургия, 1981. – 272 с.

14. Бирюков А. Б. Энергоэффективность и качество тепловой обработки материалов в печах [Текст] : монография / А.Б. Бирюков. - Донецк : Ноулидж, 2012. - 247 с.

15. Цыганков Г.Т. Повышение эффективности использования топлива при сжигании газов в печах / Г.Т. Цыганков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1990. - №2. – С.56-58.

16. Губинский В. И. Теория пламенных печей / В. И. Губинский, Лу Чжун-У. – М.: Машиностроение, 1995. – 256с.

17. Парсункин Б.Н. Оптимальный режим использования топлива при энергосберегающем нагреве / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, А.В. Комаров // Изв. ВУЗ. ЧМ. – 2004.-№12.-С. 48-53.

19. Тайц Н. Ю.Технология нагрева стали /Н.Ю. Тайц. – М.: Металлургия, 1962. – 568 с.

19. Ревун М.П. Перспективные направления совершенствования тепловой работы нагревательных и термических камерных печей / М.П. Ревун, В.Ю. Зинченко // *Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов НМетАУ.* - 2006. - № 6. - С.294-302.

20. Оснос С.П. Применение современных волокнистых теплоизоляционных и огнеупорных материалов в тепловых агрегатах и сооружениях/ С.П.Оснос, О.И.Гололобов // *Строительные материалы и изделия.*– 2000.–№11.– С. 120-125.

21. Братута Е.Г. Пористі теплоізоляційні матеріали: [монографія] / Е.Г. Братута, А.М. Павленко, А.В. Кошлак, О.В. Круглякова. – Х.: ТОВ «ЕДЕНА», 2010. – 107 с.

22. Shay M.A. Optimizing reheat furnace combustion systems / M.A.Shay // *IronandSteelEngineer.* – 1989. – №5. – P.35-37.

23. Филиппьев О.В. Теплообменные устройства печных установок: учебное пособие / О.В. Филиппьев – К.: Вища школа, 1978. – 200 с.

24. Рингдорфер Р. Усовершенствованные печные горелки/ Р. Рингдорфер // *Цемент и его применение.* - 2012. - №6. - С.126-129.

25. Соболев В.М. Современные технологические решения при разработке топочно-горелочных устройств / В.М. Соболев // Новости теплоснабжения. - 2012. - № 10(146). - С.23-25.

26. Винтовкин А.А. Современные горелочные устройства (конструкции и технические характеристики): справочник /А.А. Винтовкин, М.Г. Ладыгичев, В.Л. Гусовский, А.Б.Усачев. - М.: Машиностроение-1, 2001. - 487 с.

27. Фиалко Н.М. Эффективность систем утилизации теплоты отходящих газов энергетических установок различного типа / Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, А.И. Степанова, Р.А. Навродская, П.К. Голубинский, М.А. Новаковский. // *Промышленная теплотехника.* – 2008. – № 3. – С. 68-76.

28. Тебеньков Б.П. Рекуператоры промышленных печей / Б.П. Тебеньков – М.: Metallurgia, 1975.– 294с.

29. Качан Ю.Г. Математическая модель камерной нагревательной печи / Ю.Г. Качан, В.В. Степкин, Ю.Б. Спекторова // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2011. – №4. – С. 54-61.

30. Сибирь А.В. Моделирование теплообмена в камере, отапливаемой регенеративными горелками / А.В Сибирь ., С.И.Решетняк , В.И.Губинский // Промышленная теплотехника. - 2006. - №5. - С. 41-46.

31. Сибирь А.В. Моделирование гидродинамических процессов в регенеративном колодце с центральной горелкой /А.В Сибирь ., С.И.Решетняк , В.И.Губинский // Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов НМетАУ. - 2006. - № 5 (239). - С. 313 - 323.

32. Сорока Б.С. Моделирование процессов переноса и образования вредных выбросов при сжигании природного газа с воздухом, увлажненным в цикле Майсоценко / Б.С. Сорока, В.А. Згурский // Современная наука – Исследования, Идеи, Результаты, Технологии. – 2013.– № 1(12) – С. 403-409.

33. Сорока Б.С. Интенсификация тепломассообменных процессов при сжигании топлива в печах. Развитие теории топливных печей и топочных процессов / Б.С. Сорока // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2006. - №5. – С. 3-15.